

*Synthèse des travaux de Medpine 4
IV^e Conférence internationale sur les pins méditerranéens
Avignon 6-10 juin 2011*

Les Pins méditerranéens

Conservation, écologie, restauration et gestion : défis dans un contexte de changements globaux

par Eric RIGOLOT, Thomas BOIVIN, Philippe DREYFUS,
Catherine FERNANDEZ, Roland HUC, François LEFEVRE, Christian PICHOT,
et Jean-Charles VALETTE

La 4^e édition de la Conférence internationale sur les pins méditerranéens, Medpine, s'est déroulée à Avignon du 6 au 10 juin 2011, elle était organisée par l'Institut national de la recherche agronomique de Provence-Alpes-Côte d'Azur. L'un des intérêts de cette manifestation est d'avoir abordé les pins méditerranéens sous différents angles, en particulier l'angle dynamique et fonctionnel. Les auteurs nous en livrent ici une brillante synthèse.

Introduction

MEDPINE 4 a été organisée du 6 au 10 juin 2011 à Avignon par l'unité de recherche « Écologie des Forêts Méditerranéennes » (URFM) de l'Institut national de la recherche agronomique de Provence-Alpes-Côte d'Azur (INRA PACA). Cette conférence visait à rassembler les chercheurs de toutes disciplines étudiant les Pins méditerranéens. Elle s'adressait aussi aux gestionnaires et aux décideurs chargés de la gestion des pinèdes méditerranéennes. Il s'agissait de faire le point sur les connaissances acquises et de stimuler le dialogue entre les disciplines.

Inauguré en 1999, les précédentes éditions du cycle des conférences MEDPINE se sont tenues au Mont Carmel en Israël, à la Canée en Grèce (ARIANOUTSOU et THANOS, 2004), et à Bari en Italie (LEONE et LOVREGGIO, 2007). La 4^e édition a été accueillie en France cette année ; elle a réuni plus de 170 participants, de quatorze pays, avant tout du pourtour méditerranéen, avec des représentants de pays européens (France, Espagne, Portugal, Italie, Grèce), du Moyen Orient (Turquie, Israël), d'Afrique du Nord (Algérie, Tunisie), mais aussi d'autres régions du monde à bio-climat méditerranéen (Afrique du sud, Australie occidentale, Californie).

1 - Les références sans précision de date sont celles de la conférence MEDPINE 4

Pour rappeler, s'il était nécessaire, la part importante des pinèdes dans le paysage forestier méditerranéen, il faut souligner qu'elles couvrent environ 13 millions d'hectares autour du bassin méditerranéen [SHEFFER *et al.*]¹. Les Pins méditerranéens comptent une dizaine d'espèces, les plus répandues étant *Pinus halepensis* et *P. brutia* respectivement à l'ouest et à l'est du bassin méditerranéen, puis *P. pinaster* à l'ouest du bassin, *P. pinea* éparpillé sur toute la rive nord et peu répandu en Afrique du Nord, *P. canariensis* quasi exclusivement sur les îles Canaries, et enfin cinq Pins montagnards, *P. nigra*, *P. sylvestris*, *P. mugo*, *P. heldreichii* et *P. uncinata*. A cette liste, il convient d'ajouter des Pins d'autres régions du monde comme le pin de Monterey (*P. radiata*) origi-

naire de Californie, puis utilisé largement en reboisement en Australie ou en Afrique du Sud.

Pour la seule région PACA, qui se dispute la place de première région la plus boisée de France avec la région Aquitaine, les pinèdes occupent plus de la moitié de la surface forestière. La pinède méditerranéenne est donc l'une des formes dominantes d'occupation des sols de notre région. La forêt méditerranéenne s'accroît de 9500 ha par an en région PACA du fait de la déprise agricole. Les Pins sont parmi les premières espèces d'arbres à coloniser les friches. A un stade avancé, la pinède évolue vers des forêts mélangées de Pins et de Chênes. La connaissance du fonctionnement et de la dynamique de ces forêts est primordiale pour gérer les espaces naturels régionaux en vue de les valoriser : production de bois, de biomasse (y compris à des fins énergétiques), accueil du public, qualité paysagère. Ces connaissances contribuent également à optimiser les bénéfices qu'ils procurent dans des domaines aux forts enjeux régionaux comme la préservation des ressources en eau, la protection des sols et la biodiversité. Enfin, ces connaissances ont des retombées sur la protection des forêts contre les incendies et la restauration des terrains brûlés.

En conséquence, les sessions en salle ont été organisées autour de plusieurs thèmes : croissance des Pins et pérennisation de la ressource en bois, écologie, résistance à la sécheresse et bilan carbone, processus génétiques, résistance des Pins aux insectes ravageurs, prévention des incendies dans les pinèdes et, finalement, le thème phare de cette édition, l'adaptation des pinèdes au changement climatique.

En plus des sessions en salle, deux tournées de terrain ont été organisées. Une visite dans le massif du Petit Luberon, pilotée par l'Office national des forêts avec l'appui de la Direction départementale des territoires du Vaucluse, sur la prévention des incendies dans les pinèdes méditerranéennes. Le cloisonnement du massif en coupures de combustible de différents types (interface habitat-forêt, bande débroussaillée de sécurité et ouvrage stratégique) a été illustré, ainsi que le traitement des peuplements de pin d'Alep (éclaircie, élagage) pour limiter la propagation du feu.

Une autre journée a été consacrée à la visite de deux sites expérimentaux dans les Bouches-du-Rhône : le site de Fontblanche dédié à l'étude du bilan carbone de la forêt

Photo 1 :

La 4^e édition de Medpine s'est tenue en France à Avignon, organisée par l'unité de recherche "Écologie des Forêts Méditerranéennes" de l'INRA

Photo Guillaume SIMIONI



pour comprendre comment elle répond au changement climatique (SIMIONI et HUC, 2011), et l'arboretum de Ceyreste visant à sélectionner les provenances de Pins les mieux adaptées et démontrant notamment les atouts du Pin brutia comparé au Pin d'Alep (résistance au froid, meilleure croissance). Lors de ces visites, les congressistes ont été accueillis par des représentants de l'Office national des forêts et du Conseil général des Bouches-du-Rhône, ainsi que par Monsieur le Maire de Roquefort-la-Bédoule.

Le programme complet de la conférence est accessible sur le site (<https://colloque.inra.fr/medpine4>) ; les pages qui suivent présentent une synthèse des principales contributions.

Dynamique des peuplements et gestion forestière

Cette conférence a permis de brosser un large panorama des évolutions majeures impliquant les Pins méditerranéens — pris au sens large, c'est-à-dire y compris les Pins des montagnes méditerranéennes — et de leurs conséquences en matière de gestion.

Un premier type correspond à des évolutions qui aboutissent à une extension des formations forestières, facilitées par le caractère pionnier bien connu des Pins. Au nord de la Méditerranée, cette expansion des Pins à basse altitude (plaines, causses) du fait du recul des activités agricoles et pastorales est bien connue [SHEFFER *et al.*] et se confirme ; mais diverses études montrent qu'elle se produit également dans les montagnes de l'arrière-pays méditerranéen, au-dessus de l'actuelle limite supérieure de la forêt (par ex., Pin noir [Piermattei *et al.*] et Pin à crochets [PALOMBO *et al.*] dans les Apennins) : là encore, la régression des pratiques pastorales apparaît comme la cause principale, davantage — semble-t-il — que la levée partielle de la limitation par le froid due au réchauffement climatique. Cette expansion des Pins méditerranéens s'observe également dans des régions du monde où ils ont été introduits, souvent en climat de type méditerranéen (cas bien connu en Afrique du Sud) mais pas seulement (cas du Pin laricio en Nouvelle-Zélande, puissamment invasif dans des landes où il progresse sur plusieurs kilomètres, et jusqu'à 85 m/an [CAPLAT *et al.*]).

Un second type regroupe des évolutions qui conduisent à des mélanges avec diverses espèces de Chênes méditerranéens [SHEFFER *et al.*], ou avec le Hêtre quand une influence montagnarde se combine à l'influence méditerranéenne. Cela concerne des surfaces considérables, au moins à l'est et au nord du bassin méditerranéen. Deux situations bien distinctes : soit le Pin colonise des chênaies claires ou éclaircies [BRAVO-FERNÁNDEZ *et al.*] ; soit ce sont les Chênes (ou le Hêtre) qui s'installent sous le couvert constitué par le Pin, qu'il soit planté ou issu d'une phase pionnière de colonisation après une déprise agricole ou pastorale.

