

forêt méditerranéenne

tome XXXI, numéro 4, décembre 2010

Numéro spécial
Semaine forestière méditerranéenne
Antalya, Turquie, 13-16 avril 2010

Special Issue
Mediterranean Forest Week
Antalya, Turkey, 13-16 April 2010

Séminaire scientifique EFIMED ■
Réunion Silva Mediterranea ■
Vivexpo 2010 ■

Scientific seminar EFIMED ■
Silva Mediterranea meeting ■
Vivexpo 2010 ■

Yves BIROT

Editorial

p. 319

Editorial

p. 320

Semaine forestière méditerranéenne - Antalya (Turquie) - 13-16 avril 2010

Mediterranean Forest Week - Antalya (Turkey) - 13-16 April 2010

Présentation de la Semaine forestière méditerranéenne d'Antalya

p. 321

Presentation of the Mediterranean Forest Week of Antalya

p. 323

FAO - Silva Mediterranea

Réunion du Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea

p. 325

Meeting of the Enlarged Executive Committee of Silva Mediterranea

p. 327

Document de référence : contribution des forêts et d'autres espaces boisés
à la sécurité alimentaire en Méditerranée

p. 329

*Background paper: contribution of forests and other wooded lands
to food security in the Mediterranean*

p. 337

Marc PALAHI & Yves BIROT

EFIMED en bref - Regard sur le bureau méditerranéen
de l'Institut forestier européen (EFI)

p. 345

*EFIMED in brief - A snapshot on the Mediterranean Regional Office
of the European Forest Institute (EFI)*

p. 348

Josep PEÑUELAS et al.

Intégration des effets du changement climatique sur les forêts méditerranéennes :
observation, expérimentation, modélisation et gestion

p. 351

*Introducing the climate change effects on Mediterranean forest ecosystems:
observation, experimentation, simulation and management*

p. 357

Jerome K. VANCLAY

Les pratiques sylvicoles peuvent-elles améliorer l'économie d'eau ?

p. 363

Can silvicultural treatments improve the water economy?

p. 366

Santiago C. GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, Delphine GRIVET & Giovanni G. VENDRAMIN
Contributions de la recherche de gène-candidat pour la compréhension du rôle
de la diversité génétique dans la réponse adaptative des conifères méditerranéens
à la sécheresse
p. 369
*Contributions of candidate-gene research to understanding the role of genetic
diversity in the adaptative response of Mediterranean conifers to drought*
p. 373

Andrea BATTISTI & Hervé JACTEL
Populations d'insectes ravageurs et changement climatique dans les forêts du Bassin
méditerranéen
p. 377
*Pest insect populations in relation to climate change in forests of the Mediterranean
basin*
p. 385

François LEFEVRE
Prendre en compte la dimension dynamique de l'adaptation pour gérer
les incertitudes : importance des ressources génétiques forestières
p. 393
*Taking into account the dynamics of adaptation for better management
of uncertainty: the importance of forest genetic resources*
p. 396

Jean-Luc DUPUY
Comprendre le comportement du feu à l'échelle du paysage :
une approche physique tri-dimensionnelle
p. 399
*Understanding the behaviour of wildfire on the scale of landscape:
a 3-dimensional physical approach*
p. 405

Paulo M. FERNANDES
Créer des forêts et des paysages résistants au feu
p. 411
Creating fire-smart forests and landscapes
p. 417

Bo Jellesmark THORSEN
Intégrer le risque dans la gestion et la politique : défis et vision économique
p. 423
Integrating risks into management and policy: challenges and economic insights
p. 428

Liste des participants - List of participants
p. 433

Vivexpo, colloque international, juin 2010 **Vivexpo, international symposium, June 2010**

Renaud PIAZZETTA
Vivexpo 2010, colloque international "Chêne-liège et changement climatique"
p. 437
Vivexpo 2010, international symposium "Cork oak and climate change"
p. 443

éditorial

Les enjeux liés aux forêts méditerranéennes : une prise de conscience renouvelée ; une approche fondée sur la connaissance

On ne peut que se réjouir d'observer l'actuel regain d'intérêt pour les forêts méditerranéennes, et la volonté de toutes les parties prenantes concernées d'amplifier et de concerter leurs efforts, pour que leur futur ne soit pas rangé au placard de l'indifférence, voire de l'oubli. Leur importance pour nos sociétés rurales et urbaines, par les biens et services diversifiés qu'elles procurent, mais aussi les menaces qui pèsent sur elles, du fait du changement des conditions environnementales et socio-économiques, justifient ce sursaut.

La première Semaine forestière méditerranéenne, qui s'est tenue à Antalya (Turquie) du 13 au 16 avril 2010, avec l'appui des autorités turques, semble bien concrétiser cette nouvelle dynamique. La réunion annuelle d'EFIMED a servi de catalyseur à un effet « boule de neige », générant l'émergence d'une véritable plateforme réunissant une large palette des acteurs de la forêt méditerranéenne : monde scientifique, institutions internationales (FAO-Silva Mediterranea), ONG (l'Association Internationale Forêt Méditerranéenne, AIFM). À l'unanimité, les organisations présentes ont souhaité reconduire et pérenniser la formule testée à Antalya. « *On ne change pas une équipe qui gagne, mais on peut l'améliorer* ». Une deuxième Semaine forestière méditerranéenne aura donc lieu du 5 au 8 avril 2011. Elle se tiendra à Avignon (France) dans le cadre prestigieux du Palais des Papes. Cet événement, placé dans le cadre de l'Année Internationale de la Forêt des Nations-Unies, verra son assise élargie, puisque d'autres partenaires se joindront en nombre à ceux mentionnés ci-dessus.

Dans la région méditerranéenne, comme ailleurs, l'importance de la connaissance, comme pilier majeur de nos sociétés, fondement de l'innovation technologique et de la décision politique, devient une évidence reconnue. Il est alors crucial de réunir les conditions du dialogue entre le monde de la science, et celui des décideurs, gestionnaires, et de la société en général. Le séminaire scientifique annuel d'EFIMED est organisé dans cet esprit. Il se veut résolument multi-disciplinaire et propose à un auditoire, dans lequel les chercheurs ne sont pas majoritaires, les données scientifiques les plus récentes et pertinentes concernant des questions-clés relatives aux forêts méditerranéennes et à leur gestion. S'adressant à des non-spécialistes, les communications invitées, sont néanmoins présentées par des scientifiques d'envergure internationale et de haut niveau dans leurs disciplines respectives.

L'association Forêt Méditerranéenne, la FAO à travers son comité Silva Mediterranea, l'EFIMED et l'AIFM ont décidé d'unir leurs forces, pour mettre à disposition du plus grand nombre — à la fois par la forme et la langue — les communications invitées, sous la forme d'un numéro spécial international de la revue *Forêt Méditerranéenne*. J'ai le plaisir d'introduire ici ce numéro.

Outre un dossier rassemblant les communications et constituant son « noyau dur », centré sur le thème du Séminaire scientifique : « Gestion rationnelle des forêts méditerranéennes soumises aux risques induits par le climat : les voies du futur », il contient des articles résultant des ateliers tenus dans le cadre de cette première Semaine Forestière Méditerranéenne, ainsi que le compte rendu du Colloque international Vivexpo, dont le thème « Chêne-liège et changement climatique » nous a paru apporter un complément intéressant aux comptes rendus du Séminaire d'Antalya.

Je souhaite aux lecteurs une bonne découverte de ce numéro. Je forme des vœux pour que cette initiative rencontre le succès et la durabilité qu'elle mérite, et que d'autres institutions viennent s'y associer pour de prochains numéros internationaux, contribuant ainsi à une réflexion renouvelée sur les futures stratégies de gestion de nos forêts méditerranéennes.

Yves BIROT

Chef de Département-honoraire des Recherches Forestières à l'INRA
Président du Comité Consultatif d'EFIMED

editorial

What's at stake in Mediterranean forests: a new awareness, an approach based on knowledge

One can only feel very happy at the current renewed interest in Mediterranean forests and the commitment of all those involved to redouble efforts and work together to ensure that the future of these forests and woodlands will not be treated with indifference or, indeed, just left aside and forgotten. This present-day jolt into raised awareness of Mediterranean forests is fully justified, given their importance for rural and urban society on account of the range of goods and services they provide and the grave problems arising from environmental and socio-economic changes that now threaten their survival.

The 1st Mediterranean Forest Week, held at Antalya (Turkey) on 13-16 April 2010 with the support of the Turkish authorities, appears clearly as a concrete example of the new dynamic. The annual EFIMED conference had worked as a catalyser, generating a kind of "snow-ball effect" that resulted in a platform where a wide cross-section of stakeholders in Mediterranean forests came together: scientists, international institutions (FAO-Silva Mediterranea), NGOs (IAMF-International Association for Mediterranean Forests). Unanimously, those present wished to repeat and maintain the Antalya experience – "*You don't change a winning team but you can improve it.*" So a 2nd Mediterranean Forest Week is to be held in Avignon (France), in the magnificent setting of the Papal Palace, on 5-8 April 2011. The event will take place within the broader context of UNO's International Forests Year and will thus acquire a stronger base as other bodies join in with the partners mentioned above.

Around the Mediterranean Rim as elsewhere, the importance of knowledge as a major pillar of modern societies, underpinning technological innovation and policy-making, has become a recognised fact. Hence the crucial need to foster conditions for dialogue between the world of science and the worlds of political decision-makers, managers and society at large. EFIMED's annual scientific seminar is inspired by this very outlook: the gathering is resolutely interdisciplinary and, to an audience where scientists are by no means in the majority, there are presentations of the latest and most relevant data on the issues involving Mediterranean forests and woodlands and their management. While addressed to non-specialists, the papers presented are the work of internationally-recognised scientists at the leading edge in their respective fields.

France's *Association Forêt Méditerranéenne*, the FAO through its Silva Mediterranea committee, EFIMED and IAMF have decided to join forces in order to make these papers available to the widest public — taking into account both form and language — by publishing a special international edition of the journal *Forêt Méditerranéenne*. It is my pleasure to provide this introduction.

Apart from the core section of the magazine, made up of the scientific presentation papers focusing on the theme of the Seminar : "Knowledge base management of Mediterranean forests under climate driven risks: the ways ahead", there are articles resulting from workshops held during the 1st Mediterranean Forest Week, as well as an account of the Vivexpo International Symposium on "Cork Oak and Climate Change" which seems to us an enlightening addition to the reports from the Antalya Seminar.

I hope that our readers will find food for thought in this issue. And I hope, too, that this initiative enjoys the lasting success that it deserves and that other organisations will join with us in producing future international editions of the magazine, contributing to the renewed concern and thought about strategies for the future management of Mediterranean forests and woodlands.

Yves BIROT

Honorary Head of Forestry Research, INRA – France
Chairman, EFIMED Consultative Committee

Présentation de la Semaine forestière méditerranéenne d'Antalya (Turquie)

13-16 avril 2010

Introduction

Les écosystèmes forestiers méditerranéens fournissent de multiples biens et services, y compris une richesse exceptionnelle en termes de biodiversité, qui sont cruciaux pour le développement socio-économique des zones rurales, ainsi que pour le bien-être des populations urbaines de la région méditerranéenne. Plusieurs défis ont émergé dans un contexte de changement global, qui doivent être traités par les gestionnaires et les décideurs politiques pour assurer une gestion durable de la forêt méditerranéenne :

- comment adapter les forêts méditerranéennes et les pratiques sylvicoles aux changements climatiques et aux changements dans l'utilisation des terres ?
- quels sont les politiques et les instruments économiques à mettre en œuvre pour assurer la fourniture durable de ces multiples biens et services environnementaux ?
- comment gérer des forêts multifonctionnelles dans des territoires complexes à usages multiples ?

Relever ces défis exige à la fois, des informations fiables, fondées sur la science, et un dialogue fluide, transparent et interactif entre les scientifiques et les décideurs politiques. Dans ce contexte, le dialogue entre la communauté scientifique et les décideurs politiques doit être améliorée à travers : la promotion des réseaux scientifiques et politiques, le renforcement ciblé des capacités, le développement d'outils de communication spécifiques (publications, événements et réunions), etc.



Photo 1 :

Les participants de la première Semaine forestière méditerranéenne, lors de la visite de terrain organisée par le SAFRI (Institut de recherche turc)

EFIMED, Silva Mediterranea (FAO) et plusieurs organisations (y compris l'AIFM, le Plan Bleu, ARCMED, le Réseau méditerranéen de forêts modèles, ainsi que les pays membres de Silva Mediterranea) ont uni leurs forces pour bâtir une plate-forme commune pour la coopération régionale sur les forêts méditerranéennes.

Ces efforts ont abouti, dans un premier temps, à l'organisation d'une Semaine forestière méditerranéenne. Cette rencontre a été conçue comme une plate-forme commune pour la coopération régionale sur les forêts méditerranéennes, visant à améliorer le dialogue entre la communauté des chercheurs, les décideurs politiques et les acteurs concernés ainsi qu'à communiquer à la communauté internationale et à la société dans son ensemble, l'importance des forêts méditerranéennes et les défis qui les affectent.

La première Semaine forestière méditerranéenne a été organisée à Antalya (Turquie) à l'invitation de l'Institut de recherche forestière du sud-ouest de l'Anatolie (SAFRI), du 13 au 16 avril 2010.

Au cours de cette semaine, plusieurs manifestations ont été organisées :

- EFIMED a tenu son Séminaire scientifique annuel sur le thème : gestion rationnelle des forêts méditerranéennes soumises aux risques induits par le climat : les voies du futur (Cf. pages 351-432) ;

- le Comité de la FAO, Silva Mediterranea, a réuni la troisième session de son Comité exécutif élargi (CEE) (Cf. pages 325-326) ;

- des ateliers parallèles ont été organisés, dont l'un consacré à la préparation d'une prise de position sur la contribution des

forêts et autres terres boisées à la sécurité alimentaire en Méditerranée (Cf. pages 329-336). Cette prise de position a été préparée par un panel d'experts, dans le cadre du CEE de Silva Mediterranea, afin d'être incluse dans la déclaration des ministres de l'Agriculture à la Conférence ministérielle de l'Union pour la Méditerranée (UPM) sur la sécurité alimentaire, l'agriculture et le développement rural, initialement prévue les 15 et 16 juin 2010, au Caire (Égypte). Le groupe d'experts était composé de membres du CEE de Silva Mediterranea, de représentants des organisations et réseaux de recherche, d'associations de propriétaires forestiers et d'organisations non gouvernementales actives dans la Méditerranée ;

- une visite forestière a été organisée par les autorités turques.

Le succès qu'a connu cette première semaine a conduit Silva Mediterranea et ses partenaires régionaux, a organisé durant l'Année internationale des forêts, la deuxième Semaine forestière méditerranéenne, qui se tiendra à Avignon du 5 au 8 avril 2011.

Les sessions et les réunions de cette deuxième Semaine auront pour objet :

- la gouvernance forestière en Méditerranée ;
- les interactions eau et forêts ;
- l'assemblée générale d'EFIMED et la présentation du projet Sylvamed ;
- l'assemblée générale d'ARCMED ;
- l'assemblée générale d'AIFM ;
- le Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea ;
- le séminaire EFIMED : "Biodiversité des écosystèmes forestiers méditerranéens : changer le paradigme de la conservation" ;
- la rentabilité (sociale et privée) des forêts méditerranéennes ;
- la mutualisation des projets passés et actuels sur les forêts méditerranéennes ;
- le projet Agora ;
- la prévention des feux de forêts ;
- le 100^e anniversaire de Silva Mediterranea.

La deuxième Semaine forestière méditerranéenne sera organisée par Silva Mediterranea, EFIMED (Secrétariat), AIFM, ARCMED, le Réseau méditerranéen des forêts modèles (MFMN), COFOR-International, avec le soutien de l'INRA et du ministère de l'Agriculture français.

FAO

Silva Mediterranea
Christophe BESACIER
Forestry Officer
FAO - FOMC - D 477
Rome Italie
Tél. :
+ 39 06 570 555 08
email :
christophe.besacier
@fao.org
www.fao.org/
forestry/sylvamed

Presentation of the Mediterranean Forest Week of Antalya (Turkey)

13-16 April 2010

Introduction

Mediterranean forest ecosystems provide multiple goods and services including an exceptional richness in terms of biodiversity, which are crucial for the socio-economic development of rural areas as well as for the welfare of the urban populations of the Mediterranean region. Several challenges have emerged in a context of global change that need to be addressed by managers and policy-makers to ensure the sustainability of Mediterranean forests:

- How can Mediterranean forests and forestry adapt to climate and land use changes?
- Which policies and economic instruments need to be implemented to ensure the provision of valuable forest goods and services?
- How should multifunctional forests within complex multiple-use landscapes be managed?

Meeting these challenges call for both, sound science- based information and a fluent, transparent and interactive science-policy dialogue. In this context, new ways must be found to improve the science-policy dialogue through: promotion of science-policy networking; targeted capacity building; development of specific communication tools (publications, events and meetings), etc.



Picture 1:

The participants of the first Mediterranean Forest Week, during the field trip organized by the SAFRI

EFIMED, Silva Mediterranea (FAO), and several organizations (including AIFM, Plan Bleu, ARCMED, Mediterranean Forest Model Network as well as Silva Mediterranea member countries) joined forces to create a common regional platform for cooperation on Mediterranean forests.

These efforts led as a first step to the organization of a Mediterranean Forest Week.

This meeting was organized as a common platform for regional cooperation on Mediterranean forests, aiming to improve dialogue between scientific community, decision-makers and concerned stakeholders, and to promote the importance of Mediterranean forests and their challenges to an international audience and the general public.

The first Mediterranean Forest Week was organized in Antalya (Turkey) and hosted by the Southwest Anatolia Forest Research Institute (SAFRI) on 13 - 16 April 2010.

During this first Mediterranean Forest Week, several events were organized:

- EFIMED organized his scientific seminar on “Knowledge base management for Mediterranean forests under climate driven risks: the ways ahead” (See. pp. 351-432);

- Silva Mediteranea organized the third session of his Enlarged Executive Committee (See pp. 327-328);

- parallèll workshops were organized, included the preparation of a position paper on the “Contribution of forests and other wooded lands to food security in the Mediterranean” (See pp. 337-344). This

position paper was prepared by a panel of experts in the context of the Enlarged Executive Committee of Silva Mediterranea, for adoption and inclusion as part of the Declaration of Ministers of Agriculture at the “Ministerial Conference of the Union for the Mediterranean on Food Security, Agriculture and Rural Development” that might have taken place on 15-16 June 2010, in Cairo, Egypt. The panel of experts comprised members of Silva Mediterranea Enlarged Executive Committee, representatives of research organizations and networks, landowner associations and non-governmental organizations active in the Mediterranean;

- a field trip was also organized by the Turkish authorities.

The success of this first Mediterranean Week drove the Silva Mediterranea and its regional partners to organize, during the International Year of Forests (2011), the Second Mediterranean Forest Week in Avignon (France), 5-8 April 2011.