Diverses études, réalisées notamment en France (Pin noir, Pin sylvestre, [BOULANT *et al.*]) et en Italie, démêlent, évaluent et modélisent, à différents niveaux d'échelle spatiale, l'influence des facteurs qui entrent en ligne de compte dans ces dynamiques, de manière plus ou moins prépondérante selon le contexte (conditions stationnelles, nature de la formation végétale pré-existante) : facteurs influençant directement la dispersion (le vent, notamment), rôle tantôt protecteur, tantôt concurrentiel de la strate arbustive, usages (pastoraux surtout), tendances et accidents climatiques, incendies, etc.

Les chercheurs recourent largement à la modélisation et à la simulation, tant pour améliorer la compréhension des processus et de leurs interactions que pour aider à la décision en matière de sylviculture ou, à des échelles plus vastes, en vue de l'aménagement et de la planification. À chacune des évolutions qui viennent d'être mentionnées correspond une succession de structures de peuplement, diverses et souvent hétérogènes (inéquiennes, mélangées, à répartition spatiale irrégulière...). Dans ce contexte, des avancées significatives ont été présentées concernant la modélisation de la croissance pour des gammes de peuplements allant de la simple plantation, régulière, à des structures bien moins simples, notamment inéquiennes (ex. : formations libanaises de Pin brutia [DE MIGUEL *et al.*]). L'articulation entre modèles écophysiologiques et modèles dendrométriques est engagée, notamment au Portugal, pour le cas relativement simple des plantations de Pin maritime. Les connaissances progressent également, pour certaines espèces (P. d'Alep, P. pignon, noir, sylvestre, maritime) et régions (Espagne, Algérie, Tunisie, Italie) dans des domaines connexes : réaction aux éclaircies [NUNES *et al.*], même tardives [MANETTI *et al.*], effet du

couvert sur la régénération [AMEZTEGUI et COLL, 2011 ; PRÉVOSTO *et al.*] et la biomasse du sous-étage [MANTZANAS et PAPANASTASIS], relations allométriques [BRAVO-OVIEDO et VALENTINE ; ADILI *et al.*], effet des conditions stationnelles sur la croissance [CARUS et ÇATAL]...

Le massif forestier ou la région, niveaux correspondant à l'aménagement, à la planification et à la préconisation de stratégies de gestion, sont de mieux en mieux pris en compte par les chercheurs [PIQUÉ-NICOLAU et VERCAT-GRAU ; AYARI *et al.*], sinon via des modèles opérant à cette échelle, au moins par des méthodes d'analyse de la structure et de la dynamique des formations actuelles tenant compte de leur gestion passée, et qui s'appuient de plus en plus souvent sur des outils tels que la télédétection et les Systèmes d'informations géographiques (ex. : gestion de mosaïques de Pin laricio, Hêtre et mélanges des deux espèces, en Calabre, [CIANCIO *et al.*]).

L'exigence de concilier l'exploitation de la ressource en bois avec la sauvegarde des formations forestières et de la biodiversité qu'elles hébergent, conduit parfois à découpler les objectifs en créant par plantation une ressource destinée à la production, afin de réduire l'impact sur les formations naturelles (exemple du Pin brutia en Turquie, avec une stratégie adossée à une évaluation des potentialités de croissance et à un outil logiciel d'estimation de la viabilité économique [ERKAN]).

Photo 2 :
Plantations de pin brutia
en Turquie
(région d'Antalya)
Photo DA



L'incendie reste une contrainte majeure pour la gestion des formations à Pins méditerranéens. Suite aux feux catastrophiques de 2007 en Grèce, les chercheurs ont rapidement mis au point un système d'analyse multicritères permettant d'évaluer la probabilité de régénération du Pin d'Alep, ce qui permet de planifier, selon les zones, soit une sylviculture classique, soit des mesures de protection sur une régénération qui sera plus difficile, soit des plantations quand l'analyse prévoit une régénération insuffisante [POIRAZIDIS *et al.*].

Quelles principales recommandations peut-on tirer de ces avancées scientifiques ? La première est de ne pas se faire d'illusion ... sur la possibilité de faire des recommandations générales ! La diversité des situations en matière de conditions stationnelles, de contexte socio-économique, d'historique des peuplements, d'hétérogénéité des formations à l'échelle locale, du paysage ou de la région, fait que le poids respectif des facteurs est très variable.

On retiendra les points suivants :

- il convient de bien tenir compte des changements d'usage (déprise agricole, pastorale), dont le rôle sur l'extension des Pins en milieu ouvert est déterminant, sans négliger cependant l'interaction avec les changements climatiques qui ont, ou auront, probablement un effet favorable sur cette progression aux altitudes importantes, et un effet antagoniste en plaine et aux marges sèches ;

- les modèles de croissance sont de plus en plus performants, mais des progrès restent à faire pour des situations complexes (mélanges, échelle vaste, colonisation), surtout quand on s'oriente vers des approches lourdes à base écophysiologique [TOMÉ *et al.* ; PEDRO *et al.* ; FONTES *et al.*] en vue de mieux prendre en compte l'effet des changements climatiques ;

- de manière générale, les techniques et outils modernes (SIG, télédétection, modèles, cartographie automatique des peuplements et des conditions stationnelles...) sont de plus en plus abordables et efficaces ; leur apport en matière de gestion forestière n'est plus à démontrer et leur utilisation est à encourager ;

- face à la diversité de situations, il paraît indispensable de développer des méthodes d'ingénierie écologique capables de répondre de manière adaptée à chaque cas, en prenant en compte les objectifs et les contraintes cor-

respondantes, et en veillant à construire des solutions qui anticipent les changements (usages, pratiques, risques climatiques directs et induits ...).

Écologie des Pins méditerranéens

La session « écologie » a permis de balayer un large éventail des recherches concernant les Pins méditerranéens, bien que la plupart des interventions n'ait porté que sur le Pin d'Alep. Les communications ont abordé les grands processus écosystémiques comme la décomposition des litières, la colonisation, les successions végétales, mais aussi des processus physiologiques comme la survie et la reproduction. Les intervenants provenaient de régions méditerranéennes variées : Espagne, France, Algérie, Israël.

Dans le cadre de la dynamique végétale successioneuse, les préoccupations sont multiples. Elles comprennent le rôle de la gestion dans la colonisation mais également le rôle de la canopée dans la régénération des espèces de fin de succession ou les variations de biodiversité végétale dans les forêts de pin. *Pinus halepensis* peut fortement coloniser les milieux ouverts, ce qui peut poser des problèmes notamment dans les zones protégées. Les observations à long terme effectuées dans le parc naturel de Ramar Hanadiv (Israël) montrent que cette expansion est largement déterminée par la présence de sources de graines à proximité [OSEM *et al.*]. Elle est aussi favorisée par le pâturage qui limite la couverture végétale, car la colonisation est toujours plus importante dans les zones où la végétation présente une couverture limitée. Par ailleurs, le rôle du feu, étudié après un incendie dans les années 80, n'a pas semblé décisif sur le processus de colonisation. Ces observations ont permis de mieux comprendre les processus liés à l'expansion du pin d'Alep et servent de référence dans l'élaboration des plans de gestion du parc. Des questions restent cependant encore en suspens comme l'effet de la sécheresse ou de la prédation des graines sur le processus de colonisation. Dans la même optique de gestion des peuplements de pin d'Alep, REISMAN-BERMAN *et al.* ont posé le problème du rôle de la canopée dans la transition pinèdes/forêts mixtes, les gestionnaires souhaitant favoriser ces forêts mixtes. Toujours en Israël, la mise en place d'expéri-

mentations d'ouverture du milieu, a permis de comprendre l'effet combiné ombre/sécheresse sur la performance d'une espèce de Chêne dominant dans certaines forêts de pin. Les résultats montrent des interactions complexes avec, d'une part, un développement des individus plus important dans les zones ouvertes (car la lumière est favorable à la croissance) mais, d'autre part, au niveau populationnel, un effet positif de l'ombre engendrée par la canopée sur la survie des jeunes Chênes (grâce à la limitation de la sécheresse). Là aussi, la gestion des peuplements doit prendre en compte ces résultats avec, par exemple, des interventions créant les ouvertures nécessaires à la formation de peuplements mixtes, mais seulement après une période d'installation sous canopée.

La biodiversité des forêts est également prise en compte dans la gestion. HERNÁNDEZ-TECLES *et al.* ont montré que le type de forêt (plantation ou naturelle) et l'âge des peuplements avaient un impact sur la biodiversité végétale. Celle-ci se révèle plus élevée dans les peuplements jeunes (que ce soit en plantation ou dans des forêts naturelles) avec une forte proportion de chaméphytes et de thérophytes alors que chez les peuplements âgés, cette diversité végétale, dominée par les phanérophytes, est plus faible. De plus, dans ces peuplements âgés, la diversité est toujours plus élevée dans les forêts naturelles que dans les plantations. Ceci doit être pris en compte dans les plans de gestion, notamment ceux concernant les forêts âgées lors des interventions pour la prévention des incendies. Le pin d'Alep affecte donc la biodiversité végétale, mais aussi la diversité des organismes du sol et le fonctionnement des écosystèmes. Ainsi CHOMEL *et al.* ont présenté l'impact des métabolites secondaires du Pin d'Alep sur la diversité des décomposeurs et donc sur le processus de décomposition des aiguilles, et cela pour différents stades successioneux. Les stades de colonisation (jeunes pins) présentent une mésofaune moins riche et moins abondante que les forêts âgées, surtout dans les premiers stades de décomposition. Ceci semble lié à la quantité de phénols des jeunes Pins qui est plus élevée que chez les individus plus âgés, ces composés étant connus comme étant allélopathiques. Il en résulte une vitesse de décomposition plus lente dans ces stades de colonisation que dans les forêts matures, ce qui limite ainsi la remise à disposition des nutriments pour la croissance des jeunes arbres.

La reproduction des Pins a également été abordée. En Algérie, KROUCHI *et al.* ont estimé le taux de graines pleines par cônes, pour le Pin d'Alep et le Pin maritime, un indicateur simple et fiable de la viabilité des populations. Les auteurs ont montré que, même si les deux espèces présentent des répartitions et un statut écologique très différents, elles montrent toutes les deux des stratégies efficaces de reproduction sur la base des caractéristiques examinées (traits morphologiques des cônes et des graines, traits de production des graines). Ces espèces sont donc très performantes pour la colonisation, notamment après des perturbations dues au feu, et concurrencent avantageusement d'autres espèces moins résistantes. Cette reproduction a cependant un

Photos 3 et 4 :

Le site expérimental de Font-Blanche dans les Bouches-du-Rhône. Le système d'exclusion d'eau de pluie et Guillaume Simioni présentant l'automate de mesure de la respiration du sol.
Photos DA et Naama TESSLER



coût, évalué par SANTOS-DEL-BLANCO *et al.*, toujours pour le Pin d'Alep, grâce à des corrélations phénotypiques entre reproduction et traits de croissance. Une reproduction maximale à des tailles intermédiaires indiquent des relations contraignantes fortes entre reproduction et croissance. De plus, une grande variabilité génétique de cette relation a été observée. Une expérimentation complémentaire par élimination des cônes a permis d'estimer ce coût de la reproduction. Il s'avère que cette élimination affecte significativement la croissance en circonférence des arbres, mais cette croissance dépend de la taille des arbres. Enfin les corrélations génétiques ont permis de montrer une relation négative entre croissance et reproduction. Il y a donc un compromis entre croissance et reproduction chez cette espèce, permettant un potentiel de micro-évolution rapide, puisque la reproduction joue un rôle clé dans les mécanismes d'adaptation de *P. halepensis* à son environnement.

Une dernière présentation a analysé la capacité de survie du Pin des Canaries, une des rares espèces de pin à avoir la capacité de rejeter de souche, lui permettant ainsi une restauration lors de perturbations comme le feu ou les éruptions volcaniques [NANOS *et al.*]. L'étude d'individus dans une zone volcanique suite à une éruption en 1949 a permis de mettre en évidence que cette espèce présente une remarquable capacité à guérir des dommages engendrés par des coulées pyroclastiques (e.g. cicatrisation, rejet de souche), même lorsque les individus se trouvent à proximité du cratère où le potentiel éruptif est généralement très élevé. Il semble donc que les phénomènes volcaniques peuvent jouer un rôle crucial d'agent sélectif dans l'évolution de la capacité de cette espèce à rejeter de souche.

Résistance à la sécheresse et bilan carbone

En forêt de montagne, l'intensité de l'éclairement explique plus de 50% de la variabilité de croissance observée sur les Pins en peuplement mixte avec le sapin (Pyrénées occidentales, NE de l'Espagne). Ainsi, aux très faibles éclaircissements *P. uncinata*, et surtout *P. sylvestris* présentent un risque de mortalité élevé. En conditions de faible éclaircissement, une stratégie conservatrice est mise en place par le Sapin pectiné, aux dépens de

sa croissance en hauteur. Au contraire, les Pins privilégient la croissance en hauteur pour atteindre le couvert mais augmentent leur risque de mortalité [AMEZTEGUI et COLL].

A basse et moyenne altitudes, le fonctionnement physiologique des Pins méditerranéens est davantage lié à la disponibilité en eau. La sécheresse estivale induit une forte augmentation des tensions chez le Pin d'Alep, conduisant à une fermeture stomatique, observable par la chute rapide de la transpiration. Cette baisse de transpiration est plus marquée lorsque les précipitations incidentes ont été réduites expérimentalement comme sur le site observatoire (SOERE) de Font-Blanche où 30% des pluies sont exclues [SIMONI et HUC]. Chez le Pin d'Alep, la croissance radiale répond à une forte saisonnalité (printemps et automne). L'analyse régulière par micro-carottage met en évidence, sur les mêmes arbres, une réponse immédiate aux précipitations de l'année. Sur le moyen terme, les arbres présentent une réaction sensible à la réduction des précipitations [GUIBAL *et al.*].

Ces résultats sont à rapprocher d'observations faites sur Pin d'Alep et Pin brutia dans les îles grecques (Zakynthos, Skiros, Samos, Crète), où un ralentissement sans précédent de leur croissance a été observé à la suite de la baisse récente des précipitations. SARRIS *et al.* montrent, à partir de la structuration du système racinaire et du marquage isotopique de l'eau (O18), comment cette sécheresse actuelle modifie l'utilisation de l'eau du sol par les arbres. Au cours des périodes humides, ce sont les précipitations récentes qui déterminent la croissance du cerne. Au cours des périodes d'intense sécheresse, la croissance radiale, y compris celle du cerne de l'année en cours, dépend des précipitations des années précédentes (3 à 5 années) grâce à l'eau stockée dans les couches profondes du sol. La persistance des conditions climatiques actuelles et les réductions des précipitations simulées par les scénarios climatiques (A1B-SRES, IPCC 2007) pourraient conduire à l'épuisement des réservoirs profonds et à des conditions physiologiques incompatibles avec la survie des populations de Pins actuellement situées en limite d'aire.

A l'échelle de parcelles forestières, la croissance et la production peuvent être simulées par le modèle 3PG. Il s'agit d'un modèle hybride intégrant, d'une part, un modèle mécaniste basé sur des processus physiologiques (3PG) permettant d'inclure le forçage environnemental et, d'autre part, des fonc-

tions empiriques. L'adaptation du modèle 3PG au Pin maritime améliore la prédiction de la surface terrière et du volume sous écorce, en intégrant la sylviculture [TOMÉ *et al.*].

Ainsi, comme le résume MAGNANI dans son exposé d'introduction, contrairement aux forêts tempérées, la séquestration du carbone par les forêts méditerranéennes dépend principalement des précipitations annuelles. De plus, en dépit des effets liés à la sécheresse, la production primaire brute (GPP) est plus forte chez les Pins méditerranéens que chez les autres espèces. Au cours des cinquante dernières années, les forêts tempérées (Europe, USA) ont connu une augmentation de croissance, liée à des causes multiples (CO₂, dépôts azotés, pratiques sylvicoles...). MAGNANI mentionne le fait qu'une pareille évolution n'est pas relevée en Méditerranée. S'agit-il d'une réelle absence de changement ou du manque d'études sur le sujet en forêt méditerranéenne ?