The various parallel or plenary sessions of this Second Week will tackle the following topics:

- Forest governance in the Mediterranean,
- Interactions Water/Forests,
- ArcMed’s General Assembly,
- AIFM’s General Assembly,
- Enlarged Executive Committee of Silva Mediterranea,
- EFIMED scientific seminar: “biodiversity in Mediterranean wooded ecosystems: change the paradigm for conservation”,
- Profitability (social and private) of Mediterranean forests,
- Capitalization of past and current projects on Mediterranean forests,
- Agora Project,
- Forest Fire Prevention,
- Silva Mediterranea’s 100th Anniversary.

The Second Mediterranean Forest Week will be organized by Silva Mediterranea, EFIMED (secretariat), AIFM, ArcMed, the Mediterranean Model Forest Network, COFOR International, with the support of INRA and the French Ministry for Agriculture.

FAO

Silva Mediterranea
Christophe BESACIER
Forestry Officer
FAO - FOMC - D 477
Rome Italie
Tél. :
+ 39 06 570 555 08
email :
christophe.besacier
@fao.org
www.fao.org/
forestry/silvamed

Réunion du Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea

Principaux résultats de la réunion

La troisième réunion du Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea a eu lieu à l'Hôtel Porto Bello (Antalya - Turquie), le mardi 13 avril 2010 et le jeudi 15 avril 2010, à l'occasion de la première Semaine forestière méditerranéenne. La réunion était présidée par M. Spas Todorov, Président du Comité Silva Mediterranea.

La réunion a été ouverte par une déclaration de M. José Antonio Prado, Directeur de la Division de l'évaluation, de la gestion et de la conservation des forêts, Département des forêts de la FAO. Avant d'aborder les questions prioritaires de l'agenda du Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea, ainsi que les principaux enjeux de cette réunion à Antalya dans le contexte de l'Union pour la Méditerranée, M. Prado a confirmé l'engagement actif de la FAO dans cette première Semaine forestière méditerranéenne.

M. Spas Todorov et les autorités turques (Dr. Ahmet Şenyaz) ont souhaité la bienvenue aux participants et les ont remerciés pour leur soutien continu au Secrétariat de Silva Mediterranea. L'ordre du jour a été adopté et M. Spas Todorov a ensuite présenté le rapport d'avancement des activités de Silva Mediterranea depuis la 20^e session à Sofia en 2008.

Après cette brève présentation, faite par M. Spas Todorov, un état d'avancement détaillé des activités exécutées et/ou programmées par les six différents groupes de travail et le secrétariat en 2009/2010 a été présenté et discuté avec les membres du Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea.



Photo 1 :
Les représentants de Silva
Mediterranea plantent
l'arbre de l'amitié, lors
de la visite de terrain
organisée par le SAFRI
pour la Semaine forestière
méditerranéenne
d'Antalya.
Photo DA

Spas TODOROV
Président de Silva
Mediterranea,
Chef du secteur
"Coopération
Internationale",
Executive Forestry
Agency, ministère de
l'Agriculture et de
l'Alimentation
Sofia – Bulgarie

Les principales conclusions de cette réunion du Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea sont :

- la préparation du premier "Etat des forêts méditerranéennes" avec plusieurs étapes en 2010/2012. Une première étape basée sur les données collectées par la FAO pour l'évaluation des ressources forestières 2010 (FRA 2010) et présentation d'un premier "working paper" pendant la conférence sur la "Biodiversité des forêts et autres espaces boisés de la Méditerranée" organisée à Alexandrie en Egypte du 22 au 24 juin 2010 et pendant un événement parallèle qui sera organisé au cours de la prochaine session du Comité des Forêts de la FAO (COFO) à Rome du 4 au 8 octobre 2010. Ce "working paper" mettra aussi en évidence les *gaps* de données et proposera un schéma institutionnel pour la préparation et la publication d'un rapport complet "Etat des forêts méditerranéennes" en 2011/2012. Une seconde étape de préparation et de lancement d'un rapport complet sur l'état de la forêt méditerranéenne s'effectuera en collaboration avec plusieurs partenaires actifs dans la région méditerranéenne ;

- l'organisation avec les autres partenaires de la région de la seconde "Semaine forestière méditerranéenne" à Avignon (France) du 5 au 8 avril 2011 (incluant la prochaine réunion du Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea) ;

- l'organisation de plusieurs événements à Rome pendant le COFO d'octobre 2010 (Réunion d'information avec les membres de Silva Mediterranea, un événement parallèle en collaboration avec EFIMED et une exposition de photos sur le savoir-faire dans la filière liège en Sardaigne) ;

- l'accord pour l'intégration des activités de Silva Mediterranea dans le programme de travail sur le Bois et la Forêt de l'UNECE/FAO (Commission économique des Nations-Unies pour l'Europe basée à Genève) avec cinq thèmes prioritaires de collaboration en 2010/2011 :

- * *Changement climatique* : valoriser les résultats de la région méditerranéenne dans les orientations relatives aux activités sur le changement climatique conduites par UNECE/FAO,

- * *Etat des forêts méditerranéennes* : valoriser l'expérience de l'Etat des forêts européennes,

- * *Feux de forêts* : valoriser les résultats du groupe de travail feux de forêts de Silva Mediterranea dans les activités de l'UNECE/FAO relatives aux études prospectives sur l'évolution des risques d'incendies,

- * *Bois - énergie* : échanges d'expériences et effort commun sur la formation,

- * et collaborations avec l'équipe de spécialistes sur les *politiques forestières* de l'UNECE/FAO en Europe de l'Est et en Asie Centrale ;

- la préparation d'un papier de position et d'un document d'information (Cf. page 329), discutés et adoptés par le CEE ;

- l'adoption du plan de travail 2010 - 2012 proposé par le coordinateur du Groupe de travail n°6 sur les mécanismes de financement durables, M. Spas Todorov (Voir le Plan de travail de WG 6 sur le site web de Silva Mediterranea).

FAO

Pour plus d'informations sur les résultats du Comité Exécutif Elargi de Silva Mediterranea, vous pouvez télécharger le rapport complet de la réunion sur le site internet : <http://www.fao.org/forestry/silvamed/4911/fr/>

Meeting of the Enlarged Executive Committee of Silva Mediterranea

Main outcomes of the Committee

The third Enlarged Executive Committee meeting was held at the Hotel Porto Bello (Antalya - Turkey) on Tuesday, 13 April 2010 and Thursday, 15 April 2010, on the occasion of the first Mediterranean Forest Week. The meeting was chaired by Mr Spas Todorov, President of the Silva Mediterranea Committee.

The meeting was opened with a statement of Mr Jose Antonio Prado, Director, Forest Assessment, Management and Conservation Division, FAO Forestry Department. Before addressing the main issues of the Enlarged Executive Committee of Silva Mediterranea and the various challenges of this meeting in Antalya in the context of the Union for the Mediterranean, Mr Prado confirmed FAO's active engagement in the first Mediterranean Forest Week.

Mr Spas Todorov and Turkish Authorities (Dr. Ahmet Şenyaz) welcomed the participants and thanked them for their continued support to the Secretariat of Silva Mediterranea. The provisional meeting agenda was adopted and Mr Spas Todorov presented the progress report of activities of Silva Mediterranea since the 20th Session in Sofia in 2008.

After this brief presentation, made by Spas Todorov, detailed progress on activities implemented by the different working groups and the secretariat in 2009/2010 was then presented and discussed with the members of the Enlarged Executive Committee.



Picture 1:

The Silva Mediterranea's members planting the friendship tree, during the field trip organized by the SAFRI
Photo DA

The main outputs of this session of the Enlarged Executive Committee of Silva Mediterranea are:

- Preparation of the first “State of Mediterranean Forests” with several steps to follow during 2010/2012. A first step based on data collected by FAO for the Forest Resources Assessment 2010 and presentation of a first working paper during the conference on “Biodiversity of trees and wooded land in the Mediterranean” to be held in Alexandria, Egypt on 22 - 24 June 2010 and during a side event to be organized during the next session of the FAO Committee on Forestry (COFO) in Rome on 4-8 October 2010. This working paper will also highlight the gaps in available data and propose an institutional process for the preparation of a publication on “The States of Mediterranean Forests” in 2011/2012. Next step will be the preparation of this report on the “State of Mediterranean Forests” in collaboration with several partners active in the Mediterranean;

- Organization with other Mediterranean partners of the second “Mediterranean Forests Week” in Avignon (France) from 5 to 8 April 2011 (including the next meeting of the Enlarged Executive Committee of Silva Mediterranea);

- Organization of several events in Rome during COFO in October 2010 (Information meeting with all Silva Mediterranea mem-

bers, a side event on Mediterranean Forests in collaboration with EFIMED and a photo exhibition on the art of Cork in Sardinia);

- Agreement for integration of Silva Mediterranea activities in the programme of work on Timber and Forestry of UNECE/FAO (United Nations Economic Commission for Europe based in Geneva) with five main items of collaboration during the period 2010/2011:

- * *Climate Change*: Incorporate findings from Mediterranean region into guidance on climate change related activities conducted by UNECE/FAO,

- * *State of Mediterranean Forests*: Contribute experience from the “State of European Forests” and FRA,

- * *Forest Fires*: Contribute findings from Silva Mediterranea Working Group to climate change analysis, outlook studies and forest fire related activities under UNECE/FAO joint timber and forestry programme,

- * *Wood energy*: exchange of experiences and joint capacity building efforts,

- * and collaboration with the UNECE/FAO Team of Specialists on *Forest Policy* in Eastern Europe and Central Asia,

- Preparation of a “position paper” and a “background paper” (See pp. 337) were prepared, discussed, agreed and adopted by the EEC,

- Adoption of the Work Plan 2010 - 2012 proposed by the coordinator of Working Group 6 on Sustainable Financing Mechanism, Mr Spas Todorov (See Work Plan of WG 6 in Silva Mediterranea Website).

FAO

Spas TODOROV
President of Silva
Mediterranea
Head of Sector
“International
cooperation”
Executive Forestry
Agency
Ministry of
Agriculture and Foods
Sofia - Bulgaria

For further information on the outcomes of the Enlarged Executive Committee of Silva Mediterranea, you can download the report of the meeting from:

<http://www.fao.org/forestry/silvamed/4911/en/>

Document de référence

Contribution des forêts et d'autres espaces boisés à la sécurité alimentaire en Méditerranée

Ce "document de référence" a été préparé par un panel d'experts dans le cadre de la réunion du Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea, qui s'est tenu du 13 au 16 avril 2010 à Antalya, Turquie. Le panel d'experts comprenait des représentants des Etats membres du Comité de Silva Mediterranea, des organismes et réseaux de recherche, des associations de propriétaires et des organisations non gouvernementales du Bassin méditerranéen.

Pendant la Semaine forestière méditerranéenne organisée du 13 au 16 avril 2010 à Antalya (Turquie), de nombreux experts de pays voisins et d'organisations internationales se sont retrouvés. Après avoir souligné les caractéristiques majeures des contextes environnementaux, sociaux et économiques dans lesquels les forêts et autres terres boisées évoluent à présent, ils ont rédigé des propositions à soumettre à l'Union pour la Méditerranée (UPM) avec, pour objectif, une meilleure intégration de la gestion durable des forêts et autres terres boisées méditerranéennes dans les programmes prioritaires de l'Union, afin de garantir la sécurité alimentaire et le développement durable dans les régions rurales de l'Union.

Contexte institutionnel

Depuis sa création le 13 juillet 2008, l'Union pour la Méditerranée a toujours exprimé son engagement en faveur du développement social, économique et environnemental des zones rurales, particulièrement par rapport à la sécurité alimentaire. Les forêts et autres terres boisées font partie intégrante de ces zones. Une réunion des ministres de l'Agriculture de l'UPM était initialement programmée pour le mois de juin 2010 au Caire (Egypte)¹.

Le comité **Silva Mediterranea**, organisme statutaire de la FAO avec compétence sur les questions forestières méditerranéennes, a été officiellement créé en 1948 sous l'égide des trois comités directement en prise avec la Méditerranée : le Comité européen de la Forêt, le Comité du Proche-Orient de la Forêt et le Comité africain de la Forêt et de la Faune. Silva Mediterranea regroupe 27 pays membres dont les territoires appartiennent en totalité ou en partie au bassin méditerranéen,

1 - Cette conférence ministérielle a été reportée dans un premier temps du 15 au 16 juin 2010 à début novembre 2010 (puis à nouveau reportée à une date ultérieure)

ou dont l'économie forestière, agricole ou pastorale est étroitement liée aux économies des pays de ce bassin. Le Comité s'est toujours efforcé de développer la coopération entre les pays du bassin méditerranéen afin de prendre à bras le corps les problématiques telles que les feux de forêt, l'adaptation aux changements climatiques et la gestion durable de la forêt.

L'Institut européen des forêts (EFI), à travers son antenne méditerranéenne **EFIMED**, vise à répondre au besoin d'informations de nature scientifique, à la fois dans la prise de décision et la conception des politiques. Ce besoin implique l'augmentation des capacités de recherche forestière actuellement disponibles dans la région méditerranéenne. A travers une large consultation, EFIMED a élaboré l'Agenda de Recherche sur les Forêts Méditerranéennes pour la période 2010-2020, ce qui constitue une vision commune, par plus de 100 experts provenant de 15 pays méditerranéens, sur les enjeux émergents associés aux forêts méditerranéennes et leurs modes de gestion, comme sur les principaux axes prioritaires de recherche pour répondre à ces challenges.

Le **Plan Bleu** pour l'environnement et le développement en Méditerranée, centre d'activités régional du Plan d'action pour la Méditerranée (PAM) du PNUE, intègre les problématiques liées aux surfaces arborées dans son programme d'études à venir, ainsi que dans le suivi de la Stratégie méditerranéenne de développement durable.

L'Association Internationale Forêts Méditerranéennes (**AIFM**), fondée en 1996, rassemble des personnes de la plupart des

pays du pourtour méditerranéen dans le but d'élaborer une vision partagée et de conduire des expériences pilotes sur la gestion durable des forêts, des zones boisées et autres espaces naturels. L'AIFM développe un réseau de collaboration. Entre autres, l'AIFM a mené le projet « Problématique de la forêt méditerranéenne » (2000-2002, Interreg IIC) qui a conduit à la Déclaration de Marseille. Ensuite, cette ONG a diffusé la connaissance et les résultats de ces initiatives de partage et favorisé le plaidoyer aux niveaux régionaux, nationaux, européens et méditerranéens.

Le **CIHEAM**, le Centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes, créé en 1962, est un organisme intergouvernemental qui regroupe 13 pays du bassin méditerranéen (Albanie, Algérie, Egypte, Espagne, France, Grèce, Italie, Liban, Malte, Maroc, Portugal, Tunisie et Turquie). Le CIHEAM est composé d'un Secrétariat général basé à Paris et de quatre Instituts agronomiques méditerranéens situés à Bari (Italie), La Canée (Grèce), Montpellier (France) et Saragosse (Espagne). Dans la continuité de ces trois principales missions (enseignement, recherche et coopération), il est aujourd'hui reconnu comme autorité dans son domaine de compétence : agriculture, alimentation et développement rural méditerranéens.

Le **WWF** (World Wildlife Fund for Nature) est actif en Méditerranée grâce à son bureau à Rome qui gère son programme méditerranéen, et un réseau de cinq bureaux nationaux en France, en Italie, en Espagne, en Grèce et en Turquie qui, ensemble, ont développé une initiative méditerranéenne. Avec ses partenaires, le WWF contribue à la conservation, à la gestion durable et à la restauration des paysages forestiers/terrestres, tout en prenant en compte les problématiques et les besoins liés aux marchés, aux politiques et au renforcement des capacités. Le WWF a organisé, en collaboration avec l'UICN, une conférence à Athènes (Grèce) en avril 2008, qui a conduit à la Déclaration d'Athènes et à une publication commune, avec la FAO, sur l'adaptation des forêts méditerranéennes au changement climatique.

ARCMED (2007), association de propriétaires privés forestiers en Méditerranée, fédère les associations de propriétaires forestiers régionales et nationales du nord de la Méditerranée (Espagne, France, Grèce,

Photo 1 :
Les participants
de la première
Semaine forestière
méditerranéenne
d'Antalya



Italie). Elle travaille en proche collaboration avec la Confédération européenne des propriétaires forestiers privés pour défendre et promouvoir les intérêts et les valeurs des forêts privées, développer la formation et l'enseignement, promouvoir et soutenir la gestion durable des forêts, structurer le secteur forestier privé au nord du Bassin méditerranéen, accélérer le renforcement de capacités à travers la promotion et le support des associations de propriétaires privés, et de favoriser les collaborations entre les organisations et institutions aux intérêts proches.

Le **Réseau méditerranéen des forêts modèles (RMFM)** est un groupement d'organisations de gouvernance qui, depuis 2008, s'efforce de faire appliquer le concept de la forêt modèle en Méditerranée. Puisque ce concept a fait ses preuves, à travers son utilisation dans la plupart des régions du monde pour son intégration des différentes valeurs et usages des territoires forestiers et puisqu'il met en application des modalités innovantes de gouvernance pour la construction d'une vision commune et l'usage approprié des connaissances disponibles, les territoires impliqués auprès du Réseau méditerranéen fournissent le cadre pour le test de ces nécessaires nouvelles approches.

Les **administrations et agences forestières et environnementales de plusieurs pays**, régions ou départements de la Méditerranée ont exprimé depuis longtemps leur préoccupation majeure pour l'intégration des forêts et des écosystèmes terrestres dans les systèmes de gestion et d'utilisation du sol durables de leurs territoires. Un forum régional intitulé "Le secteur forestier et le développement durable en Méditerranée : défis, politiques, gouvernance" a eu lieu à Rabat du 24 au 26 novembre 2005. Il a été organisé par le gouvernement du Royaume du Maroc et la FAO, avec le soutien du Plan Bleu et de l'AIFM. La plupart des ses conclusions ont été prises en compte et intégrées dans ce document.

Contextes environnemental, social et économique

Depuis des millénaires, en Méditerranée, les forêts et autres terres boisées ont évolué sous l'influence conjuguée des facteurs de l'environnement naturel, tels que le relief,

Composition du groupe de rédacteurs

Le panel d'experts ayant participé à la rédaction de ce document de référence comprenait :

- Membres de la FAO - Comité exécutif élargi de Silva Mediterranea (organe statutaire de la FAO), comprenant des représentants des Etats membres (Bulgarie, France, Maroc, Turquie) et les coordinateurs des groupes de travail (Italie, Portugal, Maroc et Bulgarie)
- FAO - Secrétariat de Silva Mediterranea
- Plan Bleu pour l'environnement et le développement en Méditerranée (UNEP/MAP)
- EFIMED, bureau méditerranéen de l'Institut forestier européen (EFI)
- Association Internationale Forêts Méditerranéennes (AIFM)
- Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes (CIEAM)
- WWF (World Wide Fund for Nature), bureau méditerranéen et WWF Turquie
- ARCMED, Association des propriétaires forestiers privés méditerranéens et CEPP (Confédération des propriétaires forestiers privés européens)
- GTZ, Agence allemande technique de coopération pour le développement
- Réseau méditerranéen des forêts modèles (MMFN)

les sols, le climat, et les activités de l'homme. Les civilisations qui se sont succédé autour de la Méditerranée ont transformé et modelé tous les constituants de leurs territoires, y compris les forêts et autres terres boisées.

Depuis l'Antiquité, ces étendues boisées ont fourni de multiples ressources (cueillette, pacage et fourrage pour les troupeaux, bois de chauffage, bois d'œuvre, liège, cheptel...), non seulement aux populations rurales, mais également aux citadins, au commerce et à l'industrie. Les images stéréotypées de la forêt ne correspondent absolument pas à la réalité méditerranéenne. En effet, un des traits qui définit la forêt méditerranéenne est sa capacité à se prêter à de multiples usages. Un aspect particulièrement important est le rôle joué par les troupeaux : dans les systèmes agraires traditionnels, le bétail trouve la majeure partie de sa nourriture dans les forêts ou dans d'autres espaces naturels (*saltus*), et fertilise les terres cultivées avec l'azote et le phosphore contenu dans ses excréments.

L'époque moderne a vu un développement exponentiel de l'urbanisme, de l'industrialisation, du transport à bas prix sur les grandes distances, et la concurrence de toutes les régions de la planète sur les marchés. Ces bouleversements dans l'utilisation des terres ont entraîné une série de ruptures

dans l'utilisation de la forêt et autres terres boisées méditerranéennes, ainsi que dans la nature des biens et des services que l'on attend d'elles.

Dans les pays du nord du bassin méditerranéen, les usages traditionnels ont peu ou prou disparu. Du fait de la dynamique naturelle de la végétation ligneuse, des forêts et des "matorrals" ont envahi de larges étendues de terres agricoles ou pastorales abandonnées. En conséquence, le risque de feux de forêt a considérablement augmenté.

Par contre, dans les pays des pourtours sud et est du bassin méditerranéen, de nombreuses populations rurales pauvres sont obligées, pour leur survie, de maintenir une pression démesurée sur les territoires boisés. De telles activités entraînent un risque accru de détérioration de la couverture végétale, d'érosion, de désertification et d'une perte de la biodiversité. La voie la plus efficace pour combattre ces risques est de réduire la pauvreté.

Au Nord, comme au Sud et à l'Est, les populations urbaines et les touristes manifestent, dès maintenant, d'autres types d'attente pour ces forêts et espaces naturels. De telles attentes sont souvent la source de conflits, soit entre des usagers dont les activités ne sont pas compatibles, soit avec les propriétaires terriens. Un besoin évident est donc apparu de modifier les droits et les usages de la propriété et de mettre en place de nouveaux procédés de gouvernance.

Pendant longtemps, les "services écologiques" fournis par les surfaces boisées (préservation des sols et de l'eau, diversité biolo-

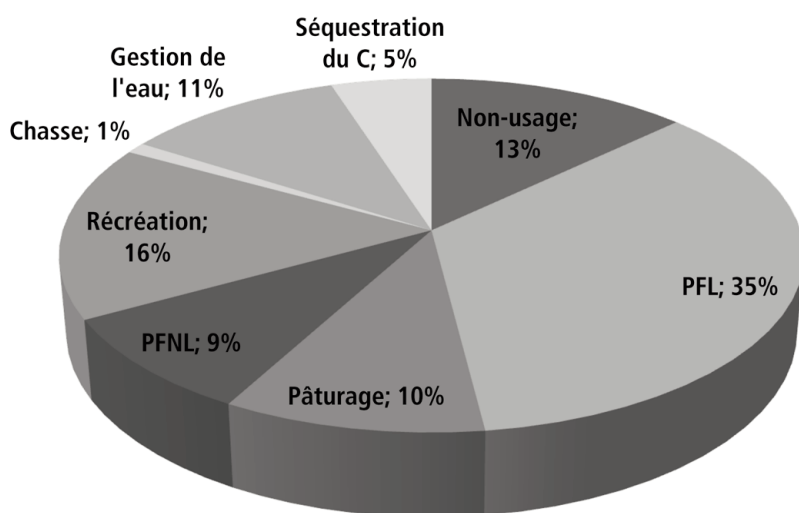
gique de la flore et de la faune, tampon climatique) ont été considérés comme la conséquence normale d'une gestion éclairée de la forêt. D'ailleurs, les administrations forestières de différents pays méditerranéens ont déjà entrepris des actions ciblées pour la reforestation, la protection des sols, la restauration des paysages, la lutte contre la désertification et l'érosion, la gestion des bassins versants et la protection d'espèces rares ou menacées. Néanmoins, la prise de conscience et la sensibilisation sont très récentes concernant la valeur économique de ces services, la nécessité de les gérer de manière durable et, plus particulièrement, dans le cadre des conventions internationales contre la désertification (UNCCD) et pour la conservation de la biodiversité (UNCBD).

En ce qui concerne la valeur économique globale des terres boisées méditerranéennes, il est important de remarquer que la production des biens marchands et non-marchands, des biens pour l'autoconsommation, ainsi que la sauvegarde de la capacité de fournir des services environnementaux, équivaut à la création d'emplois (Cf. Fig. 1). De tels "jobs" génèrent des revenus directs (biens et services marchands), de la rémunération cachée (autoconsommation), des revenus indirects à travers les produits induits ou dérivés (services liés au tourisme, augmentation de la valeur des propriétés).

L'impact des changements climatiques sur les écosystèmes et les sociétés sera plus drastique en Méditerranée qu'ailleurs dans le monde : on s'attend à une augmentation de la température en Méditerranée plus grande que la moyenne planétaire (particulièrement en été) et la pluviométrie devrait diminuer d'environ 20% avant la fin du siècle. Dès à présent, 7% de la population mondiale vit autour du bassin méditerranéen, mais la région ne dispose que de 3% des ressources mondiales en eau. Aussi, la région compte 60% des pays du monde ayant un déficit hydrique, c'est-à-dire moins de 1 000 m³/hab/an. De plus, les prévisions sur des bases scientifiques, laissent craindre qu'en 2025 jusqu'à 63 millions d'habitants des pays de la Méditerranée manqueront d'eau (avec moins de 500 m³/hab/an).

Dans un tel contexte, les forêts méditerranéennes constituent l'infrastructure écologique la plus importante de la région. Ces forêts abritent 25 000 espèces floristiques, dont 50% sont endémiques, et jouent un rôle

Fig. 1 :
Composition de la valeur économique totale des forêts méditerranéennes
Source Merlo & Croitoru 2005
PFNL: produits forestiers non ligneux ;
PFL: produits forestiers ligneux ;
non-usage : valeurs de legs et d'existence



clé dans la résilience et l'adaptabilité des écosystèmes. Les forêts constituent la disponibilité des deux ressources les plus précieuses dans la région : l'eau et les sols.

Les menaces que fait peser le changement climatique planétaire, ont provoqué toute une série de contraintes sur les activités liées aux surfaces boisées, contraintes qui sont radicalement nouvelles. Il y a peu de temps encore, on pouvait toujours compter sur la remarquable résilience des écosystèmes méditerranéens, qui leur assurait une auto-régénération, après des périodes de perturbations sévères. De même, on pouvait compter sur l'expérience et la sagesse des gestionnaires publics et privés. Selon les divers scénarios mis au point par le GIEC, la région méditerranéenne doit faire face à une augmentation très importante de l'aridité de son climat. La réponse des écosystèmes reste difficile à prévoir, mais incontestablement, il y aura un risque sensiblement accru de feux de forêt, de désertification et de perte de la biodiversité. De plus, de nouvelles contraintes menacent les exploitants agricoles, en particulier le manque de ressources en eau. La gestion des forêts et des espaces naturels devra être très prudente, car nous ne savons pas où situer les seuils de résistance des écosystèmes au-delà desquels une détérioration irréversible se produirait.

Il est de plus en plus admis que la gestion durable des terres doit se fonder sur une bonne gouvernance dont les principes de base sont : subsidiarité, dévolution de l'autorité, évaluation avant et après, responsabilité et acceptation d'obligations, implication de tous les acteurs et de tous les publics concernés. Ces principes sont relativement simples à affirmer, mais ils ne sont pas aisément mis en application : il existe souvent de nombreux obstacles administratifs, réglementaires et même psychologiques et sociologiques qui entravent leur mise en pratique.

Leur mise en œuvre effective exige de la recherche, de la formation et de l'information. Ces caractéristiques sociales et économiques de la région méditerranéenne et la nature des difficultés que l'on y rencontre depuis longtemps expliquent que la région est souvent en avance par rapport à d'autres régions du monde dans la gestion durable de ses territoires, y compris la forêt. De plus, concernant ces questions, quelques pays de la rive Sud sont en avance sur ceux de la rive Nord. L'intérêt même de la coopération internationale y est ainsi plus pertinent.

Principes d'action

Un plan d'action dans le cadre de la programmation de l'UPM serait envisageable afin de développer la gestion durable de la forêt et autres terres boisées, en tant que partie intégrante de la gestion durable des territoires ruraux des pays méditerranéens. De telles actions concerneront plusieurs dimensions et différents niveaux.

Les dimensions environnementale, sociale et économique constituent les trois piliers traditionnels de la gestion durable et il est primordial de les intégrer, toutes les trois, dans toute action entreprise, vu non seulement l'état actuel de tels espaces mais aussi, en considérant leur évolution prévisible qui reflétera les effets conjugués de facteurs naturels et de l'activité humaine.

Les différents niveaux concernés par ce plan d'action sont ceux de la recherche et du développement, du renforcement des capacités, et du partage des connaissances et de l'information.

Pour ce qui est de la recherche, il y a encore de grandes lacunes dans notre connaissance du fonctionnement normal des "éco-socio-systèmes" des forêts et autres terres boisées. Et notre manque de connaissances est encore plus grand quant à la réaction ou la (non-)adaptation de ces systèmes face à des changements relativement rapides de leur environnement, qu'ils soient d'ordre climatique, social ou économique. Le Plan stratégique de recherche sur les forêts méditerranéennes 2010-2020 (MFRA) permet d'apprécier assez bien l'état actuel de la recherche ainsi que des besoins.

Il paraît essentiel, donc, de poursuivre la recherche et le développement dont les activités prendront des formes variées : opérations pilotes, ateliers régionaux, projets centrés sur une zone, études prévisionnelles de territoire... Les caractéristiques déterminantes de telles actions doivent, tout d'abord, être ancrées dans un territoire donné (un territoire étant défini comme une entité constituée de sa superficie, de ses terres et des gens qui y habitent, travaillent ou y assurent des contributions significatives). Ensuite, l'approche doit être participative afin d'impliquer les acteurs et toutes personnes qui s'estiment concernées dans l'élaboration d'une vision partagée du territoire et ses problèmes et par la mise en place et la gestion de projets communs. Les résultats de

ces activités seront mis en commun de manière à constituer, par leur accumulation, un capital mutualisé de connaissances.

Pour constituer, à partir des actions de recherche et de développement, un tel capital de connaissances partagées, il est nécessaire de mettre en place des procédés appropriés qui permettront, premièrement, la revue et l'analyse en commun de l'expérience acquise et deuxièmement, la dissémination de toutes les conclusions par la voie de publications, forums, congrès, modules d'information, bases de données, manuels techniques, guides et conseils de bonnes pratiques, cours de formation avancée ou technique...

Propositions d'actions

Les propositions qui figurent dans les paragraphes ci-dessous correspondent à des thématiques qui ont déjà fait l'objet d'une attention ciblée, sous des formes variées, dans divers documents, notamment ceux émanant de la FAO, d'EFIMED, du Plan Bleu et de l'AIFM.

Le premier défi est de développer, dans le contexte du changement climatique, une stratégie intégrée pour la gestion durable de la forêt et autres terres boisées en tant que partie intégrante du développement durable des territoires ruraux des pays méditerranéens. Pour y parvenir, il est nécessaire de mobiliser tous les acteurs concernés autour de la Méditerranée. De ce fait, il faut organiser un congrès de haut niveau sur la forêt et autres terres boisées, vers lequel il faudra attirer les acteurs des différents secteurs. L'autre sphère d'action consiste à conforter la mise en œuvre du Plan stratégique de recherche sur les forêts méditerranéennes 2010-2020) à travers un dispositif ERA-NET¹.

La réaction future des écosystèmes boisés confrontés à des changements climatiques n'est pas bien connue. Il est souvent admis que l'augmentation de la température moyenne annuelle de 1°C pourrait causer le déplacement des aires de répartition de beaucoup de plantes, 200 kilomètres vers le nord, ou de la même façon, 200 mètres plus haut en altitude. Mais une telle estimation est très brute et, en réalité, de multiples facteurs entreront en jeu. Afin d'aider au mieux ces écosystèmes à la meilleure adaptation possible, surtout par une foresterie appro-

priée, nous devons améliorer de manière considérable nos connaissances dans un large spectre de disciplines allant de la physiologie des plantes jusqu'à l'écologie des paysages, en pratiquant la recherche fondamentale et l'observation systématique.

Des réseaux européens pour le suivi de la santé et de l'écologie des forêts fonctionnent depuis plusieurs années. Il serait souhaitable de les renforcer et de les généraliser dans tous les pays du bassin méditerranéen.

Les agents d'administrations forestières du pourtour méditerranéen sont de plus en plus conscients que, au-delà de leurs rôles traditionnels de techniciens (gestion forestière, reforestation, restauration des sols, gestion de bassins versants...) et de gardiens de la loi, ils ont à endosser de nouvelles responsabilités en tant que facilitateurs, agents de développement, voire médiateurs territoriaux. Or, la formation initiale des ces personnels ne les a que très rarement préparés à ces tâches nouvelles. Participer aux actions pilotes et partager les connaissances à travers les réseaux méditerranéens constituent des voies privilégiées pour le renforcement des capacités globales, non seulement des agents forestiers mais, aussi, des agents de développement territoriaux. Ainsi, ils seront mieux à même de jouer leur rôle d'acteurs efficaces dans l'intégration des forêts et des écosystèmes naturels dans le développement durable des territoires.

Les thèmes au cœur de ces actions de recherche et de développement varieront très largement d'une région à l'autre. Au Nord, ils seront focalisés essentiellement sur les "services environnementaux" et les attentes des citoyens. Au Sud et à l'Est, les thèmes prioritaires seront le développement rural et agricole, la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté. Dans tous les contextes, les aspects les plus importants inclueront l'évaluation en termes économiques des usages, des biens et des services, autant non-marchands que marchands, ainsi que, dans certains cas, la dimension légale, particulièrement par rapport à la délimitation précise des propriétés et aux droits des usagers. Souvent, en première ligne, la gouvernance, c'est-à-dire l'adoption de procédés permettant à tous les acteurs de participer à la mise au point de la stratégie globale et à des projets précis, y compris dans le financement, la gestion et l'évaluation de ceux-ci.

L'équilibre agro-sylvo-pastoral est un enjeu très important : depuis des millé-

1. L'objectif du programme ERA-NET au titre du 7^e programme cadre de recherche de la Commission européenne est de développer et de renforcer la coordination des programmes de recherche nationaux et régionaux grâce à la fourniture d'un cadre pour les acteurs chargés de la mise en œuvre des programmes de recherche publics afin de coordonner leurs activités, par exemple en développant des activités conjointes ou solidaires à travers des appels à propositions conjoints transnationaux.

Dans le cadre du programme ERA-NET, il revient aux autorités nationales et régionales d'identifier les programmes de recherche qu'ils souhaitent coordonner ou ouvrir mutuellement.

naïres, les forêts méditerranéennes et d'autres espaces boisés ont joué un rôle crucial dans l'alimentation des troupeaux. Il semblerait qu'aujourd'hui, là où ce rôle perdure, il a été radicalement transformé. La taille des troupeaux a augmenté, souvent de manière significative, mais seulement une part réduite de leur nourriture provient toujours de la végétation naturelle (proportion très variable selon la région, probablement entre 10 et 50%) ; la proportion majoritaire provenant de résidus agricoles et de compléments alimentaires achetés, souvent importés. En parallèle, une forte différenciation sociale s'est développée de manière frappante, avec de riches « capitalistes », souvent des urbains possédant de très grands troupeaux, et de bergers ou éleveurs pauvres des zones rurales. Les nouveaux systèmes d'élevage ont, d'une manière générale, remplacé le traditionnel mode de vie nomade, avec l'abandon concomitant des pratiques ancestrales du pastoralisme ; il en résulte un manque de régénération et une désertification accrue. Pour la plupart, de telles situations sont mal comprises et devraient faire l'objet prioritaire des activités de recherche et développement. Il faudrait que les études portent non seulement sur la gestion des terres pastorales et les ressources naturelles mais, aussi, sur les voies de production et de mise en marché des productions végétale et animale (produits forestiers ligneux et non-ligneux) ainsi que sur le développement territorial dans ces zones qui comptent parmi les plus pauvres.

D'autres nouveaux thèmes de recherche émergeront sûrement à partir des questions soulevées au sein des actions de recherche et de développement. Ainsi, la conservation de la biodiversité s'avère être un thème fondamental puisque la Méditerranée est un *hot spot* de la biodiversité mondiale. C'est un fait que certains usages peuvent favoriser la biodiversité à condition d'être pratiqués modérément ; pratiqués à l'excès, ils deviennent catastrophiques. Le pacage en forêt en est un bon exemple, la récolte de la biomasse forestière pour l'énergie un autre. Tant que ces pratiques restent modérées, elles peuvent contribuer à la prévention des feux de forêt, à l'ouverture des paysages et à la constitution de milieux favorables à la faune. Mais dès qu'elles dépassent une certaine limite, elles provoquent la détérioration de la couverture végétale, l'érosion des sols et une perte de la biodiversité. En effet, les actions



de recherche et de développement devraient bénéficier d'échanges mutuels grâce à un va-et-vient continu entre elles. La coopération internationale a pour rôle indispensable de créer les conditions pour faciliter et optimiser ce dialogue.

Dans le cadre des activités opérationnelles, un investissement dans des mesures de défense contre les feux de forêt peut représenter une occasion importante pour coopérer. Le risque que de tels incendies éclatent augmentera certainement du fait du changement climatique planétaire. Or, la collaboration dans la prévention et la lutte contre les feux de forêt a déjà été expérimentée d'une façon très positive, essentiellement entre régions et pays voisins. Une telle collaboration pourra être étendue dans le cadre des programmes de l'UPM et aller jusqu'à la constitution d'une flotte commune d'intervention, en particulier aérienne (bombardiers d'eau, hélicoptères), mise en pratique avec des procédures d'échange collectivement approuvées, ou le regroupement des formations pour la lutte contre les incendies et plus spécifiquement pour la gestion et la prévention des feux de forêt.