Ces différents travaux font état de la réaction différenciée des espèces et de leur capacité à s'acclimater à la limitation des ressources en eau jusqu'à la limite de leur fonctionnement et de leur survie. L'attention des gestionnaires est attirée sur la nécessité de pratiques sylvicoles de plus en plus rigoureuses, visant à des aménagements adaptés aux conditions de sécheresses prononcées.

Diversité génétique, évolution et adaptation des Pins méditerranéens

Dans le domaine de la génétique, MEDPINE 4 a permis de mettre en avant la diversité des questions scientifiques actuellement abordées sur les Pins méditerranéens, depuis l'interprétation des patrons de diversité jusqu'à la détermination des facteurs moléculaires et physiologiques de l'adaptation, incluant des caractères de réponse au stress et de reproduction. Il a également été montré la diversité des approches mises en œuvre, depuis les classiques plantations comparatives jusqu'aux méthodes les plus récentes de génotypage à haut débit. Avec satisfaction, nous avons pu remarquer que ces outils et méthodes ne s'opposent pas entre « anciens » et « modernes » mais sont bien combinés dans des approches intégratives.

2 - Les gènes candidats sont ici les gènes dont la variation est supposée avoir un effet potentiel sur les caractères d'intérêt

Dans sa présentation introductive, FADY a abordé la question de la biogéographie des gènes et de l'histoire évolutive des Pins méditerranéens. Tout d'abord, il a rappelé quatre caractéristiques génétiques des Pins méditerranéens : (i) ils se rencontrent dans une gamme très variée de conditions écologiques de l'aire méditerranéenne, illustrant notamment la grande diversité spécifique, (ii) ils ont, en moyenne, un niveau de différenciation génétique entre populations (intra-espèce) plus élevé que les conifères d'autres régions du monde, (iii) les Pins des zones les plus xériques ont moins de diversité que les Pins des régions mésothermiques ou montagneuses, (iv) leur diversité génétique s'accroît d'ouest en est du Bassin méditerranéen. Dans un second temps, FADY a montré comment ces caractéristiques peuvent s'expliquer par divers processus évolutifs à différentes échelles spatiales et temporelles : depuis l'histoire géologique de la région et l'histoire phylogénique du genre *Pinus*, jusqu'à l'histoire des refuges quaternaires et les processus de dérive et de sélection survenus durant la recolonisation de l'Holocène et, finalement, les processus récents d'adaptation locale. Sa conclusion était que les Pins méditerranéens sont un bon modèle d'étude des processus évolutifs. Pour cela, il propose une stratégie consistant à les comparer à d'autres Pins vivant dans des conditions écologiques actuelles voisines mais ayant une histoire différente, Pins californiens par exemple.

Photo 5 :

Les participants de Medpine en visite sur le terrain dans le massif du Petit Luberon (Vaucluse), sur le thème de la prévention des incendies dans les pinèdes méditerranéennes
Photo Anne GLEMIN



Deux présentations ont illustré la gamme étendue des outils actuellement utilisés pour les travaux de génétique sur ces espèces. PICHOT et VAUTHIER ont présenté une synthèse des tests de provenances et descendance de *P. halepensis*, *P. brutia* et *P. eldarica* en France. Une première série d'expérimentations fut installée à la fin des années 1970 dans le cadre du réseau FAO, une seconde série fut installée à la fin des années 1990 dans le cadre de projets financés par l'Union européenne. Ces dispositifs couvrent l'ensemble de l'aire des espèces, les mesures portent principalement sur des caractères de croissance et d'architecture des arbres. Les dispositifs en conditions très stressantes révèlent des interactions espèce x site importantes, ainsi qu'une grande variabilité entre provenances intra-espèces. Ces dispositifs installés dans un cadre collaboratif tout autour de la Méditerranée, dont certains sont déjà anciens, sont une source d'information cruciale pour définir des mesures adaptatives dans le contexte du changement climatique : un effort d'analyse de synthèse de l'ensemble du réseau doit être soutenu. A l'autre extrémité du panel d'outils, VENDRAMIN *et al.* ont montré le fort dynamisme scientifique sur les Pins méditerranéens faisant appel aux outils les plus modernes de la génomique, notamment du séquençage. La connaissance de la structuration de la diversité à l'échelle des provenances est désormais combinée à l'étude directe des gènes candidats², qui nous informent sur les événements démographiques passés des populations et permettent également de rechercher des traces d'événements de sélection. Des exemples ont été donnés sur *P. halepensis* et *P. pinaster* concernant la résistance à la sécheresse : le pin d'Alep montre des signes de perte de diversité sur les gènes impliqués dans ces caractères, des traces de sélection ont été détectées sur certains gènes chez les deux espèces. De nouvelles approches, comme l'étude des corrélations gène-environnement ou la génétique d'association, nécessitent une information préalable sur les traits d'histoire de vie des espèces. Ces nouveaux outils sont également prometteurs pour les espèces non modèles, un exemple a été donné sur *Taxus baccata*.

Ensuite, trois présentations ont abordé les questions de l'origine et des conséquences de la variabilité génétique pour des caractères adaptatifs liés à des stress abiotiques. MUTKE *et al.* ont montré que le niveau exceptionnellement faible de diversité observé

chez *P. pinea* sur la base de marqueurs cpSSR et nSSR était confirmé sur les séquences ADN de gènes candidats. Par ailleurs, les plantations comparatives montrent une importante plasticité phénotypique chez cette espèce mais cette plasticité ne varie pas entre provenances : le potentiel adaptatif dans ce cas semble plus lié à la plasticité qu'à l'évolutivité. Cependant, au niveau individuel, un test clonal de plants greffés a révélé quelques caractères variables ainsi que des interactions GxE. CLIMENT *et al.* ont présenté les travaux sur la variabilité génétique de caractères liés au développement, comme l'hétéroblastie³ entre feuilles juvéniles et feuilles adultes ou les variations morphologiques liées au stade reproducteur, chez différents Pins méditerranéens. Chez la plupart des Pins, différentes formes de feuilles ont différentes fonctions physiologiques et, chez *P. canariensis* et *P. halepensis*, une forte diversité de l'hétéroblastie apparaît comme étant liée à la diversité de survie en conditions stressantes. Bien que les Pins méditerranéens diffèrent d'autres Pins du point de vue de leur ontologie, le signal phylogénique de cette différence est faible et il semble que cela relève plus d'une évolution récente que d'un ancien événement de macro-évolution. LAMY *et al.* ont étudié la variation de la résistance à la cavitation, et autres caractères liés à la réponse à la sécheresse, chez *P. pinaster*. Étudiant la diversité au sein d'un test de provenances-descendances, ils n'ont trouvé aucune différence entre populations pour les caractères liés au bois, contrairement aux autres caractères. Par ailleurs, ils ont mis en évidence des valeurs différentes de Qst⁴ et de Fst⁵ pour différents caractères : en particulier, les valeurs de Qst pour le P50 (potentiel conduisant à 50% de perte de conductivité), plus faibles que le Fst, suggèrent une sélection stabilisante pour ce caractère, ou une évolution canalisée.

Enfin, deux présentations ont abordé la diversité génétique de caractères liés à la reproduction : ces caractères sont essentiels, non seulement du point de vue de l'écologie des populations en tant que composantes de la valeur sélective, mais aussi du point de vue de la production de graines de bonne qualité génétique pour les plantations. ALIZOTTI a étudié la variation des fertilités mâle et femelle, ainsi que la synchronie de floraison, dans un verger à graines de clones de pin noir, suivi durant trois années au climat contrasté. Elle a estimé des valeurs

d'héritabilité supérieures pour la fertilité femelle que pour la fertilité mâle et détecté une différenciation significative entre populations pour ces caractères. L'impact de cette variation sur la contribution à la production de graines a également été évalué. L'asynchronie florale varie entre années et la plus forte réduction de taille efficace a été observée pour les années les plus sèches. SANTOS DEL BLANCO *et al.* ont abordé la différenciation pour des caractères d'allocation à la reproduction et à la croissance au stade juvénile dans des provenances de pin maritime en plantation comparative. La taille à l'âge reproducteur était variable et corrélée aux variables climatiques, mais dans des sens opposés pour les fonctions mâle et femelle. Les provenances atlantiques se différenciaient de celles du sud de l'aire quant aux fonctions mâle et femelle en début de phase reproductrice. La continentalité des provenances déterminait également la corrélation entre les caractères liés à la reproduction et ceux liés à la croissance.