Photo 2 :

La forêt de *Pinus brutia* visitée lors de la tournée de la Semaine forestière méditerranéenne d'Antalya

© D. Afxantidis

Bibliographic references

- AIFM (Bonnier J. & Poulet D.), 2006. Les acquis du projet RECOFORME "Structuration de réseaux et d'actions de coopération sur la forêt méditerranéenne" (Interreg IIIB Medocc). 57 p.
- AIFM (Bonnier J. & Poulet D.), 2002. The problem of the Mediterranean Forest (Interreg IIC project, including the Marseille Declaration on Mediterranean Forests). Ed. *Forêt Méditerranéenne* hors-série n°1, 191 p.
- EFIMED, 2009. A Mediterranean Forest Research Agenda – MFRA (2010-2020). 31p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1992. The Role of Forestry in combating desertification, FAO Conservation Guide 21, Rome.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. Promoting Regional Cooperation in arid zone forestry in arid and sub-humid zones of Africa. Forestry Department Report, Rome.
- Mansourian, S, *et al.* 2006. Forests in arid zones : issues, priorities and ideas for joint action. FAO

background paper prepared for discussion during the side event on "Arid zone forests' contributions to biodiversity conservation, Combating desertification and sustainable livelihoods", held at the 13th World Forestry Congress, October 2009 (Buenos Aires, Argentina).

Montgolfier (de) J, 2002. *Les espaces boisés méditerranéens – situation et perspectives*. Ed. ECONOMICA collection les fascicules du Plan Bleu n° 12, 208 p.

Montgolfier, (de) J, 2007. Espaces forestiers méditerranéens et développement durable, Synthèse du forum de Rabat (Plan Bleu / AIFM). *Forêt Méditerranéenne*, t. XXVIII, n° 1, pp. 41-46.

Plan Bleu, 2005 (Benoit G. & Comeau A. Ed.). *Méditerranée : les perspectives du Plan Bleu sur l'Environnement et le Développement* – Ed. de l'Aube, diffusion Seuil – 432p. (traduit en anglais : *A Sustainable Future for the Mediterranean – The Blue Plan's Environment and Development Outlook* - Ed. Earthscan – 464 p.

Regato, Pedro.2008. *Adapting to Global Change : Mediterranean Forests*. Malaga, Spain : IUCN Centre for Mediterranean Cooperation. Edited by IUCN, WWF and FAO. 254 p.

Papier de position ¹

Contribution des forêts et autres terres boisées à la sécurité alimentaire en Méditerranée

La forêt méditerranéenne et autres terres boisées contribuent de manière significative à la réduction de la pauvreté et à la sécurité alimentaire par la fourniture de multiples biens et services tels que l'approvisionnement en eau, la protection des sols, l'utilisation des pâturages, la conservation de la biodiversité, l'approvisionnement en énergie et en bois ainsi qu'en produits forestiers non ligneux.

Dans le contexte actuel de changement climatique et d'augmentation des autres pressions humaines, des investissements dans la lutte contre la déforestation et la gestion durable des forêts sont des questions essentielles pour la fourniture durable de ces biens et services menacés par la sécheresse, les incendies de forêt, l'érosion, la désertification, les ravageurs et les maladies émergentes.

Une meilleure coordination intersectorielle et inter-institutionnelle avec la participation des communautés locales et autres parties prenantes est nécessaire pour favoriser l'intégration des secteurs de l'agriculture, du pastoralisme, de la foresterie, de l'eau, de l'énergie et les autres secteurs d'utilisation des terres aux niveaux des politiques, de la recherche et des gestionnaires.

Sur la base des résultats de la réunion ministérielle sur le changement climatique et la sécurité alimentaire qui s'est tenue à Istanbul le 8 mars 2010 et des recommandations de la Semaine de la forêt méditerranéenne qui s'est tenue à Antalya du 13 au 16 avril 2010 avec les experts et les organisations internationales de la région,

Nous, Ministres, recommandons :

- de développer une stratégie intégrée pour la gestion durable des forêts méditerranéennes et autres terres boisées pour assurer la fourniture de biens et services environnementaux liés à la sécurité alimentaire,
- de mettre en œuvre l'agenda de recherche pour les forêts méditerranéennes pour la période 2010-2020 en développant un projet régional ERA-NET,
- d'organiser une conférence de haut niveau sur les forêts méditerranéennes avec toutes les parties prenantes en 2012 pour développer une vision partagée sur cette stratégie régionale intégrée.

1 - Prise de position qui devait être soumise à la Conférence ministérielle de l'Union pour la Méditerranée sur la Sécurité Alimentaire, l'Agriculture et le Développement Rural, initialement prévue les 15 et 16 juin 2010, au Caire en Egypte.

Background document

Contribution of forests and other wooded lands to food security in the Mediterranean

This “background paper” was prepared by a panel of experts in the context of the Enlarged Executive Committee of Silva Mediterranea during the first Mediterranean Forest Week, held from 13-16 April 2010 in Antalya, Turkey. The panel of experts comprised representatives of member countries of the Silva Mediterranea Committee, research organizations and networks, landowner associations and non-governmental organizations active in the Mediterranean.

During the Mediterranean Forest Week organised by the FAO and the EFIMED, numerous experts from neighbouring countries and international organisations met in Antalya on 14 - 15 April 2010. After highlighting the principal features of the institutional, environmental, social and economic contexts in which Mediterranean forests and other wooded lands currently evolve, they draw up proposals to be submitted to the Union for the Mediterranean (UPM) with the aim of better integration of the sustainable management of Mediterranean forests and other wooded lands among the Union programme priorities to ensure food security and the sustainable development of the Union's rural areas.

Institutional context

Since its creation on 13 July 2008, the Union for the Mediterranean has continuously expressed its commitment to the sustainable social, economic and environmental development of rural areas, and especially to food security. Forests and other natural and wooded land constitute an integral part of these areas. A meeting of the Ministers for Agriculture of the UPM will take place in Cairo in June 2010¹.

The Committee on Mediterranean Forestry Questions “**Silva Mediterranea**”, a statutory body of the **FAO**, was officially established in 1948, under the auspices of three FAO Forestry Commissions relevant to the Mediterranean (European Forestry Commission, Near

1 - This meeting was put back, a first time, from 15-16 June 2010 to November 2010 (and one more time, postponed until another date)

East Forestry Commission and the African Forestry and Wildlife Commission). The Silva Mediterranea involves 27 member countries whose territories are situated wholly or partly in the Mediterranean basin or whose forest, agricultural, or grazing economies are intimately associated with those of the Mediterranean Region. It has always sought to develop cooperation between the countries around the Mediterranean Rim to address priority issues such as forest fires, climate change adaptation and sustainable forest management.

The European Forest Institute (EFI), through its Mediterranean branch **EFIMED**, works to address the need for science-based information in decision-taking and policy-making which requires advancing the existing forest research capacities in the Mediterranean region. EFIMED through a wide consultation process has prepared a “Mediterranean Forest Research Agenda” (MFRA) for the 2010-2020, which presents a joint vision, by more than 100 experts from 15 Mediterranean countries, on the emerging challenges for Mediterranean forests and forestry as well as the main strategic research priorities to address such challenges.

The **Blue Plan** for the Environment and Development in the Mediterranean, a regional activity centre of the Mediterranean Action Plan (MAP) of the UNEP, integrates the issues involving woodland territories in its programme of future studies and in monitoring the Mediterranean Strategy for Sustainable Development.

Picture 1:
The participants of the 1st
Mediterranean Forest
Week at Antalya



The International Association for Mediterranean Forests (**AIFM**), established in 1996, gathers people from nearly all the Mediterranean countries in order to develop shared vision and pilot experiments on the sustainable management of forests, woodlands and other natural areas. The AIFM is developing a network of collaborations. Among others, the AIFM has led the project “Problems of the Mediterranean forest” (2000-2002, Interreg IIC) that generated the Declaration of Marseilles. Then, this NGO is disseminating knowledge and results of shared initiatives within the Mediterranean, facilitating exchanges and fostering advocacy on regional, national, European and Mediterranean levels.

Founded in 1962, the International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies (**CIHEAM**) is an intergovernmental organisation comprising thirteen member countries from the Mediterranean Basin (Albania, Algeria, Egypt, Spain, France, Greece, Italy, Lebanon, Malta, Morocco, Portugal, Tunisia and Turkey). CIHEAM is made up of a General Secretariat based in Paris and four Mediterranean Agronomic Institutes located in Bari (Italy), Chania (Greece), Montpellier (France) and Zaragoza (Spain). In pursuing its three central missions (education, research and cooperation) CIHEAM has come to be recognised as an authority in its fields of activity: Mediterranean agriculture, food and sustainable rural development.

WWF, the World Wide Fund for Nature active in the Mediterranean through its Mediterranean programme office based in Rome its network of 5 national offices in France, Italy, Spain, Greece and Turkey developed a Mediterranean Initiative. WWF with its partners contributes to the conservation, sustainable management and restoration of forest/ terrestrial landscapes while addressing markets, policy and capacity building issues and needs. WWF has organized in collaboration with IUCN a conference in Athens, Greece, in April 2008 that resulted in the Athens declaration and a joint publication with FAO on “Adapting to Global Change Mediterranean Forests”

ARCMED (2007), the Private Forest Owners Association of the Mediterranean, gathers regional and national forest owners association from the North of the Mediterranean (Spain, France, Italy and

Greece) and works in close cooperation with the Confederation of European Private Forest Owners (CEPF) to defend and promote the interests and values of private property ownership, to develop training and education, to promote and support sustainable forest management, to structure the private forestry sector in the north of the Mediterranean Basin, to boost capacity building through the promotion and support of private forest owners associations, and to foster collaboration among goal related organizations and institutions.

The **Mediterranean Model Forest Network** (MMFN) is a group of governance organizations that from 2008 aims at applying the Model Forest concept in the Mediterranean. Since this concept is a proofed tool that has been previously used in nearly all regions of the world for the integration of different values and uses of forest territories and since it applies innovative governance skills for the building of the common vision and the adaptive use of the best knowledge available, the territories involved in the MMFN provide the obvious test arenas for this needed new approaches.

The **forestry and environmental administrations and agencies** of many states, regions or provinces bordering the Mediterranean have for a long time been expressing major concern about the integration of forests and terrestrial ecosystems within a sustainable land use and management systems of their territories. A regional forum: Forestry sector and sustainable development in the Mediterranean - challenges, policies and governance was held in Rabat, on 24 - 26 November 2005 organised, by the government of the Kingdom of Morocco and the FAO with the support of the Blue Plan and the AIFM. Most of its conclusions were considered and integrated in this document.

Environmental, social and economic context

Over thousands of year, Mediterranean forests and other wooded lands have evolved under the combined impact of the natural environmental factors such as relief, soils, climate and the activities of human society. The civilisations that have succeeded each other around the Mediterranean Rim have

List of supporting organizations

The panel of experts which has prepared this "background paper" comprised :

- Members of the FAO - Silva Mediterranea Enlarged Executive Committee (FAO's statutory body), including representatives from member states (Bulgaria, France, Morocco, Turkey) and coordinators of thematic working groups (Italy, Portugal, Morocco and Bulgaria)
- FAO - Silva Mediterranea Secretariat
- Blue Plan for the Environment and the Development in the Mediterranean (UNEP/MAP)
- EFIMED, Mediterranean branch of the European Forest Institute (EFI)
- International Association for Mediterranean Forests (AIFM)
- International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies (CIHEAM)
- WWF (World Wide Fund for Nature) Mediterranean Programme Office and WWF Turkey
- ARCMED, Private Forest Owners Association of the Mediterranean and CEPF (Confederation of European Forest Owners)
- GTZ, German Technical Cooperation Agency for the Development
- Mediterranean Model Forest Network (MMFN)

transformed and shaped all the components of their territories, including the forests and other wooded lands.

Since Antiquity, these lands have provided multiple resources (foodstuffs from hunting and gathering, fodder and grazing for herds, firewood, timber, cattle, cork...) not only for the local rural populations but, also, to the cities to trade and to industry. Stereotype images of "virgin" forest or, in complete contrast, of forest as a "machine for producing wood" are completely unsuited to the Mediterranean. Indeed, the multiple uses are one of the defining characteristics of the Mediterranean forests. A particularly important aspect is the role of herds: in traditional agrarian systems, the livestock grazes a major part of its food in the forest and on other natural land (Mediterranean *saltus*), and fertilising the cultivated land with the nitrogen and the phosphorus content of their excrement.

In modern time, there has been massive development of urbanisation industrialisation long-distance low-cost transport and market competition between all the regions of the world. These changes in land-use have caused series of ruptures in the uses of Mediterranean forests and other wooded lands and in the nature of goods and services expected of them.

In the countries of the northern Rim, traditional rural uses have by and large disap-

peared. Because of the natural dynamics of woody vegetation, forests and “matorrals” have reconquered large tracts of abandoned agricultural or grazing land. As a consequence, the massive development of the scrub and undergrowth combined with lack of management, heat waves and drought during summers increased enormously the risk of fire.

In the countries of the southern and eastern Rim, in contrast, numerous poor rural populations in their struggle to survive, must continue to maintain excessively high pressure on woodlands, ploughing up marginal or erodible land for farming, overexploiting firewood and over-grazing. Such activities bring with them high risks of degradation of plant cover, erosion, desertification and loss of biodiversity. The most effective means of combating these risks is by reducing poverty.

In the north, as in the south and in the east, permanent resident city dwellers and tourists now make new demands on forest and natural land: congenial landscape, leisure in a natural environment, or clearing for urbanisation and infrastructure. Such demands are often the sources of conflicts between either non-compatible users or with landowners. Thus, a clear need has emerged for making changes in property rights and uses as well as for designing new procedures of governance.

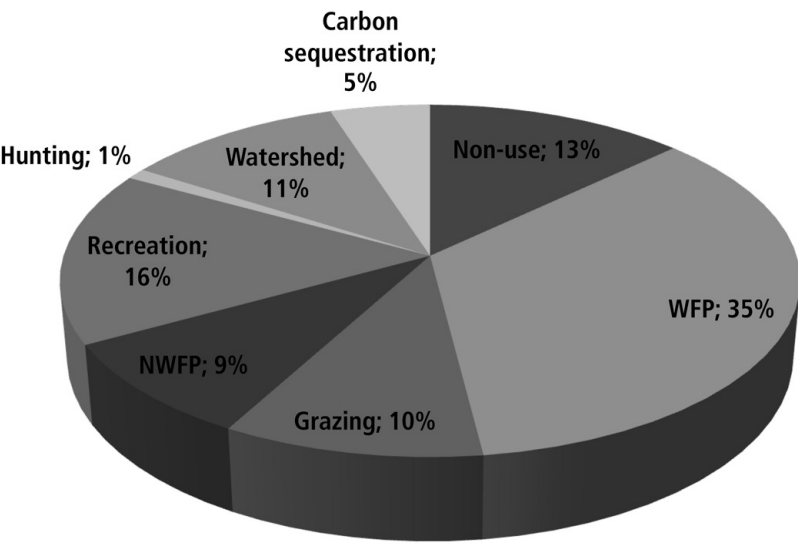
For a long time, “ecological services” provided by woodlands (soil and water protection, biological diversity of flora and fauna, climatic buffer) were regarded as normal consequences of wise forestry management. Moreover, the forestry administrations in various Mediterranean countries have already undertaken specific action for reforestation, soil protection, reclaiming landscape, fighting erosion and desertification, watershed management and the protection of rare or endangered species. But it is only quite recently that awareness was raised on the economic value of these services, and of the need to manage them sustainably as such, in particular under the aegis of international conventions for combating desertification (UNCCD) and for the conservation of biodiversity (UNCBD).

Concerning the total economic value of Mediterranean woodlands, it is important to point out that the production of commercial, non-commercial and self-consumable goods, as well as the management and protection of the capability for delivering environmental services, equate to providing employment (Box 1). Such “jobs” result in direct income (marketable goods and services), shadow remuneration (self-consumption), indirect income through connected products (tourism services, increase values of houses...), or be financed through taxes or fiscal measures whose importance is growing in many urban areas.

Climate change will affect ecosystems and societies around the Mediterranean basin in a more drastic way than in the rest of the world. Temperature is expected to increase more than the global average (especially in summer) and rainfall is expected to decrease around 20% by the end of the century. Already nowadays, 7% of the world population is located in the Mediterranean area that has access to only 3% of the world’s water resources. This region is home to 60% of the global water-poor countries, which have less than 1000 m³/cap/year. Furthermore, science based predictions estimate that by 2025 up to 63 million people in the Mediterranean countries will be in the need of water (with less than 500 m³/cap/year).

In this context, Mediterranean forests are the most important ecological infrastructure in the region, home to 25 000 plant species of which 50% are endemic, playing a key role in its resilience and adaptability as they affect

Box 1:
Composition of the Total
Economic Value of
Mediterranean Forests
Source: Merlo & Croitoru
2005
NWFP: non-wood forest
products;
WFP: wood forest
products;
non-use: bequest
and existence value.



the availability of the two most scarce resources of the region: water and soil, as well as provide multiple goods and services crucial for the sustainability and well being of Mediterranean societies.

The threats from global climatic change have put a radically new set of constraints on the activities affecting woodlands. Until recently, one could rely on the remarkable resilience of Mediterranean ecosystems which enabled them to regenerate themselves, often after periods of severe degradation, and on the experience and wisdom of public or private forest managers. In the various scenarios presented by the IPCC, the Mediterranean region is confronted with a great increase in the aridity of its climate. The response of the ecosystems remains difficult to anticipate but there will certainly be a considerable increase in the threat of wild-fire, desertification and loss of biodiversity. Furthermore, new constraints threaten farmers, in particular the scarcity of water resources. The management of forestry and natural land will have to be all the more careful as we do not know where to situate the ecosystems' thresholds of resilience beyond which irreversible deterioration could occur.

It is increasingly accepted that sustainable land management must be grounded on good governance, implementing guiding principles of: subsidiarity, devolution of authority, evaluation *ex ante* and *ex post*, responsibility and accountability, participation of all stakeholders and all publics concerned or involved. These principles are relatively simple to state, but they are not so easy to put into practice: there are often numerous administrative, legal and even psychological and sociological obstacles that hinder their implementation.

Effective implementation requires research, innovation, development, training and information. Because of the Mediterranean region's social and economic characteristics and the nature of the difficulties encountered, the region is often in advance of other regions of the world in the field of sustainable management of its territories, including forests. Moreover, concerning such questions, some countries of the southern Rim are in advance of those on the northern Rim. The interest of international cooperation in this area is thus strengthened.

Principles of action

An action plan within the framework of the UPM's programmes could be proposed in order to develop the sustainable management of forests and other wooded lands, as an integral part of the sustainable management of rural territories in the Mediterranean countries. Such planned action will encompass several dimensions at different levels.