Impacts des incendies de forêt

Six exposés thématiques et vingt-six posters ont été présentés dans le cadre de la session principalement dédiée aux impacts des incendies de forêt ; deux des exposés traitaient des mesures sylvicoles à prendre, soit à titre préventif, soit après l'incendie. Les auteurs ont cherché à relier les acquis majeurs de leurs recherches et études à des techniques ou approches appliquées dans le but de résoudre, au moins partiellement, les problèmes rencontrés par les gestionnaires d'espaces méditerranéens forestiers ou naturels menacés par les incendies.

L'exposé introductif de KEELEY s'est intéressé à l'évolution des Pins en rappelant qu'au cours du Crétacé, le genre *Pinus* s'est séparé en deux trajectoires évolutives, avec d'une part le sous-genre *Strobus*, qui s'est développé sur les sites les plus stressants, et d'autre part le sous-genre *Pinus*, qui s'est développé sur une plus large gamme de richesse de milieux, mais perturbés par différents régimes de feu. L'analyse des traits adaptatifs des Pins liés au feu permet de distinguer quatre stratégies face aux régimes de feu : les pins qui évitent le feu, ceux qui le tolèrent, ceux qui le favorisent et ceux qui se maintiennent dans des refuges à l'abri des feux. L'auteur conclut que le feu et les stress

3 - L'hétéroblastie est la co-existence de plusieurs types de feuilles sur un même individu

4 - Qst est un paramètre qui mesure la différence génétique adaptative entre populations

5 - Fst est un paramètre qui mesure la différence génétique globale entre populations, à l'échelle de tout le génome y compris l'ADN neutre (non adaptatif)

abiotiques seraient des facteurs tout aussi importants que le climat et la géologie pour expliquer la trajectoire évolutive des Pins et leur distribution actuelle.

MOYA *et al.* synthétisent les résultats d'études dédiées aux comportements adaptatifs du Pin d'Alep face au comportement de l'incendie de forêt, principalement la sérotonine et l'isolation thermique de ses graines. Ces caractères permettent aux peuplements de Pin d'Alep de se reconstituer par semis naturel après un incendie. L'approche multidisciplinaire confirme et enrichit les connaissances sur ce caractère. Des données précises et des observations à moyen terme sont en faveur, non seulement de la restauration naturelle après l'incendie mais également de l'emploi du brûlage dirigé pour la prévention des incendies de forêt, grâce à l'ouverture des cônes sérotonineux, mais aussi au respect de l'intégrité de la banque de graines.

Trois exposés étaient destinés préférentiellement aux gestionnaires forestiers et à ceux des espaces naturels pour lesquels les auteurs détaillent des guides appliqués ainsi que des règles et des recommandations fondées soit sur des observations [CASTRO *et al.*], des dires d'experts [PIQUÉ-NICOLAU *et al.*] et de la modélisation du combustible dans des peuplements arborés après éclaircie [PIMONT *et al.*].

À partir d'observations de terrain, CASTRO *et al.* recommandent principalement de maintenir au sol des troncs et des branches des arbres brûlés afin (i) d'assurer une plus grande humidité du sol, principalement durant les premières périodes estivales après l'incendie, (ii) d'enrichir la diversité des nutriments et (iii) d'accroître leur disponibilité par la décomposition naturelle du bois.

PIQUÉ-NICOLAU *et al.* fournissent des modèles sylvicoles pour réduire, voire supprimer, les dangers de feux de cimes en éclaircissant, élaguant et supprimant le sous-étage ; ces mesures s'appuient sur les dires d'expert quant à la contribution des différentes strates forestières à l'embrasement des cimes et au feu de cimes.

Enfin, PIMONT *et al.* utilisent les modèles de combustible, intégrés dans la plate-forme CAPSIS, pour simuler le combustible dans des peuplements de Pins d'Alep réalistes, d'âges variés et ayant subi différents niveaux de mise à distance des houppiers. Ce jeu de simulation permet alors de générer des équations simples et opérationnelles per-

mettant au gestionnaire de simuler la quantité de biomasse fine (combustible), le recouvrement, le nombre de tiges par hectare et l'indice de surface foliaire de peuplements à partir de caractéristiques simples, comme la hauteur dominante, l'âge et la densité avant traitement.

Trois exposés sont, plus classiquement, consacrés aux impacts induits par le feu, immédiatement ou à long terme, mais également à la résistance des peuplements à des incendies de forêt récurrents.

Les modèles fondés sur des régressions logistiques fournissent aux gestionnaires des prédictions précises de l'évolution de chaque individu à très court terme et permet ainsi d'optimiser la gestion des espaces parcourus par le feu et de minimiser les dommages induits par des champignons ou des insectes [FERNANDES *et al.*]

THANOS et DASKALAKOU synthétisent des observations conduites pendant plus de vingt ans sur la croissance et la reproduction d'arbres sis sur des parcelles brûlées et non brûlées (témoin). Une série de photos prises tous les deux ans durant la période d'étude, illustre l'évolution de la dynamique des arbres.

Au contraire, ARIANOUTSOU *et al.* détaillent les impacts de plusieurs incendies dans des peuplements de Pin d'Alep. Les auteurs ont cartographié et caractérisé les transformations des usages du sol dans une zone sub-urbaine, suivie pendant soixante ans, période durant laquelle plusieurs incendies de forêt eurent lieu et la pression humaine s'accrût. Sous cette double menace, les forêts de Pin d'Alep perdent leur structure de peuplements forestiers et évoluent en formations arbustives. Les auteurs recommandent aux gestionnaires des mesures destinées à éviter d'atteindre ce point de non retour.

Interactions entre Pins, parasites et climat

A l'instar de nombreux écosystèmes forestiers, les pinèdes méditerranéennes doivent et devront faire face à des conditions environnementales de plus en plus contraignantes dans le cadre des changements globaux. Les parasites (insectes, nématodes et champignons) exercent sur celles-ci des pressions d'intensité croissante pour trois raisons principales : (1) des épisodes répétés de sécheresse tendent à déclencher des proces-

sus de dépérissement des pinèdes et accroître leur sensibilité aux attaques des prédateurs, dont (2) des températures plus élevées favorisent la dynamique des populations (vitesse de développement, nombre de générations annuelles, survie hivernale...), et (3) l'intense commerce international des produits du bois est un facteur prépondérant de l'introduction de nouvelles espèces de parasites indésirables. La compréhension des processus impliqués dans ces interactions entre Pins, parasites et climat représente donc un enjeu majeur pour la conservation de peuplements d'intérêts écologiques, économiques et patrimoniaux.

Parmi les diverses menaces biotiques pesant sur les pinèdes méditerranéennes, le nématode du Pin, *Bursaphelenchus xylophilus*, est sans aucun doute l'une des espèces les plus préoccupantes actuellement. Responsable de mortalités sévères dans les pinèdes asiatiques depuis la fin des années 60 (Japon, Chine, Corée, Taïwan), *B. xylophilus* a été détecté pour la première fois en Europe au Portugal en 1999 dans des peuplements dépérissants de Pin maritime. Malgré une importante campagne nationale d'éradication mise en place par les autorités portugaises, de nouveaux foyers d'infestation ont été signalés depuis 2008 dans le reste du pays ainsi qu'en Espagne. Ce nématode, classé "espèce de quarantaine" par une directive européenne (77/93 EEC) représente une menace importante pour les pinèdes européennes en l'absence de mesures efficaces de régulation de ses populations et de celles de l'insecte qui permet sa transmission d'un arbre à un autre, le coléoptère *Monochamus galloprovincialis*. Un arbre meurt 30 à 40 jours après son infection et peut renfermer des millions de nématodes dans le tronc, les branches et les racines. Originaire d'Amérique du Nord où elle ne provoque que peu de dégâts, la dissémination du nématode du Pin à l'échelle de la planète a probablement été favorisée par la circulation de bois non-traités et par l'incapacité à le détecter dans les marchandises en circulation.