The environmental, social and economic dimensions constitute the three traditional pillars of sustainable development, and it is particularly important to integrate them effectively into all action undertaken not only because of the current state of these lands but also in regard to the foreseeable evolution of them that will be the result of the combined effects of natural factors and human activity.

The different levels concerned by this action plan are those of research and development, capacity building and knowledge / information sharing.

At the level of research, knowledge gaps are still considerable regarding the ways in which the forests and other wooded lands "eco-socio-systems" normally function, and are even greater regarding the ways in which they react and adapt (or not adapt) when faced with relatively rapid change in their environment, be it climatic, social or economic. But while more fundamental research remains essential, the urgency of many questions makes it impossible to wait until all requisite answers have been obtained. The Mediterranean Forest Research Agenda 2010-2020 (MFRA) is giving a fair statement of the current situation and needs about research.

It appears essential, therefore, to push forward at the level of research and development whose activities can take various forms: pilot operations, regional workshop, area-based projects, territorial forecast studies... The principal characteristics of such actions are first, to be firmly anchored in a given territory (a territory being the whole formed by an area's land and the people who live, work or have inputs there) and, second, to adopt a participative approach to doing things in order to involve stakeholders and all other concerned people in the construction of a commonly-held vision of the territory and its problems and in setting up and

managing shared projects. During such a process, basic questions concerning such vision, projects or territories may arise and have to be reformulated as questions for fundamental science, requiring a scientific approach and procedures. The results of these undertakings will be collectivised as the mutually-shared capital of accumulate knowledge.

Indeed, in order to build up shared knowledge from such research and development operations, it is necessary that suitable procedures be established to permit, in the first place, joint review and analysis of the various experience acquired and, subsequently, the diffusion of all conclusions via publications, forums, congresses, information platforms, databases, technical references, guidelines for good practices, technical or higher training courses...

Proposals for action

The proposals that appear in the following subparagraphs correspond to topics that have already been highlighted, in various forms, in several documents, in particular those established by the FAO, EFIMED, the Blue Plan and the AIFM (see the bibliography).

The first challenge is to develop an integrated strategy for sustainable management of forests and other wooded lands as part of the sustainable development of rural areas in the Mediterranean and within the context of climate change. To achieve it, it is necessary to mobilize all concerned stakeholders in the Mediterranean. Therefore, a high level conference on Mediterranean forests and other wooded lands must be organized, involving such stakeholders from different sectors. The other action field is to contribute to the implementation of the MFRA through an ERA-NET¹ scheme.

The potential reaction of the woodland ecosystems faced with major climate change is very poorly understood. It is often admitted that a rise of 1°C in the mean annual temperature could cause a movement of the distribution patterns of many plants 200 kilometres northwards, or correspondingly, 200 metres higher in altitude. But such an assessment is very rough and in reality multiple factors will come into play. In order to

help the best possible adaptation of the ecosystems, in particular by appropriate forestry, it is crucial to greatly enhance our knowledge of a range of fields from plant physiology to landscape ecology, through fundamental research and systematic observation. European networks for the observation of the health and ecology of forests have been functioning for a number of years. They have started to be implemented in some Mediterranean countries and it would be most advantageous to strengthen and generalise them in every Mediterranean country.

Around the whole Mediterranean Rim, the agents of forestry administrations are increasingly aware that, beside their traditional roles in technical activities (forestry management, reforestation, soil reclamation, watershed management...) and in enforcing forestry laws and regulations, they have to play new roles as facilitators, of developers, and even territorial mediators, helping all those involved to build a common vision for the future of their territory, along with shared territorial projects. But the initial training of these agents has seldom prepared them for their new roles. Participating in pilot operations and sharing knowledge in networks all around the Mediterranean are good ways for developing the overall capacity of forestry agents and also, of local territorial development officers, in order to make them effective actors in the integration of forests and natural ecosystems into the sustainable development of territories.

The central themes of these research and development operations will vary widely according to the regions. In the north, they will often be turned mainly towards "environmental services" and the expectations of city dwellers. In the south and in the east, primary themes include rural and agricultural development, food security and alleviating poverty. In all cases, the most important aspects include the economic assessment of uses, goods and services, both commercial and non-commercial and, in some cases, the legal aspects, particularly in relation to the precise delimitation of property and user rights. Predominant preoccupations will often concern good governance, i.e. the adoption of procedures enabling all the stakeholders to take part in the definition of overall strategy and specific projects as well as in their financing, management and evaluation.

1 - The objective of the ERA-NET scheme under the 7th Research Framework Programme of the European Commission is to develop and strengthen the coordination of national and regional research programmes through the provision of a framework for actors implementing public research programmes to coordinate their activities e.g. by developing joint activities or by mutually supporting joint calls for trans-national proposals. Under the ERA-NET scheme, national and regional authorities identify research programmes they wish to coordinate or open up mutually.

Agri-sylvi-pastoral equilibrium constitutes a particularly important issue: Mediterranean forests and other wooded lands have played a major role for thousands of years in the feeding of livestock herds. It seems that currently, where this role continues, it has undergone radical transformation. The size of the herds has increased, often greatly, but only a small part of their food still comes from natural vegetation (very variable according to the region, perhaps between 10-50%); the major share is made up of agricultural residues and purchased food, often imported. At the same time, strong social differentiation has often developed strikingly, with rich “capitalists”, often urban owners of very large herds, and poor rural shepherds or livestock farmers. These new livestock raising systems have generally replaced the traditional nomadic way of life and often result in the abandonment of the old practices of pastoral management, with subsequent lack of regeneration and increasing desertification. These situations are often poorly understood, and should be given priority in research and development activity. Studies should cover not only the management of pastureland and natural resources but, also, the channels of production and marketing of plant and animal products (wood and non wood forest products) as well as territorial development in areas which are often among the poorest.

New more research topics will certainly emerge from the questions raised by research and development schemes. Thus, the conservation of biodiversity (maintenance of the diversity of forest genetic resources, protection of rare or threatened species, enhancement of the mosaic of landscape) is a fundamental subject due to the fact that the Mediterranean is a hotspot for the planet's biodiversity. It is a fact that certain uses can favour biodiversity if they remain moderate but become catastrophic when excessive. This is the case, for example, for grazing in forest or harvesting forest biomass for energy purposes: if these uses remain moderate, they can contribute to wildfire prevention, to the opening up of landscapes and to the creation of animal-friendly habitats. But if these uses are overdone, they can provoke degeneration of the plant cover, soils erosion and the loss of biodiversity. In fact, research and development action must maintain a continuous interchange and it is essential that international



cooperation create the conditions for organising and optimising this dialogue.

In the sphere of operational activities, investing in forest fires prevention measures can offer a major opportunity for cooperation. The risk of such fires will probably increase due to global climate change. Very positive experience of collaboration in the prevention of and the fight against wildfire has already been acquired, mainly between neighbouring countries or regions. Such collaboration could be extended within the framework of UPM programmes and go as far as the constitution of a common fleet for mechanised intervention, particularly airborne (water bombers, helicopters), implemented with commonly-agreed interchangeable procedures, or the pooling of training facilities for fire fighting and more specifically for wildfire management and prevention.

Picture 2:

The *Pinus brutia* forest visited during the field trip of the Mediterranean Forest Week of Antalya
© D. Afxantidis

Bibliographic references

- AIFM (Bonnier J. & Poulet D.), 2006. Les acquis du projet RECOFORME "Structuration de réseaux et d'actions de coopération sur la forêt méditerranéenne" (Interreg IIIB Medocc). 57 p.
- AIFM (Bonnier J. & Poulet D.), 2002. The problem of the Mediterranean Forest (Interreg IIC project, including the Marseille Declaration on Mediterranean Forests). Ed. *Forêt Méditerranéenne* hors-série n°1, 191 p.
- EFIMED, 2009. A Mediterranean Forest Research Agenda – MFRA (2010-2020). 31p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1992. The Role of Forestry in combating desertification, FAO Conservation Guide 21, Rome.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. Promoting Regional Cooperation in arid zone forestry in arid and sub-humid zones of Africa. Forestry Department Report, Rome.
- Mansourian, S, *et al.* 2006. Forests in arid zones: issues, priorities and ideas for joint action. FAO

background paper prepared for discussion during the side event on "Arid zone forests' contributions to biodiversity conservation, Combating desertification and sustainable livelihoods", held at the 13th World Forestry Congress, October 2009 (Buenos Aires, Argentina).

Montgolfier (de) J, 2002. *Les espaces boisés méditerranéens – situation et perspectives*. Ed. ECONOMICA collection les fascicules du Plan Bleu n° 12, 208 p.

Montgolfier, (de) J, 2007. Espaces forestiers méditerranéens et développement durable, Synthèse du forum de Rabat (Plan Bleu / AIFM). *Forêt Méditerranéenne*, t. XXVIII, n° 1, pp. 41-46.

Plan Bleu, 2005 (Benoit G. et Comeau A. Ed.). *Méditerranée : les perspectives du Plan Bleu sur l'Environnement et le Développement* – Ed. de l'Aube, diffusion Seuil – 432p. (traduit en anglais: *A Sustainable Future for the Mediterranean – The Blue Plan's Environment and Development Outlook* - Ed. Earthscan – 464 p.

Regato, Pedro. 2008. *Adapting to Global Change : Mediterranean Forests*. Malaga, Spain : IUCN Centre for Mediterranean Cooperation. Edited by IUCN, WWF and FAO. 254 p.

Position paper¹

Contribution of forests and other wooded lands to food security in the Mediterranean

Mediterranean forest and other wooded lands contribute significantly to poverty alleviation and food security through the provision of multiple goods and services such as water supply, soil protection, rangeland use, biodiversity conservation, energy supply and wood and non wood forest products.

In the context of climate change and other increasing human pressures, investment in avoiding deforestation and in sustainable forest management are key issues for the provision of these goods and services threatened by drought, wildfires, erosion, desertification, emerging pests and diseases.

A better intersectoral and inter-institutional coordination with participation of local communities and other stakeholders is needed to foster the integration of agriculture, pastoralism, forestry, water, energy and other land-use sectors at policy, management and research levels.

Based on the outcomes of the Ministerial Meeting on climate change and food security held in Istanbul on 8 of March 2010 and recommendations of the Mediterranean Forest Week held in Antalya on 13-16 of April 2010, which gathered the experts and the international organisations of the region,

We, Ministers, recommend to:

- develop an integrated strategy for sustainable management of Mediterranean forests and other wooded lands to ensure the provision of goods and environmental services relevant to food security,
- implement the Mediterranean Forest Research Agenda 2010-2020 (MFRA) by developing an ERA-NET scheme,
- organise a high level Mediterranean conference with all relevant stakeholders in 2012 to develop a shared vision on this regional integrated strategy.

1 - Position paper to be submitted to the Ministerial Conference of the Union for the Mediterranean on Food security, Agriculture and Rural Development, that had to take place, 15-16 June 2010, at Cairo, Egypt.

EFIMED en bref

Regard sur le Bureau régional méditerranéen de l'Institut forestier européen (EFI)

par Marc PALAHI et Yves BIROT

Le futur des forêts méditerranéennes apparaît particulièrement incertain du fait des nombreuses contraintes d'ordre environnemental, économique et social qu'elles subissent. Les facteurs démographiques, l'intensité des changements du climat et de l'utilisation des terres constituent un champ de forces pouvant entraîner une évolution régressive des écosystèmes forestiers méditerranéens, comme le montre d'ailleurs l'observation actuelle de nombreux indicateurs. L'extension attendue du climat méditerranéen à de nouvelles régions géographiques amplifie encore les problèmes. Plus que jamais, la gestion raisonnée des forêts méditerranéennes fondée sur la connaissance s'impose à nous. L'ampleur et la difficulté des problèmes justifient un effort de recherche ambitieux, mais aussi mieux coordonné au niveau du Bassin méditerranéen, à partir d'objectifs prioritaires partagés, et grâce à une capacité de recherche et des moyens financiers accrus.

EFIMED, le Bureau régional méditerranéen d'EFI a été créé en 2007 à l'initiative du Gouvernement espagnol et grâce à l'engagement fortement motivé d'un réseau d'organisation de recherches forestières et de chercheurs de différents pays et disciplines autour du Bassin méditerranéen. C'est le premier Bureau régional créé par l'EFI.

L'objectif d'EFIMED est de promouvoir et coordonner la recherche dans les institutions et dans le cadre de réseaux de coopération, comme fondement des politiques visant à la conservation et la gestion des forêts méditerranéennes. EFIMED vise aussi à renforcer de manière ciblée les capacités de recherche dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée, de manière à faire progresser les connaissances et à les intégrer dans les politiques de développement. EFIMED s'efforce aussi de favoriser les interactions de la recherche et de la communauté scientifique avec les politiques et les décideurs au niveau national et international, et à rechercher les financements pour des projets et programmes scientifiques. L'important réseau d'EFIMED dans le Bassin méditerranéen et son statut international lui permettent d'être le porte-parole de la communauté scientifique forestière méditerranéenne. Au cours des dernières années, les activités d'EFIMED se sont développées à un rythme soutenu ; les plus importantes d'entre elles sont rappelées ci-dessous.

EFIMED a pris l'initiative d'organiser et de catalyser un processus visant à l'élaboration conjointe d'un **plan stratégique de recherche forestière méditerranéenne (MFRA) pour la période 2009-2020**, et à sa mise en œuvre. Cette initiative reposait sur le constat suivant :

- le contexte politique est favorable aux questions méditerranéennes ;

- au niveau européen, le 7^e Programme-cadre de recherche-développement et la Plateforme technologique "secteur forestier" (FTP) constituent des instruments puissants pour le développement de la recherche forestière ;

- de nombreuses incertitudes planent sur le futur des forêts méditerranéennes (changements climatiques et socio-économiques) ;

- la recherche forestière méditerranéenne est assez fragmentée et manque de ressources ; il convient donc de la renforcer et de mieux la structurer ;

- EFIMED est légitime dans sa capacité à être la "voix" de la recherche forestière méditerranéenne, dans un contexte croissant de "société de la connaissance".

Le plan stratégique pour la recherche forestière méditerranéenne (MFRA) a fait l'objet d'une large consultation dans les pays méditerranéens et a recueilli un très large consensus, tant sur les enjeux futurs des forêts méditerranéennes, que sur les domaines prioritaires de recherche. Ces enjeux se résument comme suit :

- faire face aux changements climatiques et à leurs impacts sur les écosystèmes forestiers méditerranéens ;

- vivre avec les feux et réduire les causes structurelles ;

- accroître la « durabilité » et la profitabilité des forêts méditerranéennes grâce aux instruments économiques, de politique et de gouvernance ;

- gérer une forêt multifonctionnelle, dans des territoires à échelle et usage multiples.

Le plan stratégique de recherche MFRA fait partie intégrante du Plan stratégique de recherche (SRA) de la Plateforme technologique européenne pour le secteur forestier (FTP). Il comporte quatre domaines prioritaires de recherche, qui sont devenus naturellement les axes majeurs d'EFIMED :

- impacts des changements du climat et d'utilisation des terres sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers et sur les ressources-clés qui y sont associées : l'eau et le sol ;

- intégration du risque d'incendie dans l'aménagement forestier et l'aménagement du territoire ;

Photo 1 :

Le séminaire scientifique d'EFIMED a rassemblé de nombreux participants du monde méditerranéen, à Antalya, Turquie
Photo DA



- instruments et politiques économiques pour la production durable de biens et services ;

- modèles et systèmes d'aide à la décision pour optimiser l'aménagement et la gestion des forêts.

L'existence du plan stratégique de recherche forestière méditerranéenne MFRA a ensuite permis de monter un projet très important, financé par l'Union européenne : AGORA. AGORA a pour but de faire progresser la connaissance scientifique sur la gestion durable des forêts en Tunisie et au Maroc, par le biais d'une coopération scientifique, d'un travail en réseau et d'un renforcement ciblé des capacités de recherche. Ce projet doit permettre une utilisation efficace des connaissances et des ressources existantes disponibles dans différentes institutions de recherche forestière de la région méditerranéenne.

Le plan stratégique MFRA a aussi constitué un excellent argumentaire pour convaincre la Commission européenne de proposer le montage d'un ERA-Net, puissant instrument du Programme cadre européen de recherche-développement pour le renfort et la coordination de la recherche, sur les forêts méditerranéennes. Ce projet d'ERA-Net, baptisé FORESTERRA, est en cours d'élaboration en réponse à l'appel d'offres de la Commission. Il a reçu l'appui d'agences de financement institutionnelles et d'organismes de recherches forestières de pays du Bassin méditerranéen. En cas de succès, FORESTERRA constituera un instrument-clé dans la mise en œuvre du MFRA.

EFIMED est également actif pour favoriser le dialogue science/décideurs et plus largement science/société. EFIMED a publié en 2009 un ouvrage (en cinq langues) sur les incendies de forêt, « *Vivre avec les incendies : ce que la science peut nous dire* ». Il vise à mettre à la disposition des décideurs et gestionnaires une expertise scientifique collective, à laquelle a participé une vingtaine de chercheurs, tous experts reconnus dans leur domaine. Dans le même esprit, une seconde publication, « *Eau et forêts en Région Méditerranéenne, un équilibre à trouver ; ce que nous dit la science* », est attendue au printemps 2011 ; ce livre a mobilisé les compétences de quarante chercheurs.

Partant du principe que les jeunes chercheurs constituent la force vive qui partici-

pera au développement d'une société fondée sur la connaissance, EFIMED leur accorde une attention particulière, notamment par la mise en place "d'écoles d'été" sur des thèmes liés aux priorités du MFRA, et l'attribution de bourses pour des séjours scientifiques de courte durée auprès d'un laboratoire partenaire.

Enfin, EFIMED souhaite être membre à part entière de la communauté forestière méditerranéenne, en développant ses interfaces avec les représentants des administrations, des universités, des gestionnaires et décideurs, des politiques, des ONGs, des propriétaires forestiers publics et privés, et de la société civile en général. C'est pourquoi, il s'implique fortement dans l'organisation de la Semaine forestière méditerranéenne, comme en 2010 à Antalya (Turquie) et la seconde à Avignon (France) en 2011.

Marc PALAHI
Yves BIROT
EFIMED
C/Castella 33, B2 3°
ES - 08018 Barcelone
Espagne
Tél. : + 34 93 515 32 11
Email :
marc.palahi@efi.int

Plus d'information
sur :
www.efimed.efi.int

M.P., Y.B.

Photo 2 :

A la tribune de la première Semaine forestière méditerranéenne d'Antalya, Turquie : (de gauche à droite) Alain Chaudron (MAAP), Mohamed L. Chakroun, (AIFM), Joan Rovira (ArcMed), Marc Palahi (EFIMED), Nora Berrahmouni et Spas Todorov (Silva Mediterranea)
Photo DA



EFIMED in brief

A snapshot on the Mediterranean Regional Office of the European Forest Institute (EFI)

by Marc PALAHI & Yves BIROT

Mediterranean forests are undergoing many environmental, economic and social constraints that make their future particularly uncertain. Driving forces such as demographic factors, intensity of climate and land use changes can lead to a regressive evolution of Mediterranean forest ecosystems, as currently shown by the assessment of many indicators. The extension of the Mediterranean climate to new geographic areas amplifies in turn the problems. More than ever, a sound management of Mediterranean forests, based on knowledge, is a necessity. The size and the difficulties of encountered issues, call for ambitious and better coordinated research efforts, based on jointly agreed priority objectives, and increased research capacities and financial means.

EFIMED, the EFI Mediterranean Regional Office was established in 2007, thanks to the initiative of the Spanish government and to the strong commitment of a network of forest research organizations and scientists from various disciplines and countries around the Mediterranean Basin. EFIMED was the first Regional Office established by EFI.

The main objective of EFIMED is to promote and coordinate research in the institutions and in the framework of cooperative networks, as background to policies targeting the conservation and management of Mediterranean forests. EFIMED also aims at strengthening key research capacities in the South and the East of the Mediterranean, in order to advance knowledge, and to integrate it into development oriented policies. Furthermore, EFIMED strives for favouring the interactions, at national and international level, between the research and scientific community, and the policy and decision-makers, and seeks financial support to scientific projects and programmes. The important EFIMED network in the Mediterranean Region, as well as the EFIMED international statute legitimate its role as “voice” of the Mediterranean forest research community. Over the last years, EFIMED activities have developed quite significantly; the main ones are reported below.

EFIMED has initiated the organization and catalysis of the joint elaboration of a Mediterranean Forest Research Agenda (MFRA) for the period 2009-2020, and has taken steps for its implementation. The mean reasons for this development are as follows:

- Mediterranean issues are nowadays highlighted in political arenas;
- At the European level, the Forest-Based-Sector Technology Platform and the 7th RTD Framework Programme, are powerful instruments for strengthening forest research;
- The future of Mediterranean forests is under threat;
- Mediterranean forest research is fragmented and lack financial resources, and therefore needs increased support and improved structuring;
- The MFRA is a key tool in the context of a society more and more knowledge based.

The MFRA results from an extended consultation process, which has allowed to reaching a broad consensus on the vision on the future of Mediterranean forests, as well as on the priority research areas. The vision has four pillars:

1. Coping with climate changes and their impact on Mediterranean Forest ecosystems.
2. Living with forest fires and acting on their structural cause.
3. Increasing the sustainability and profitability of Mediterranean Forests through economic, governance and policy instruments.
4. Managing multifunctional forests in multiple use and scale landscapes

The MFRA, forms an integral part of the Strategic Research Agenda (SRA) of the European Forest-based Sector Technology Platform (FTP); it contains four priority research areas which have become the main EFIMED axis:

- Impact of climate and land use changes on forest ecosystem functioning and on related key resources: soil and water;
- Integration of wildfire risk in forest and landscape planning;
- Instruments and economic policies for the sustainable production of goods and services;
- Models and decision support systems for optimizing forest management and planning.

The existence of the MFRA has been decisive in the preparation and success of a very important E.U. funded project: AGORA. AGORA's objectives are to advance scientific

Picture 1:
EFIMED scientific seminar gathered many participants of the Mediterranean, in Antalya, Turkey
© DA



Marc PALAHI
Yves BIROT
EFIMED
C/Castella 33, B2 3°
ES - 08018 Barcelona
Spain
Tel. : + 34 93 515 32 11
Email :
marc.palahi@efi.int

More information
in :
www.efimed.efi.int

Picture 2:

From the platform of the first Mediterranean Forest Week in Antalya, Turkey :
(from left to right) Alain Chaudron (French Ministry of Agriculture), Mohamed L. Chakroun (AIFM), Joan Rovira (ArcMed), Marc Palahi (EFIMED), Nora Berrahmouni and Spas Todorov (Silva Mediterranea)
© DA

knowledge on sustainable forest management in Tunisia and Morocco, through scientific cooperation and networking, and targeted strengthening of research capacities in these two countries. The project should allow a better use of available knowledge and existing resources in some forest research organisations of the Mediterranean Region.

The MFRA was also instrumental in convincing the European Commission (DG Research) to include in its call an ERA-Net on Mediterranean Forest Research (ERA-Net is a powerful instrument of the FP for RTD for strengthening and coordinating research in a given area). This ERA-Net, FORESTERRA, under Spain leadership, is under preparation to be submitted to the call. It has been given support from main funding agencies as well as main research organizations in the Mediterranean Region. If successful, FORESTERRA will be THE key instrument for implementing the MFRA.

EFIMED is particularly interested in favouring the dialogue between science and policy dialogue and more generally between science and society. In this respect, EFIMED has published in 2009 a "discussion paper" in five different languages on forest fires: "living with wildfires; what science can tell us". This book aims at making available for managers and decision-makers, the most recent and best collective scientific expertise. About

twenty authors, all renowned experts in their field, have contributed to the book. In the same spirit, a second discussion paper on "water for forests and people in the Mediterranean: a challenging balance; what science can tell us" is expected for spring 2011. This book has mobilized the competencies of forty international experts.

EFIMED pays a special attention to young scientists as they are future key players in the development of the knowledge-based society, in particular by organizing "summer-schools" on MFRA related topics, and offering grants for short term scientific visits in partner laboratories.

Lastly, EFIMED would like to be a full member of the Mediterranean forest community, by developing its interfaces with administrations, universities, NGOs, managers and decision-makers, public and private forest owners, and by and large with the civil society. It is why EFIMED is fully committed in the organization of events, such as the Mediterranean Forest Week in 2010 in Antalya (Turkey) and in 2011 in Avignon (France).

M.P., Y.B.



Intégration des effets du changement climatique sur les forêts méditerranéennes : observation, expérimentation, modélisation et gestion

par Josep PEÑUELAS, Carlos GRACIA, Iolanda Filella ALISTAIR JUMP,
Jofre CARNICER, Marta COLL, Francisco LLORET, Jorge Curiel YUSTE,
Marc ESTIARTE, This RUTISHAUSER, Romà OGAYA,
Joan LLUSIÀ et Jordi SARDANS

Tendances actuelles et prévues du changement climatique dans la région méditerranéenne

Bien que les scénarios portant sur l'évolution des températures varient en fonction des régions, ils montrent une tendance claire vers un réchauffement général. La hausse des températures entre 1850-1899 et 2001-2005 a été de 0,76°C à l'échelle globale. Dans certains pays méditerranéens, cependant, la hausse entre 1971 et 2000 était de 1,53°C, une valeur bien plus élevée que la hausse de 1,2°C prévue par les modèles climatiques (Cf. Fig. 1). De plus, des scénarios de simulation du climat futur tendent à confirmer que des émissions plus importantes de gaz à effet de serre pourraient produire une augmentation de la température supérieure à la moyenne, et réduire les précipitations (de plus de 20 %) et augmenter la variabilité interannuelle des niveaux de température et de précipitations (inondations, sécheresses, vagues de chaleur...).

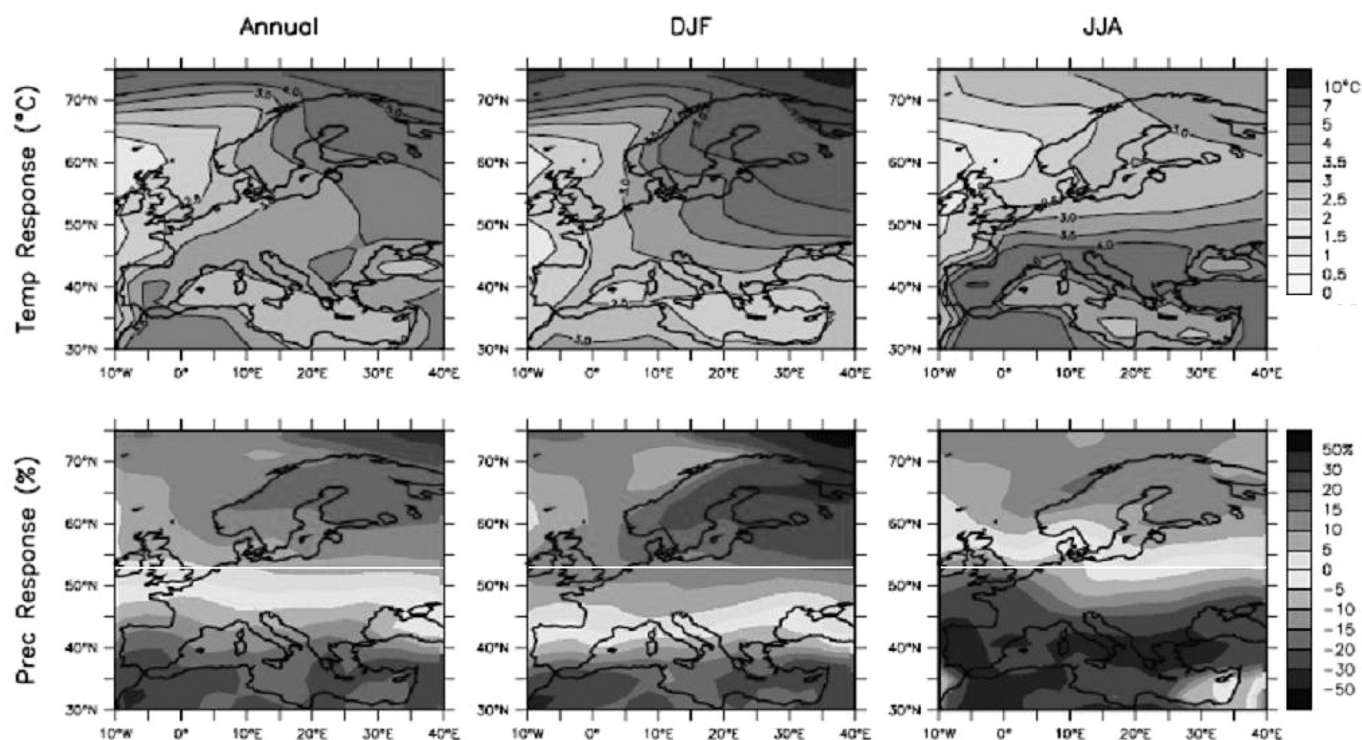


Fig. 1 :
Modélisation
des changements
de température
et de précipitations
en Europe
pour le scénario A1B.

En haut : évolution
des températures
entre 1980-1999
et 2080-2099, moyenne
entre 21 modèles ;
moyennes annuelle,
hiver (DJF) ;
été (JJA)
En bas : idem,
mais pour l'évolution
des précipitations.

Source 4^e Rapport
d'évaluation du GIEC,
2007

Impacts biologiques du changement climatique dans un contexte de changement global

Si la combinaison du changement climatique, des perturbations associées (inondations, sécheresses, incendies...) et des évolutions des autres composantes du changement global (en particulier les évolutions des usages des terres, la pollution, la surexploitation des ressources...) suivent la tendance actuelle dans les prochaines décennies, elle pourrait venir à bout de la résilience de beaucoup d'écosystèmes (c'est-à-dire leur capacité à s'adapter naturellement) (GIEC, 2007). Cela altèrera la structure et l'activité des écosystèmes, ainsi que les services qu'ils fournissent habituellement. L'effet du changement climatique sera influencé par l'interaction avec ces autres composantes du changement global et par la manière dont seront gérées ces problématiques.

Le changement climatique est global, mais les impacts écologiques varient localement. Les effets du changement climatique seront différents suivant les zones climatiques, avec des impacts supérieurs en termes de

réchauffement dans les régions froides où le facteur limitant est l'énergie, et en termes de sécheresse dans les zones arides et chaudes où le facteur limitant est la disponibilité en eau, comme c'est le cas des régions méditerranéennes.

Alors que les modèles de simulation tels que GOTILWA+ prédisent une diminution dramatique de la quantité d'eau contenue dans le sol dans les régions méditerranéennes, des études récentes prédisent un élargissement de la période de croissance de 50 jours pour la région méditerranéenne à l'horizon 2080. La saison de croissance a déjà augmenté de plusieurs jours dans les dernières décennies (Cf. Fig. 2). Cette situation conduira vers une demande accrue en eau, simultanément à une baisse de la ressource disponible pour les écosystèmes forestiers.

De plus, des températures plus élevées induiront une augmentation exponentielle des taux de respiration des tissus vivants des arbres, alors que la photosynthèse ne devrait pas augmenter beaucoup en réponse aux températures. Cela pourrait se traduire par une dégradation des réserves de carbohydrates mobiles indispensables aux arbres méditerranéens pour résister aux périodes sèches de l'été. Nombre de phénomènes de dépérissements observés dans les forêts

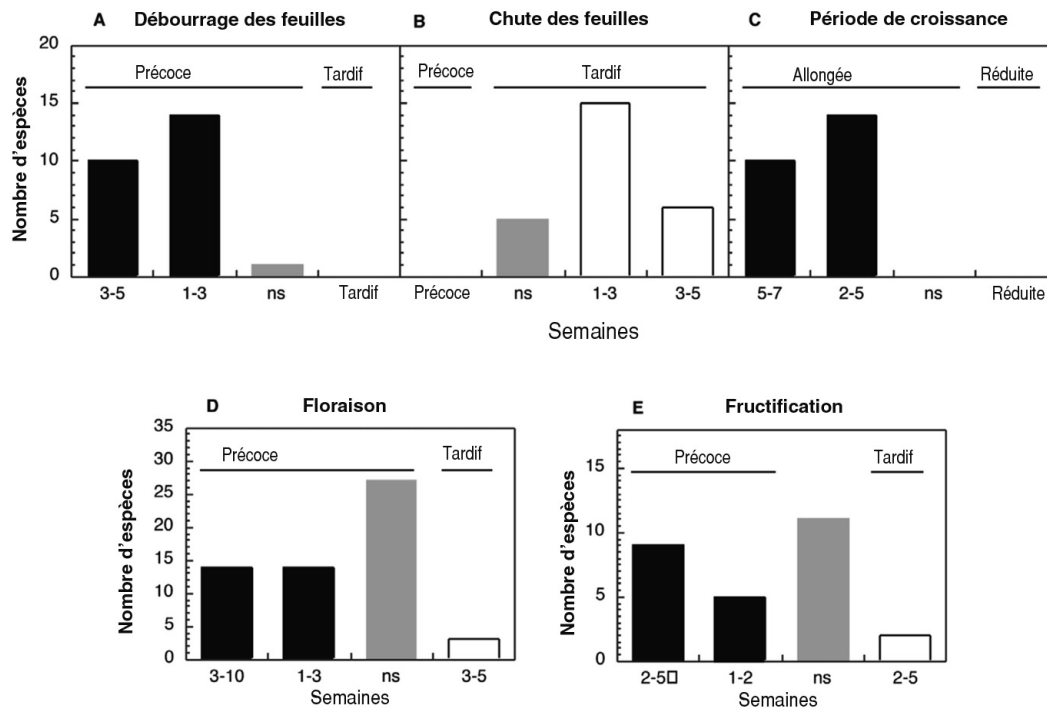


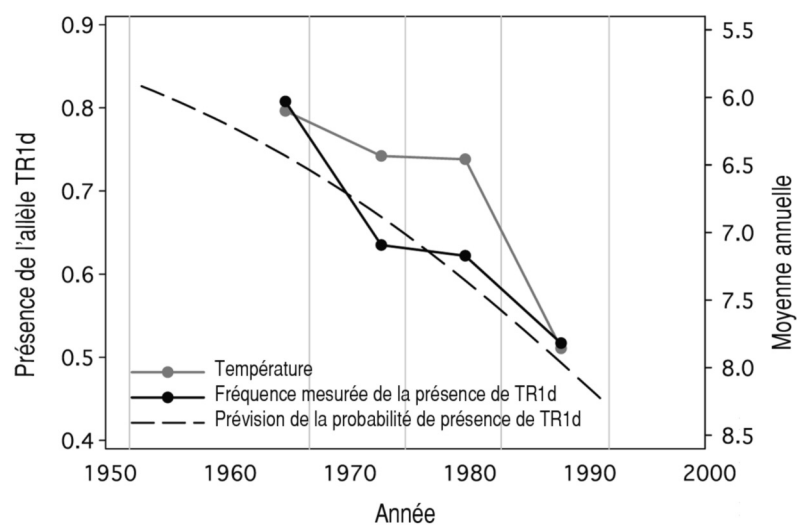
Fig. 2 (ci-contre) : Changements phénologiques dans une localité de l'ouest méditerranéen (Cardedeu, Catalogne, NE de l'Espagne) dans les cinq dernières décennies du 20^e siècle. Source Peñuelas et al. 2002

méditerranéennes ces dernières années peuvent être associés à un épuisement des réserves de carbohydrates qui peuvent être consommées sur une période de 3 à 4 années consécutives de sécheresse, bien qu'il y ait encore débat pour savoir s'il y a d'autres facteurs tels que la cavitation des xylèmes qui peut jouer, ou non, un rôle plus important. La plupart des attaques de ravageurs peuvent être la conséquence de cet affaiblissement des arbres sans pour autant être à l'origine du dépérissement. Il est aussi vrai que, dans beaucoup de cas, bien que les ravageurs n'aient pas initié le dépérissement, ils peuvent être la cause principale de la mort de l'arbre. La sécheresse affaiblit l'arbre, la concentration en agents pathogènes augmente et tue l'arbre, même si la sécheresse en est la responsable initiale.

Comme chaque espèce répond à sa manière au changement climatique, leurs interactions avec d'autres organismes et avec l'environnement physico-chimique, changent aussi en conséquence. Tout cela génère une cascade d'impacts au sein de l'écosystème. Ces impacts incluent la diffusion de certaines espèces dans de nouveaux espaces, et la disparition de certaines autres. En région méditerranéenne, il y a déjà des observations et des expériences significatives démontrant les premiers effets biologiques du change-

ment climatique. Dans les dernières décennies, une augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les plantes a été décelée, et la composition génétique des populations a changé en réponse à la hausse des températures (Cf. Fig. 3). Mais malgré cela, la sécheresse persistante des dernières années a provoqué une défoliation (Cf. Fig. 4) et un ralentissement de la croissance des arbres (JUMP *et al.* 2006) dans beaucoup de régions méditerranéennes. Comme nous l'avons signalé plus haut, le printemps a

Fig. 3 (ci-dessous) : Changements parallèles entre le locus de réponse aux températures (TR1d) des hêtres et la température au cours de la régénération des forêts dans les montagnes de Montseny et dans les Pyrénées (Catalogne, NE de l'Espagne). Source Jump *et al.* 2006



avancé de plusieurs semaines par rapport aux décennies précédentes et les hivers arrivent plus tard, à tel point que la période végétative s'est allongée d'environ 4 jours par décennie au cours des 50 dernières années (Cf. Fig. 2), avec un impact fort sur les organismes vivants et sur l'environnement. De plus, certaines espèces ont évolué vers de plus hautes altitudes et latitudes au fur et à mesure de l'augmentation des températures et de la sécheresse (PEÑUELAS & BOADA 2003, PEÑUELAS *et al.* 2007, JUMP *et al.* 2009). Dans les cas les plus extrêmes, la viabilité décroissante des habitats du fait du changement climatique agit en combinaison avec des évolutions dans l'utilisation des sols, de sorte que la fragmentation du milieu empêche les migrations, menaçant les populations d'extinction.