Des équipes de recherches françaises et portugaises œuvrent pour développer et optimiser les méthodes de détection, de régulation et d'éradication du nématode du Pin. Ainsi, la mise au point de marqueurs génétiques spécifiques à ce parasite permettra de caractériser les populations connues de *B. xylophilus* en Europe, en Amérique du Nord et en Asie et de définir les scénarios de dissémination et d'introduction les plus probables



Photo 6 :
Piège à insecte installé
près des plantations
de pin brutia en Turquie
(région d'Antalya)
Photo DA

[CASTAGNONE-SERENO *et al.*]. D'autres types de marqueurs génétiques sont en cours de développement pour la mise au point de méthodes fiables de détection de *B. xylophilus* à partir d'extraits de bois ou de leur vecteur *M. galloprovincialis* [FONSECA *et al.*]. Ces méthodes de détection directes permettront un diagnostic sanitaire des peuplements et des produits commerciaux. Un effort pertinent est également fourni pour comprendre le déterminisme génétique de certains mécanismes de défense des arbres [SAMPEDRO *et al.*], ainsi que pour l'identification de gènes impliqués dans la résistance naturelle du Pin maritime à *B. xylophilus* et la possible transformation génétique de cette essence [MOTA *et al.*]. Il émerge par ailleurs la nécessité de connaître précisément l'impact de l'infestation du nématode du Pin sur la qualité du bois et la possibilité de son exploitation [REVA *et al.*].

Devant la forte propension de *B. xylophilus* à se disséminer de façon naturelle et assistée, une stratégie de veille sanitaire dans les peuplements de Pins européens est actuellement en vigueur, en association avec les mesures réglementaires de contrôle et de traitement de tous les bois de conifères (d'emballages, d'arrimages, de copeaux et de déchets, écorces isolées...) en provenance du Portugal exigés par la Commission des Communautés européennes.

Adaptation des pinèdes méditerranéennes au changement climatique

Une première série de présentations a traité des interactions entre climat et processus biologiques au sein des peuplements. À partir d'observations rétrospectives sur l'architecture de Pins méditerranéens dans le sud de la France, VENNETIER *et al.* montrent que les événements climatiques qui affectent la croissance primaire des arbres modifient fortement leur architecture et leur surface foliaire sur plusieurs années. Les caractéristiques architecturales dépendent généralement plus de l'année précédente que de l'année en cours. La succession d'années sèches depuis 2003 a fortement diminué la production primaire des arbres. Lors des périodes (quelques années) favorables, les arbres ne rétablissent leur potentiel que progressivement.

En affectant la dispersion du pollen, le climat joue un rôle essentiel dans la reproduction. À partir du monitoring de la pollinisation, réalisé par des observations phénologiques et grâce à des capteurs placés au niveau de la cime de Pin sylvestre en Turquie, BOYDAK montre que plus de 90% de la pollinisation s'effectue au cours des six "meilleurs" jours. La pollinisation dépend plus de la température de l'air que de son humidité. Le début de la pollinisation intervient lorsque la somme des températures ($> 5^{\circ}\text{C}$) atteint environ 15% du total annuel ;

ce résultat est en accord avec des travaux effectués dans d'autres pays et qui permettent de raisonner l'installation de plantations ou vergers à graines sur des bases climatiques.

Les relations hôtes-parasites peuvent également être affectées par le changement climatique. MELLADO et ZAMORA montrent que, dans le parc de la Sierra de Baza en Espagne, le gui se développe plus fréquemment et plus abondamment à basse altitude sur les Pins noir et sylvestre situés entre 1300 et 2100 m. En revanche, sa germination est plus élevée à haute altitude. En l'absence d'une gestion forestière spécifique, le réchauffement climatique risque d'accentuer les dégâts causés par ce parasite.

La question est ensuite de savoir si les ressources forestières locales seront adaptées au futur climat. Dans le Valais (Suisse), la germination et la croissance de semis de deux provenances de Pin sylvestre (de Suisse et Espagne) et une de Pin noir (Espagne) ont été évaluées dans différentes conditions de températures (ambiante, $+2,5^{\circ}\text{C}$, $5,0^{\circ}\text{C}$) et de précipitation. Selon RICHTER *et al.*, la sécheresse estivale est le principal facteur affectant les semis. La provenance espagnole présente alors une meilleure survie et une meilleure croissance. Toutefois et contrairement à la ressource autochtone, elle ne tire pas profit des conditions plus favorables. Enfin, la forte variabilité observée au sein de cette ressource autochtone traduirait un bon potentiel adaptatif.

Les variations phénotypiques dues aux variations des conditions environnementales sont fréquentes (plasticité). Pour autant les facteurs écologiques qui en sont la cause ne sont pas facilement identifiables. La plasticité phénotypique pour la hauteur (à 7 ans) a été évaluée par DE LA MATA POMBO *et al.* Chez 116 descendances de demi-frères de Pin maritime ibérique issues d'une population côtière (climat atlantique) grâce à une série de seize plantations comparatives installées selon un gradient des conditions atlantiques aux conditions méditerranéennes. Les interactions génotype x environnement sont très fortes mais ne suivent pas de logique géographique et seule la fréquence des froids apparaît structurante. Le réchauffement climatique pourrait donc être favorable au transfert de matériel côtier vers l'intérieur du pays.

La dynamique spatiale des forêts dépend du climat, combiné parfois aux activités humaines. Ainsi en zone de montagne, le

Photo 7 :

Cette 4^e édition de Medpine a rassemblé 170 participants de 14 nationalités différentes
Photo Anne GLEMIN



réchauffement climatique fait remonter la limite altitudinale de la forêt. Mais la dynamique dépend aussi fortement des activités humaines. Le processus a été étudié par PALOMBO *et al.* dans le Parc national de Majella (Italie) à partir de photos aériennes depuis 1954, d'historiques sur le pâturage depuis les années 80 et d'analyses dendroclimatiques. La dynamique a été évaluée par la densité de Pin mugo aux différentes altitudes. En 54 ans, la forêt a progressé non seulement vers le haut (+ 52 m) mais aussi vers le bas (+ 154 m). La croissance est corrélée aux températures chaudes de printemps et aux pluies estivales. Le patron d'expansion du Pin a été fortement modifié par l'abandon du pastoralisme.

Afin d'évaluer la relation entre la végétation et le régime de feu, LEYS et CARCAILLET ont analysé les charbons présents dans des carottes prélevées au fond du lac Creno en Corse. Au cours des 10000 dernières années, deux périodes sont identifiées qui présentent des fréquences de feu d'abord faibles (un tous les 300 ans) puis plus fortes après 3800 BP (un tous les 125 ans vers 2900). Cette variation est attribuée au changement de végétation qui s'est opéré au cours de la période.

Le changement climatique impacte les écosystèmes forestiers et rend nécessaire d'en modifier la gestion. BORGES présente un éventail de modèles et outils à destination des gestionnaires et acteurs économiques afin d'améliorer la gestion des massifs de Pins méditerranéens. Ces modèles traitent des scénarios climatiques et économiques, de la prise en compte des risques d'incendies, de la croissance des peuplements, de la sylviculture à l'échelle de la parcelle, de la gestion à l'échelle des massifs ainsi que des règles de prises de décisions. La combinaison de modèles (risques-dégâts, dynamique basée sur des processus...) et la prise en compte de la stochasticité permettent de proposer, à différentes échelles, des outils de gestion prévisionnelle. Des illustrations de cette approche conceptuelle sont fournies pour le Pin maritime en matière de gestion du risque d'incendie et de production de bois.

Conclusion

Sans avoir la prétention à l'exhaustivité, ces quelques pages résument les principales contributions et discussions de cette semaine riche en informations. Certains points seront

approfondis dans un numéro spécial, en préparation, de la revue scientifique *Annals of Forest Science*, annoncé pour début 2012.

La conférence MEDPINE 4 a démontré l'intérêt d'une approche interdisciplinaire autour d'un objet commun, les Pins méditerranéens. Le panel des disciplines représentées a été élargi par rapport aux éditions précédentes ce qui a favorisé le décloisonnement des approches scientifiques classiques. La combinaison de connaissances de domaines variés permet de les intégrer pour éclairer les choix des gestionnaires et pour orienter les pratiques dans un contexte changeant.

L'audience du cycle de conférences MEDPINE s'est considérablement développée lors de l'édition avignonnaise, ce qui est de bonne augure pour le prochain rendez-vous qui aura lieu en 2014 en Catalogne espagnole, organisé par le Centre Technique Forestier de Catalogne (CTFC) à Solsona et l'INIA.