Les différentes réponses de chaque espèce altèrent leurs compétitivités et, pour finir, la composition-même des communautés. Par exemple, une baisse de la diversité d'espèces est observée dans des expériences de terrain qui simulent la chaleur et la sécheresse prévues pour les prochaines décennies (Cf. Fig. 5). Le type méditerranéen du Post-Pliocène semble mieux apte à répondre à un environnement difficilement prévisible avec une grande amplitude saisonnière, une variabilité interannuelle importante, et sujet à des perturbations fréquentes (PEÑUELAS *et al.* 2001). Ces études expérimentales montrent aussi que les conditions sèches prévues pour les décennies à venir exercent un impact négatif sur la diversité bactériologique des sols, et que la décomposition de la matière organique et sa capacité à répondre à des températures plus élevées sera contrôlée par des groupes résistants à la sécheresse tels que les communautés de champignons (YUSTE *et al.* 2010).

Ces changements dans la composition des communautés de plantes, d'animaux et de microbes ont été accompagnés par de nom-

breux changements fonctionnels. On constate des diminutions dans l'activité enzymatique du sol, le recyclage des nutriments, l'accumulation de phosphore dans les forêts, et de l'absorption de CO₂ dans les tissus des plantes, en réponse aux sécheresses, mais également des pertes de nutriments accrues par lessivage après les pluies, et une augmentation de l'émission biogénique de composés organiques volatils (COV) en réponse au réchauffement. Ces changements génèrent, à leur tour, d'autres changements en cascade. Par exemple, l'augmentation des COV altère la communication entre les êtres vivants, et affecte le climat et la composition chimique de l'atmosphère (PEÑUELAS & STAUDT 2010).

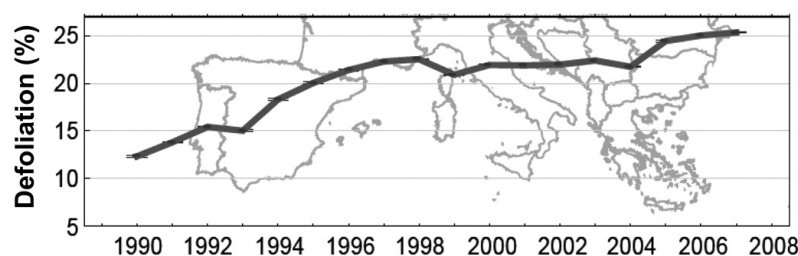
Rétroactions et services des écosystèmes

Les changements biologiques générés par le changement climatique ont, à leur tour, des effets significatifs sur le changement climatique lui-même, au travers des processus biogéochimiques et biophysiques (PEÑUELAS *et al.* 2009 ; Cf. Fig. 6). Parmi ces derniers, on trouve un taux de fixation du carbone altéré, ce qui signifie une altération du stockage de CO₂ atmosphérique, et l'émission biogénique de COV avec de multiples effets sur le climat. Comme pour les effets biophysiques, les changements dans l'activité et la structure de la végétation, provoqués par le changement climatique, semblent spécialement importants dès lors qu'ils influent sur l'albédo, les turbulences et la chaleur latente et sensible, tout ceci requérant des études chiffrées plus détaillées.

Tous ces changements affectent des services de type productifs (approvisionnement en produits naturels renouvelables comme le bois, les champignons, les plantes médicinales, des aliments...), environnementaux (entretien de la biodiversité, régulation de la composition atmosphérique, du cycle hydrogéologique et climatique, protection des sols contre l'érosion, stockage de carbone...) et sociaux (récréatif, éducatif et instructif, valeurs culturelles et traditionnelles, tourisme...) fournis par les écosystèmes terrestres.

Un des services liés au changement climatique est la fixation de CO₂. Les réponses au changement climatique et aux autres fac-

Fig. 4 (ci-dessous) :
Défoliation croissante des forêts méditerranéennes dans les deux dernières décennies.
Par Carnicer *et al.* 2010



teurs des changements globaux vont altérer le stockage de carbone dans les écosystèmes terrestres, mais l'étendue et l'orientation de ce changement ne sont pas claires. Quoiqu'il en soit, les sécheresses actuelles dans l'hémisphère Nord comme dans l'hémisphère Sud ont réduit le captage de carbone durant les deux dernières décennies (PEÑUELAS *et al.* 2010, ZHAO & RUNNING 2010).

Les stratégies multi-usages de gestion et de restauration des écosystèmes terrestres face aux perturbations climatiques requièrent un gros effort de recherche, d'éducation et de gouvernance. Dans les années à venir, les politiques et la gestion des reboisements de friches agricoles devraient prendre en compte les changements en cours et les conditions prévues à court terme. Parmi elles, la disponibilité décroissante de l'eau, du fait de la baisse des précipitations et/ou de la hausse de l'évapotranspiration apparaît comme la problématique la plus préoccupante.

Remerciements

Cette étude a été soutenue financièrement par le gouvernement Espagnol (CGL2006-04025/BOS, CGL2010-17172/BOS), par Consolider-Ingenio Montes (CSD2008-00040) et par le gouvernement de Catalogne (SGR 2009-458 and SGR 2009-1511).

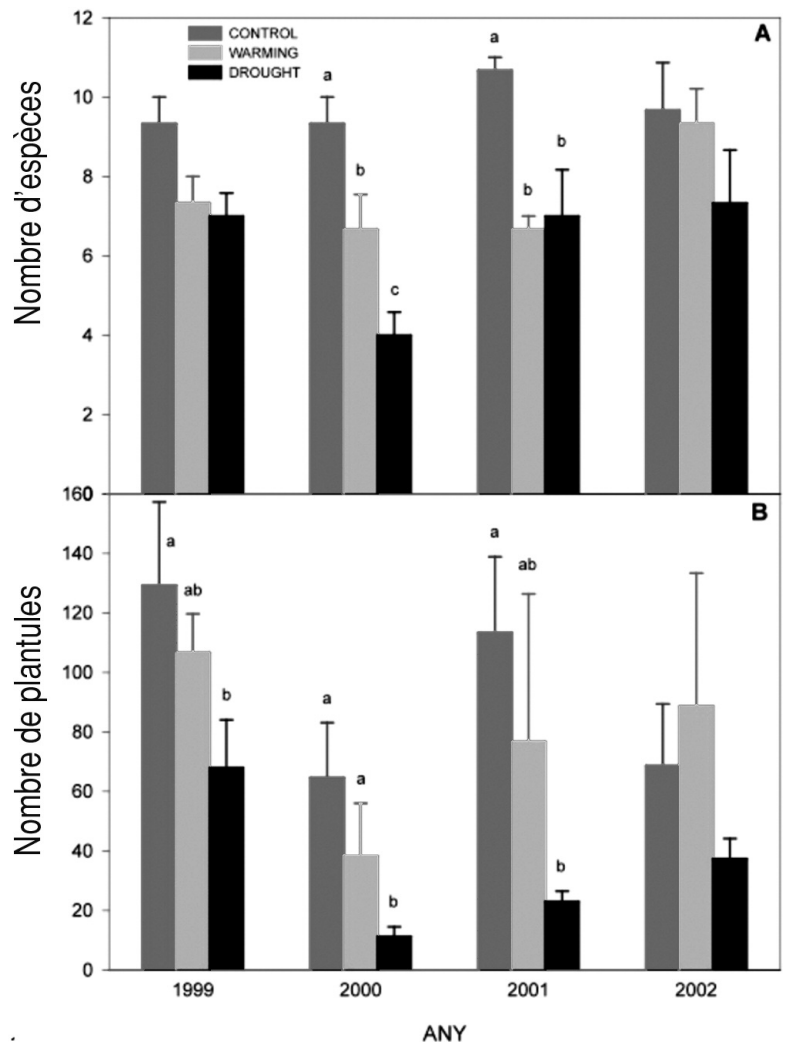


Fig. 5 (ci-dessus) : Baisse de la diversité d'espèces (A) et du nombre d'individus dans les semis naturels (B) dans une végétation arbustive soumise aux niveaux de sécheresse et de réchauffement projetés pour les deux prochaines décennies à Garraf (côte centrale de Catalogne, Espagne)
Par Lloret *et al.* 2004

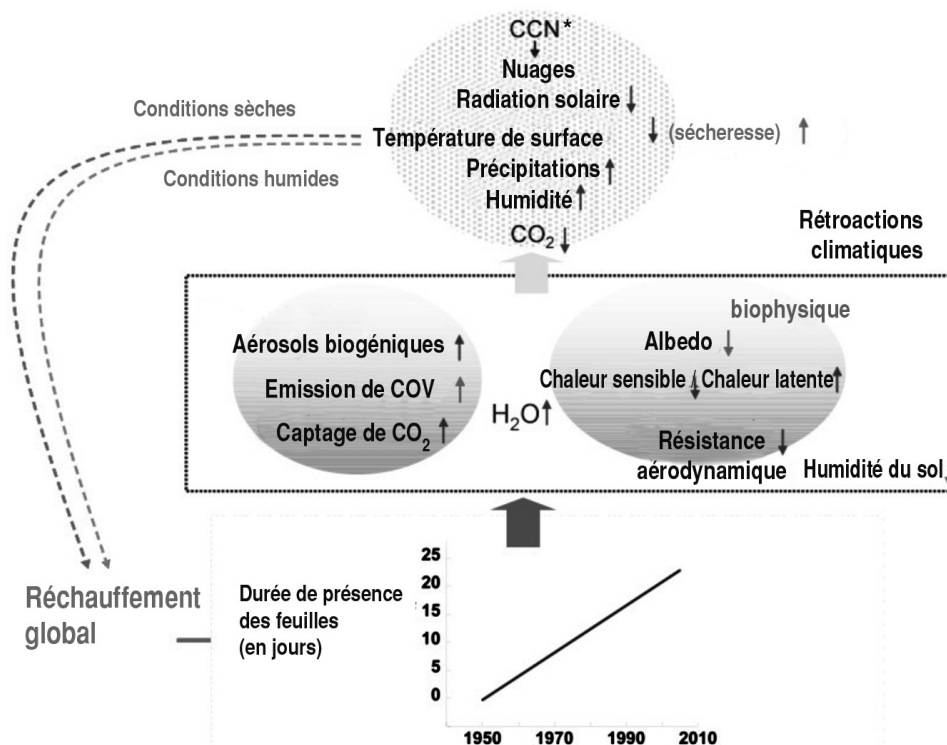


Fig. 6 (ci-contre) : Rétroactions climatiques des changements phénologiques.
A partir de Peñuelas *et al.* 2009.
* Noyaux de condensation de nuages.

Josep PEÑUELAS & al.
Unité d'écologie
générale
CREAF-CEAB-CSIC,
bâtiment C,
Université Autonome
de Barcelone,
08193 Bellaterra
Espagne
Email :
josep.penuelas@
uab.cat

Références

- CARNICER J, COLL M, NINYEROLA M, PONS X, SANCHEZ G, PEÑUELAS J. 2010. Widespread defoliation rates related to climate change related droughts. PNAS, in press
- CURIEL-YUSTE J, PEÑUELAS J, SARDANS J, ESTIARTE M, MATTANA S. 2010 Diversity of drought-resistant fungi control the temperature sensitivity of soil CO₂ exchange. *Global Change Biology*, in press.
- IPCC (2007) Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104
- JUMP A., HUNT J.M., MARTÍNEZ-IZQUIERDO J.A., PEÑUELAS J. 2006. Natural selection and climate change: temperature-linked spatial and temporal trends in gene frequency in *Fagus sylvatica*. *Molecular Ecology* 15: 3469-3480.
- JUMP A., MÁTYÁS C., PEÑUELAS J. 2009. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 694-701
- LLORET F., PEÑUELAS J., ESTIARTE M. 2004 Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community. *Global Change Biology* 10: 248-258.

- PEÑUELAS J., LLORET F., MONTOYA R. 2001. Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science*, 47(2): 214-218.
- PEÑUELAS J., FILELLA I., COMAS P. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952-2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 8: 531-544.
- PEÑUELAS J., BOADA M. 2003 A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global change Biology* 9(2): 131-140.
- PEÑUELAS J., OGAYA R., BOADA M., JUMP A. 2007. Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia. *Ecography* 30: 830-838.
- PEÑUELAS J., RUTISHAUSER T., FILELLA I. 2009. Phenology Feedbacks on Climate Change. *Science* 324: 887-888
- PEÑUELAS J., CANADELL J., OGAYA R. 2010 Increased water use efficiency in the last decades did not translate into increased tree growth. *Global Ecology and Biogeography* in press
- PEÑUELAS J., STAUDT M. 2010. BVOCs and global change. *Trends in Plant Science* 15: 133-144.
- ZHAO M., RUNNING S., 2010 Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2000 Through 2009. *Science*, 329 (5994): 940-943.

Résumé

Un nombre croissant de preuves des impacts biologiques du changement climatique est en train d'être mise à disposition au niveau des forêts méditerranéennes. Le printemps biologique arrive plus tôt, et l'hiver est retardé, à tel point que la période végétative a augmenté de 4 à 5 jours par décennie au cours des 40 dernières années, et la végétation méditerranéenne semble progresser vers le nord et en altitude dans nos montagnes. Beaucoup d'autres changements ont été observés dans les dernières décennies en réponse au changement climatique : des sécheresses plus sévères et plus fréquentes, des risques d'incendies accrus, une hausse des émissions biogéniques de composés organiques volatils dans nos écosystèmes... L'augmentation du réchauffement et la diminution des précipitations prévues pour les prochaines décennies, si elles se produisent, vont affecter la physiologie, la phénologie, la croissance, la reproduction, l'implantation, et finalement, la distribution des organismes, et par là-même, la structure et le fonctionnement de nos forêts. En fait, ceci a déjà été démontré par des études modélisant le réchauffement et l'assèchement, et où certaines espèces se sont révélées plus affectées que d'autres et ont présenté des capacités de résistance altérées. En fin de compte, la composition de la communauté a été modifiée. Il a été observé, par exemple, que la diversité d'arbustes a diminué en situation de réchauffement, et plus encore, en situation de sécheresse. En plus de ces changements structuraux, des changements fonctionnels ont été observés. L'un d'entre eux est la diminution de l'absorption de CO₂ suite à des épisodes secs ; un autre est la perte accrue de nutriments par lessivage après les pluies, en réponse au réchauffement. Ces changements affectent, et affecteront les multiples services productifs, environnementaux, et sociaux fournis par les écosystèmes terrestres. Par exemple, la fonction de puits de carbone de beaucoup de nos écosystèmes peut être sérieusement remise en cause au cours des prochaines décennies. Dans les prochaines années, les politiques de boisement de friches agricoles et de reboisement de zone dégradées devraient considérer les conditions prévues à court terme. Parmi elles, on trouve notamment la diminution de la disponibilité en eau, conséquence de la baisse des précipitations et/ou de l'augmentation de l'évapotranspiration, ainsi qu'une plus grande demande des écosystèmes qui sont plus actifs du fait de l'augmentation du taux de CO₂ et des températures. La gestion des espaces forestiers doit être envisagée à l'échelle du paysage, dans une planification qui prend en compte la combinaison de différents espaces, ainsi que la multiplicité de leurs usages et les effets des perturbations, comme par exemple des feux de forêt.

Introducing the climate change effects on Mediterranean forest ecosystems: observation, experimentation, simulation, and management

by Josep PEÑUELAS, Carlos GRACIA, Iolanda Filella ALISTAIR JUMP, Jofre CARNICER, Marta COLL, Francisco LLORET, Jorge Curiel YUSTE, Marc ESTIARTE, This RUTISHAUSER, Romà OGAYA, Joan LLUSIÀ & Jordi SARDANS

Current and projected climate change trends in the Mediterranean region

Although global temperature-change scenarios vary regionally, they show a clear trend towards a general warming. The temperature increment from 1850-1899 to 2001-2005 has been 0.76°C on a global scale; in some Mediterranean countries, however, the increment from 1971 to 2000 was 1.53°C, a much higher value than the 1.2°C predicted by the climate models. In addition, simulations of future climate scenarios (Fig. 1) tend to agree that higher greenhouse gases emission levels could produce a temperature increase higher than the global average value, further reduce precipitation (of up to 20%) and increase the interannual variability of both temperature and precipitation (floods, droughts and heat waves).

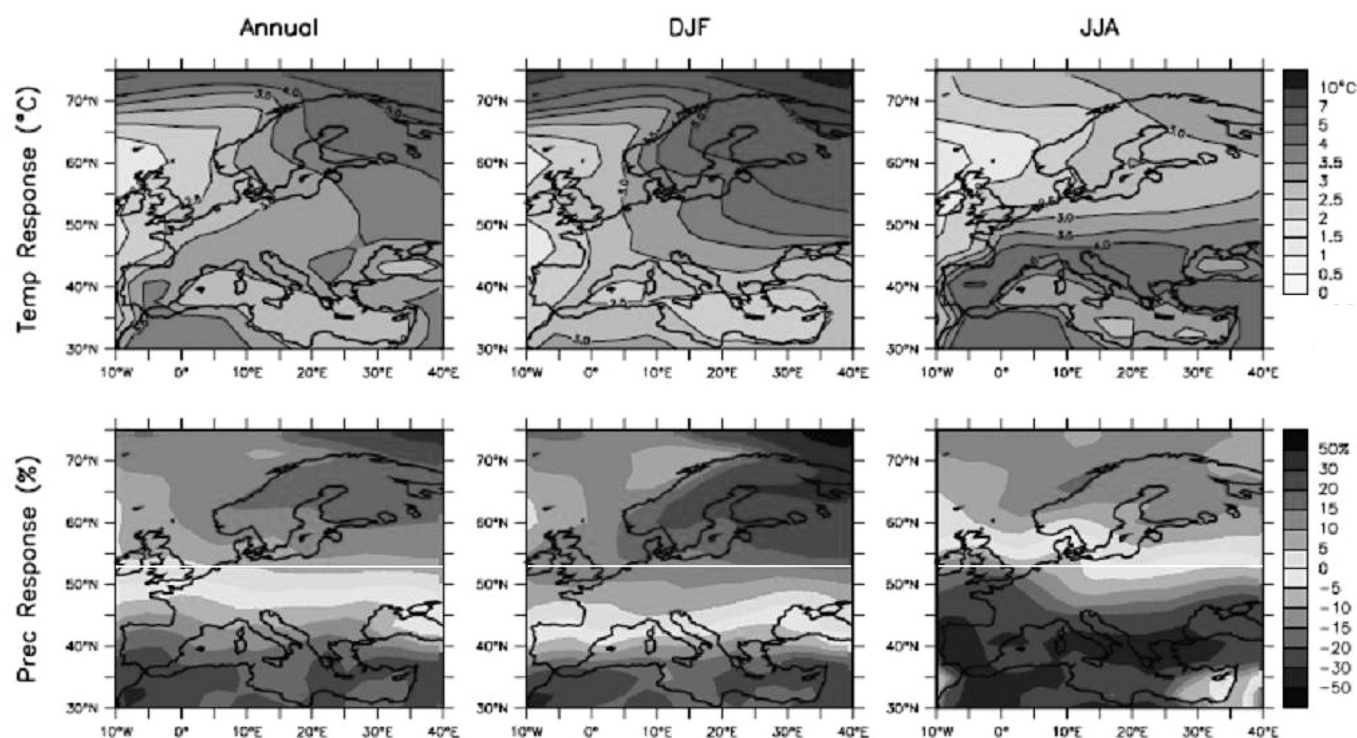


Fig. 1:
Simulated temperature
and precipitation changes
over Europe for the A1B
scenario.