Remerciements

La FAO Silva-Mediterranea, la Région PACA, le Conseil Général de Vaucluse, la Ville d'Avignon, l'Institut National de la Recherche Agronomique et Fibre Excellence Tarascon sont vivement remerciés pour leur soutien et leur contribution à la réussite de cette manifestation.

Références

- Communications au colloque MEDPINE 4 [code de la présentation]*
- Adili B., Balandier, P., El Aouni M.H. Et Garchi S. [P2-11] Growth and dendrometric relationships of stone pine (*Pinus pinea* L.) planted in the coastal dunes of North Tunisia.
- Alizoti P. [O6-7] Fertility variation and gamete gene pool composition in a black pine (*Pinus nigra* Arn.) clonal seed orchard under changing climatic conditions.
- Ameztegui A. et Coll L. [O1-1] Dynamics and coexistence in the montane-subalpine ecotone: the role of different light-induced strategies.
- Arianoutsou M., Mallinis G., Maroudi E. et Koutsias N. [O4-2] Assessment of Aleppo pine stands resistance in recurrent forest fires: The case study of Mt. Penteli, Greece.
- Ayari A., Zubizarreta A., Moya D. et Garchi S. [P2-16] Management tools to estimate forest structure and reproductive characteristics of Aleppo pine forest in North Africa.

Affiliation des auteurs
Eric RIGOLOT*
Thomas BOIVIN
Philippe DREYFUS
Roland HUC
François LEFEVRE
Christian PICHOT
Jean-Charles VALETTE
INRA
Unité de recherche
Ecologie des Forêts
Méditerranéennes
(UR629)
Site Agroparc
Domaine Saint Paul
84914 Avignon
cedex 9 - France
www.avignon.inra.fr/urfm

Catherine
FERNANDEZ
Équipe Diversité et
Fonctionnement :
des molécules
aux écosystèmes
Institut Méditerranéen
de Biodiversité et
d'Écologie marine et
continentale (IMBE)
UMR 7263 CNRS, 237
IRD
3 Place Victor Hugo
Case 4
13331 Marseille
cedex 3 - France

* Auteur
correspondant :
Eric Rigolot
Mél : eric.rigolot@avignon.inra.fr

6 - Le programme du colloque et les résumés des présentations (conférence book) sont téléchargeables depuis le site du colloque : <https://colloque.inra.fr/medpine4/MEDPINE-4/News/Post-conference-news>

- Boulant N., Garnier A., Curt T. et Lepart J. [O2-2] Disentangling the effects of land use, shrub cover and climate on the invasion speed of native and introduced pines in grasslands.
- Bravo-Fernández A., Mutke S., Serrada R. et Roig S. [P2-15] Promoting mixed stands through conversion treatments.
- Bravo-Oviedo A. et Valentine H.T. [P2-10] Scaling cross-sectional growth and height growth in Mediterranean pines.
- Caplat P., Nathan R. et Buckley Y. [O2-1] Combining demography, dispersal, and wind data to model the spread of an invasive Mediterranean pine in New-Zealand mountains.
- Carus S. et Çatal Y. [P2-7] The alteration of diameter distribution by site quality and age in even aged Crimean pine (*Pinus nigra* Arnold) stands in southern Turkey.
- Castagnone-Sereno P., Guillemaud T., Mota M.M., Castagnone C. et Abad P. [P7-05] The pinewood nematode: a major invasive pest of European pine forests.
- Castro J., Marañón-Jiménez S., Querejeta J.I., Fernández-Ondoño E. et Allen C.D. [O4-3] Post-fire salvage logging increases water stress and reduces seedling growth and nutrient uptake of *Pinus pinaster* in the Sierra Nevada, Spain.
- Chomel M., Badly V., Bousquet-Melou A., Pernin C., Dupouyet S. et Fernandez C. [O3-1] Fate of secondary metabolites in litter of *Pinus halepensis* Mill.
- Ciancio O., Iovino F., Menguzzato G., Nicolaci A., Nocentini S., Travaglini D. et Veltri A. [O2-5] Forest dynamics, forest types and forest management of Calabrian black pine in Southern Italy.
- Climont J., Chambel M.R., Gonzales-Martinez S. et Grivet D. [O6-5] Interpreting the ontogenetic delay of shoot development in Mediterranean pines: adaptive trait or phylogenetic constraint?
- De La Mata Pombo R., Voltas J. et Zas R. [O5-2] Genetic variation in phenotypic plasticity of a *Pinus pinaster* Atlantic population in a transitional region to Mediterranean conditions.
- De Miguel S., Pukkala T., Assaf N. et Bonet J.A. [O2-4] Even-aged or uneven-aged modelling approach, that is the question: a case for *Pinus brutia*.
- Erkan E. [O2-6] Growth performance of Turkish Red Pine (*Pinus brutia* Ten.) and its importance for Turkey.
- Fady B. [KN5] Biogeography of genes and evolutionary history of Mediterranean pines.
- Fernandes P.M., Botelho H.S. et Rigolot E. [O4-4] Modeling the immediate post-fire mortality of maritime pine (*Pinus pinaster*).
- Fonseca L., Cardoso J.M.S. Et Abrantes I. [O7-1] Direct molecular detection of the Pine Wood Nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, from *Pinus pinaster* and from its insect vector, *Monochamus galloprovincialis*.
- Fontes L., Almeida A., Dumbrell I. et Tomé M. [P2-09] Modelling *Pinus pinaster* productivity in Australia and Portugal using 3-PG model.
- Guibal F., Corona C., Alvitre M., Huc R. et Simioni G. [O1-3] Assessing Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) xylem formation by means of periodic microcores sampling.
- Hernández-Tecles E.J., de las Heras J., Lopez-Serrano F.R., Moya D., Alfaro-Sánchez R., Hedo J. et González-Jimenez J.L. [O3-5] Plant diversity in natural and artificial Aleppo pine stands in south-eastern Spain.
- Keeley J. [KN3] Fire ecology and evolutionary biology of Mediterranean pines.
- Krouchi F., Bouri L., Mehdi R., Rezzik M. et Derridj A. [O3-7] High seed efficiency among Aleppo pine and maritime pine individuals in Algeria.
- Lamy J.B., Bouffier L., Burlett R., Plomion C., Cochard H. et Delzon S. [O6-6] Genetic variation of cavitation resistance in *Pinus pinaster*: the first evidence for uniform selection in plants?
- Leys B. et Carcaillet C. [O5-3] Long-term fire history and diversity in Mediterranean mountain of Corsica
- Magnani F. [KN1] Carbon sequestration in Mediterranean pine ecosystems: interacting effects of water availability, increasing CO2 and nitrogen.
- Manetti M.C., Amorini E., Giannini T. et Cutini A. [P2-19] Overstocked stone pine stands. Can late and heavy thinnings be sustainable?
- Mantzanis K. et Papanastasis V. [P2-06] Relation between thinning and understory plant cover and biomass in a *brutia* pine plantation in northern Greece.
- Mellado A. et Zamora R. [O5-1] Distribution, interactions and impact of mistletoe in the Mediterranean pine woodlands under a climate change scenario.
- Mota M., Ribeiro B., Carrasquinho I., Ribeiro P. Evaristo I., Costa R., Vieira P. et Vasconcelos M.W. [O7-3] Pine wilt disease and the pinewood nematode: a threat to Mediterranean pine forests.
- Moya D., Salvatore R., de las Heras J., Leone V. ópez-Serrano F.R., Pulido L. et Valero E. [O4-1] Advances in Aleppo pine fire ecology: serotiny and heat insulation.
- Mutke S., Fady B., Ben Mna A., Khaldi A., Khouja M.L., Gonzales-Martinez S.C., Climent J. Sebastiani F., Torre S. et Vendramin G.G. [O6-4] The further we search, the less we found: low genetic variation in quantitative and molecular traits in Mediterranean stone pine (*Pinus pinea*).

- Nanos N., Miranda J.C., González Doncel I., Gonzalo J., Rodríguez Martín A. et Gil L. [O3-6] A pine species surviving after volcanic eruptions.
- Nunes L., Tomé J., Patricio M. et Tomé M. [P2-17] Prediction of annual tree growth and survival for thinned and unthinned even-aged maritime pine stands in Portugal from data with different time measurement intervals.
- Osem Y., Rosenfeld A. et Lavi I. [O3-2] Colonization of *Pinus halepensis* in southern Mt. Carmel, Israel: consequences of afforestation, grazing and fire.
- Palombo C., Tognetti R., Cherubini P., Chirici G., Battipaglia G., Lombardi F., Garfi V. et Marchetti M. [O5-4] Mountain pine at the tree-line in the Mediterranean Basin.
- Pedro M., Tomé M., Freire J., Fontes L. et Dias A. [P2-01] Application of the 3PG forest growth model to stands of *Pinus pinaster* Ait. in the National Forest of Leiria, Portugal.
- Pichot C. et Vauthier D. [O6-2] Main results of the *Pinus halepensis* – *Pinus brutia* French comparative provenance trials.
- Piermattei A., Renzaglia F., Urbanati C. [O2-3] Recent expansion of *Pinus nigra* above treeline in central Apennines, Italy: Man induced or climate controlled dynamics?
- Pimont F., Dreyfus P., de Coligny F., Rigolot E. et Dupuy J.L. [O4-5] Stand characteristics and canopy fuel load after thinning in Aleppo pine stands.
- Piqué-Nicolau M. et Vercat-Grau P. [P2-03] Establishment of forest types as a tool for developing forest management guidelines in Mediterranean areas: the case of *Pinus sylvestris*.
- Piqué-Nicolau M., Valor-Ivars T. et Beltrán M. [O4-7] Providing silvicultural models to reduce crown fire hazard in *Pinus halepensis* stands.
- Poirazidis K., Zografou K., Kordopatis P., Kalivas D., Arianoutsou M., Kazanis D. et Korakaki E. [O2-7] Combining multi-criteria evaluation and geostatistics to predict post-fire regeneration of *Pinus halepensis* at a regional scale : a rapid assessment and decision making tool.
- Prévosto B., Monnier Y., de Boisgelin G., Ripert C. et Fernandez C. [P2-02] Influence of *Pinus halepensis* cover on seedling growth of two cooccurring Mediterranean oak species.
- Reisman-Berman O., Ben-Yair S., Shelef O., Rachmilevitch S. et Boeken B. [O3-4] Does pine canopy facilitate the transition to a mixed forest: the role of the forest structure in dry Mediterranean environments?
- Reva V., Fonseca L., Lousada J.L., Abrantes I. et Viegas D.X. [O7-2] Economic impact of the pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*.
- Richter S., Moser B., Kipfer T., Calderón-Guerrero C., Ghazoul J. et Wohlgemuth T. [O5-6] Spring precipitation and genotypic variation may be the key to the persistence of *Pinus sylvestris* at the forest-steppe ecotone in the Central Alps.
- Sampedro L., Moreira X. et Zas R. [O7-5] Trade-offs between induced and constitutive resistance in maritime pine: secondary chemistry, effective antiherbivore resistance and environmental modulation.
- Santos-Del-Blanco L. et Climent J. [O3-3] Costs of reproduction in *Pinus halepensis* and their outcomes: an integrative approach.
- Santos-Del-Blanco L., Pannell J. et Climent J. [O6-8] Patterns of differentiation for early sex allocation and growth across *Pinus pinaster* population.
- Sarris D., Christodoulakis D., Körner Ch., Christopoulou A. et Arianoutsou M. Recent growth reduction in *Pinus halepensis* and *Pinus nigra* forests associated with drought intensification in the eastern Mediterranean. [O1-2]
- Sheffer E., Canham C.D., Kigel J. et Perevolotsky A. [KN2] Development of novel pine-oak Mediterranean ecosystems: an unintended outcome of conservation and afforestation.
- Simioni G. et Huc R. [O1-4] Paradoxical transpiration patterns of two coexisting tree species submitted to partial rainfall exclusion.
- Thanos C.A. et Daskalakou E.N. [O4-6] Long-term monitoring (1989-2010) of growth and reproductive performance in a postfire-regenerating Aleppo pine population on Mt Parnes (Attica, Greece).
- Tomé M., Fontes L., Nunes L. et Tomé J. [O1-5] Integration of empirical and process-based models for maritime pine in Portugal.
- Vendramin G.G., Grivet D., Torre S., Sebastiani F., Zabal-Aguirre et Gonzales-Martinez C. [O6-3] Candidate-gene research to understanding the role of genetic diversity in the adaptive response of Mediterranean pines.
- Vennetier M., Girard F., Didier C., Ouarmim S., Ripert C., Caraglio Y., Martin W., Estève R. et N'Diaye A. [O5-7] Direct and delayed impact of climate accidents on the architectural development and leaf area of Mediterranean pines.

Autres références

- Arianoutsou M. et Thanos C. 2004. Avant propos au numéro spécial de la conférence MEDPINE 2 dans Plant Ecology. 171 : 1
- Leone V. et Lovreglio R. 2007. Proceedings of the International Workshop MEDPINE 3: Conservation, Regeneration and Restoration of Mediterranean Pines and their Ecosystems. Options Méditerranéennes.
- Simioni G. et Huc R. 2011. Le site d'étude à long terme de Font-blanche. Forêt Méditerranéenne, XXXII(2): 133-134

Résumé

MEDPINE 4 a été organisée du 6 au 10 juin 2011 à Avignon par l'unité de recherche « Écologie des Forêts Méditerranéennes » (URFM) de l'INRA PACA. Cette conférence visait à rassembler les chercheurs de toutes disciplines étudiant les Pins méditerranéens. Elle s'adressait aussi aux gestionnaires et aux décideurs chargés de la gestion des pinèdes méditerranéennes. Il s'agissait de faire le point sur les connaissances acquises et de stimuler le dialogue entre les disciplines. La 4^e édition de ce cycle de conférences a réuni plus de 170 participants, de quatorze pays. Sans avoir la prétention à l'exhaustivité, cet article résume les principales contributions et discussions de cette semaine riche en informations. Elles couvrent les domaines de la dynamique des peuplements et gestion forestière, de l'écologie des Pins méditerranéens, de la résistance à la sécheresse et bilan carbone, de la diversité génétique et de l'évolution des Pins méditerranéens, de l'impact des incendies de forêt, de l'interactions entre Pins, parasites et climat et, finalement, de l'adaptation des pinèdes méditerranéennes au changement climatique.

Summary

Conservation, ecology, restoration and management: challenges in the context of global change

MEDPINE 4 took place on June 6-10 in Avignon (France) under the auspices of the "Ecology of Mediterranean Forests" research unit belonging to the *Provence-Alpes-Côte d'Azur* branch of the INRA (French national agricultural research institute). The conference sought to bring together from every field research scientists working on Mediterranean pines. The purpose of the event was to survey the present state of knowledge and stimulate dialogue amongst the various disciplines. More than 170 people from fourteen countries took part in this fourth of an ongoing series of conferences. This article, while making no claim to being exhaustive, gives an account of the main contributions and discussions during this richly rewarding week. The themes included population dynamics and forestry management, the ecology of Mediterranean pines, drought resistance and the carbon count, genetic diversity and the evolution of Mediterranean pines, the impact of forest fires, the interaction between pines, parasites and climate and, finally, the adaptation of Mediterranean pines to climate change.

Resumen

Los Pinos mediterráneos

Conservación, ecología, restauración y gestión: retos en un entorno de cambios globales

MEDPINE 4 se celebró del 06 al 10 junio 2011, en Avignon, por la unidad de investigación "Ecología de los Bosques del Mediterráneo" (URFM) del INRA PACA. Esta conferencia tuvo como objetivo reunir a investigadores de todas las disciplinas que estudian a los pinos mediterráneos. Estuvo también destinada a los gestores y responsables encargados de la gestión de los bosques de pinos mediterráneos. Se trataba de revisar el conocimiento existente y estimular el diálogo entre las disciplinas. La 4^a edición de este ciclo de conferencias reunió a más de 170 participantes originarios de catorce países diferentes. Sin pretender ser exhaustivo, este artículo sintetiza a los principales aportes y debates de esta semana llena de información. Cubren las áreas de la dinámica de los rodales y de la gestión forestal, la ecología de los pinos mediterráneos, la resistencia a la sequía y el almacenamiento de carbono, la diversidad genética, la evolución de los pinos mediterráneos, los impactos de los incendios forestales, las interacciones entre pinos, plagas, clima y por último, la adaptación de los bosques de pinos mediterráneos al cambio climático.