Top row:
temperature change
between 1980 to 1999
and 2080 to 2099
averaged over 21 models;
annual mean;
winter (DJF);
summer (JJA).

Bottom row:
same as top,
but for fractional change
in precipitation.

Source: IPCC
4th assessment report
2007

Biological impacts of climate change in the frame of global change

If the combination of climate change, associated disturbances (floods, droughts, forest fires...) and changes in other components of global change (particularly changes in land use, pollution and overexploitation of resources) continues as in current years and decades, it can overcome the resilience of many ecosystems (their ability to adapt naturally) (IPCC 2007). It alters their structure and operation, and alters the services they currently provide. The effect of climate change will be influenced by interactions with these other components of global change and by the way we manage these issues.

Climate change is global, but the ecological impacts vary locally. The effects of climate change will be different in different climatic areas, with major effects of global warming in cold areas limited by energy, and most important effects of drought in arid and warmer areas such our Mediterranean region limited by water availability.

While simulation models like GOTILWA+ predict a dramatic decrease of soil water content in Mediterranean areas, recent studies predict an enlargement of the length of the growth period by 2080 of 50 days for the Mediterranean region. The growing season has already been enlarged by many days in the last decades (Fig. 2). This situation leads and further will lead to an increased demand for water parallel to a decrease of the water resources available for forest ecosystems.

In addition, higher temperatures will induce an exponential increase in the respiration rates of living tissues of trees, while photosynthetic responses to temperature are not expected to increase so much. This may result in a depletion of the reserves of mobile carbohydrates which are used by Mediterranean trees to overcome the dry summer periods. Some of the dieback episodes observed in Mediterranean forests in recent years could be associated with the exhaustion of carbohydrates reserves which can be consumed in periods of three to four consecutive dry years, although it is still controversial whether there are other factors such as xylem cavitation that can play a more important role or not. Most pest attacks

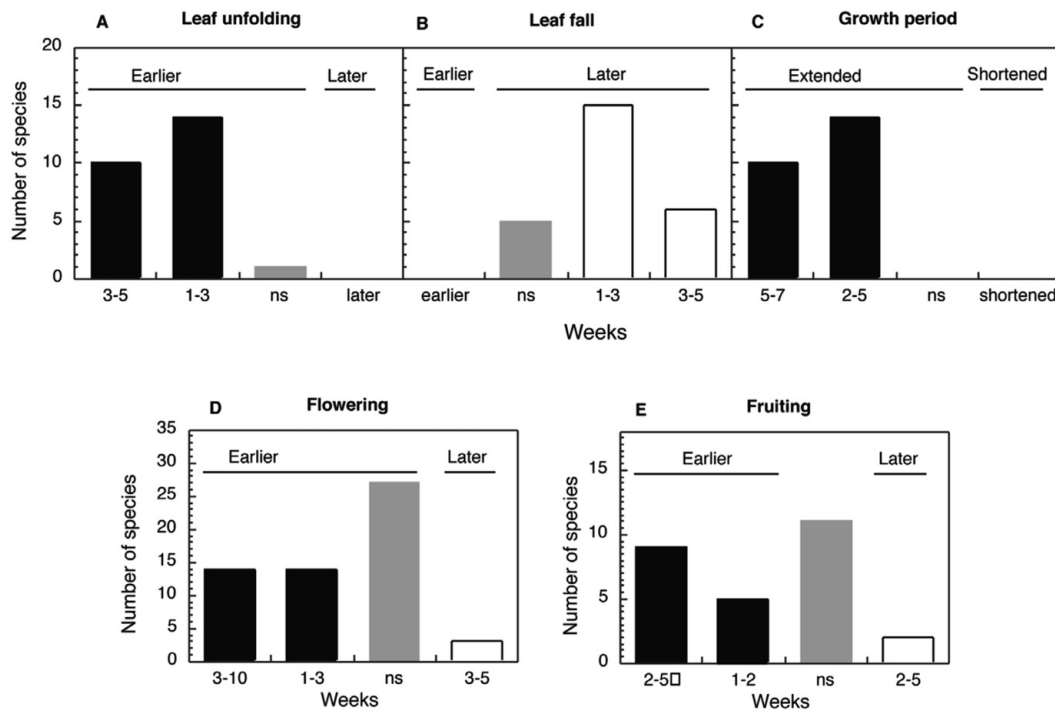


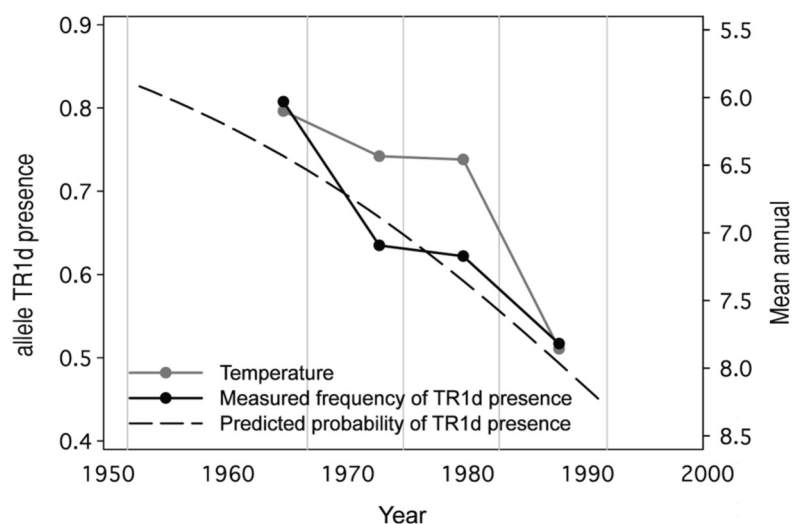
Fig. 2: Phenological changes in a western Mediterranean locality (Cardedeu, Catalonia, NE Spain) in the last five decades of 20th century. Source Peñuelas *et al* 2002

may be the consequence of this weakening of the trees and not always the origin of the dieback. It is also true that in many cases, although pests may not initiate dieback, they can be the main cause of death. Drought weakens the tree, pathogen load increases, and pathogens kill the tree, even though drought is ultimately responsible.

As each species responds specifically to climate change, their interactions with other organisms and the physicochemical environment also consequently change. All this generates a cascade of impacts throughout the ecosystem. These impacts include the spread of some species to new areas and the disappearance of others. In the Mediterranean region, there is already substantial observational and experimental evidence of the first biological effects of climate change. In recent decades, increased efficiency in water use by vegetation has been identified, and the genetic composition of populations has changed in response to rising temperatures (Fig. 3) but even so, the progressive drought in recent years has resulted in defoliation (Fig. 4) and slower growth of trees (JUMP *et al.* 2006) in many Mediterranean regions. As commented above, the spring has advanced several weeks relative to previous decades and winter comes later, so that the vegetative period has lasted about 4 days per decade during

the past fifty years (Fig. 2), with strong implications for living organisms and the environment. In addition, some species have moved to higher altitudes and latitudes as temperatures and drought impacts increase (PEÑUELAS and BOADA 2003, PEÑUELAS *et al.* 2007, JUMP *et al.* 2009). In the most extreme cases, decreased habitat suitability due to climate change acts in combination with land use change such that habitat fragmentation impedes migration and populations are threatened with extinction.

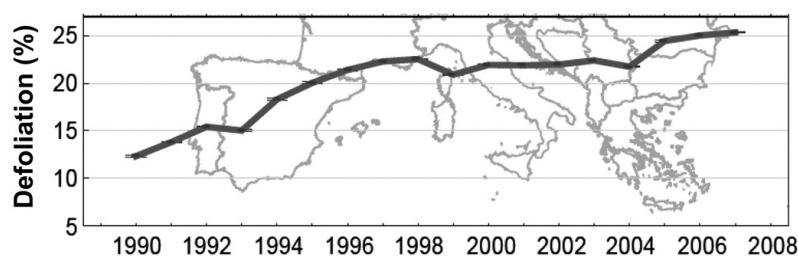
Fig. 3: Parallel changes of a temperature responsive locus of beech trees and temperature during recruitment in the Montseny Mountains and the Pyrenees (Catalonia, NE Spain). Source Jump *et al* 2006



The different responses of each species alter the competitive abilities and ultimately the community composition. For example, a decrease of species richness is observed in field experiments that simulate the heat and drought projected for the coming decades (Fig. 5). The post-Pliocene Mediterranean genera seem better suited to respond to an environment not easily predictable with a great seasonal and interannual variability and subject to frequent disturbances (PENUELAS *et al.* 2001). These experimental studies also show that the drought conditions predicted for the coming decades exert a negative impact on soil bacterial diversity, and that decomposition of organic material and their ability to respond to enhanced temperature will be controlled by drought-resistant functional groups, e.g. fungal community (YUSTE *et al.* 2010).

These changes on the species composition of plant, animal and microbial communities have been accompanied by numerous functional changes. There are decreases in the enzymatic activity of soil, the recycling nutrients, the phosphorus accumulated in the forests and the plant tissues absorption of CO₂ in response to droughts, increased losses of nutrients in leachates after the rains, and increases in the emissions of biogenic volatile organic compounds (BVOCs) in response to warming. And these changes generate other cascading changes, for example, these increases in BVOCs alter the communication between living organisms and also affect atmospheric chemistry and climate (PENUELAS and STAUDT 2010).

Fig. 4:
Increasing defoliation
of Mediterranean forests
in the last two decades.
From Carnicer *et al.* 2010



Feedbacks and ecosystem services

The biological changes generated by climate change, in turn, have significant effects on the climate change itself, both through biogeochemical processes and biophysical processes (PENUELAS *et al.* 2009; Fig. 6). Among the former, there is the altered carbon fixation, i.e. the altered sinks of atmospheric CO₂, and the emissions of volatile organic compounds with multiple effects on climate. As for the biophysical effects, the changes in activity and structure of vegetation caused by climate change seem especially important since they affect the albedo, the turbulence and the latent and sensible heat, all together warranting more detailed quantitative studies.

All these changes affect multiple productive (supply of renewable natural products such as wood, mushrooms, medicines, food...), environmental (biodiversity maintenance, regulation of atmospheric composition, the hydrological cycle and climate, soil protection against erosion, carbon...) and social (recreation, education and entertainment, traditional cultural values, tourism...) services provided by terrestrial ecosystems.

One of the services linked to climate change is the fixation of CO₂. Responses to climate change and other factors of global change will alter the carbon storage in terrestrial ecosystems, but the extent and direction of change are not clear. In any case, current droughts in both the northern and southern hemispheres are reducing the biosphere carbon uptake in the last two decades (PENUELAS *et al.* 2010, ZHAO and RUNNING 2010).

The multi-use strategies for the management and restoration of terrestrial ecosystems in front of climatic disturbances require a great effort of research, education, and government. In the coming years, policies and reforestation of abandoned agricultural areas management should take into account the changes occurring and the conditions predicted for the immediate future. Among these the declining availability of water both as a result of declining rainfall and / or increased potential evapotranspiration appears as the most crucial issue.

Acknowledgements

This study was supported by the Spanish Government grants CGL2006-04025/BOS, CGL2010-17172/BOS and Consolider-Ingenio Montes CSD2008-00040, and the Catalan Government grants SGR 2009-458 and SGR 2009-1511.

References

CARNICER J, COLL M, NINYEROLA M, PONS X, SANCHEZ G, PEÑUELAS J. 2010. Widespread defoliation rates related to climate change related droughts. PNAS, in press

CURIEL-YUSTE J, PEÑUELAS J, SARDANS J, ESTIARTE M, MATTANA S. 2010 Diversity of drought-resistant fungi control the temperature sensitivity of soil CO2 exchange. *Global Change Biology*, in press.

IPCC (2007) Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104

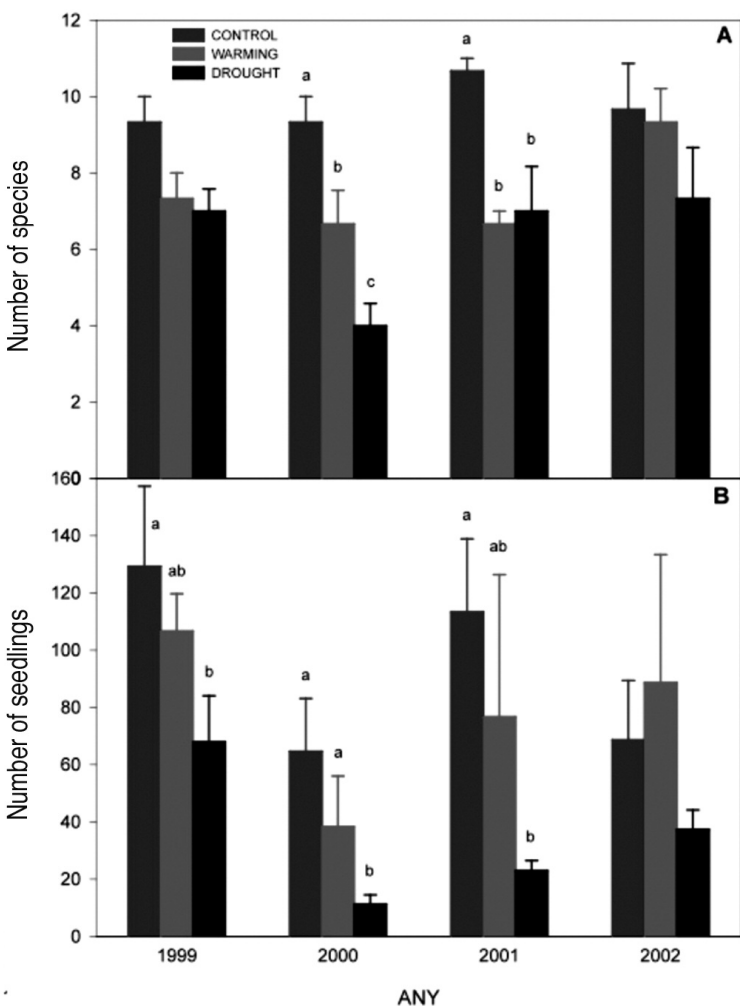


Fig. 5 (above): Decreased species richness (A) and individual number in seedlings (B) of a shrubland submitted to drought or warming projected for the next two decades in Garraf (central coast of Catalonia, NE Spain) From Lloret et al 2004

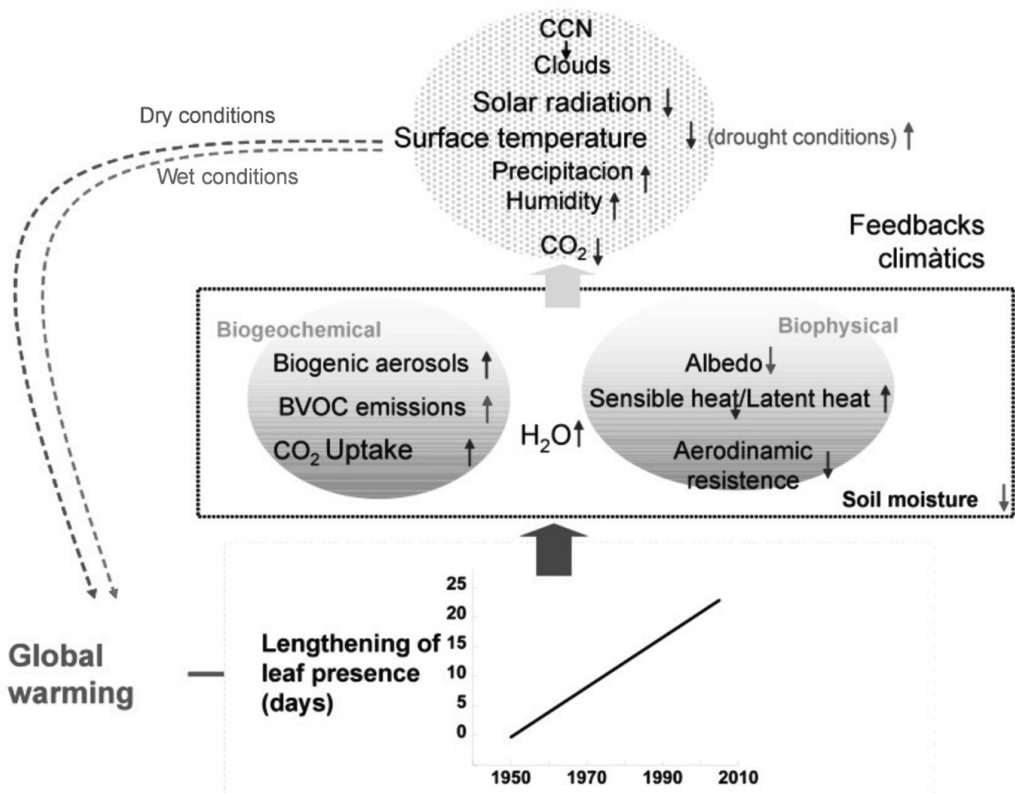


Fig. 6: Climatic feedbacks of vegetation phenological changes Based on Peñuelas et al 2009

- JUMP A., HUNT J.M., MARTÍNEZ-IZQUIERDO J.A., PEÑUELAS J. 2006. Natural selection and climate change: temperature-linked spatial and temporal trends in gene frequency in *Fagus sylvatica*. *Molecular Ecology* 15: 3469-3480.
- JUMP A., MÁTYÁS C., PEÑUELAS J. 2009. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 694-701
- LLORET F., PEÑUELAS J., ESTIARTE M. 2004. Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community. *Global Change Biology* 10: 248-258.
- PEÑUELAS J., LLORET F., MONTROYA R. 2001. Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science*, 47(2): 214-218.
- PEÑUELAS J., FILELLA I., COMAS P. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952-2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 8: 531-544.
- PEÑUELAS J., BOADA M. 2003 A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global change Biology* 9(2): 131-140.
- PEÑUELAS J., OGAYA R., BOADA M., JUMP A. 2007. Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia. *Ecography* 30: 830-838.
- PEÑUELAS J., RUTISHAUSER T., FILELLA I. 2009. Phenology Feedbacks on Climate Change. *Science* 324: 887-888
- PEÑUELAS J., CANADELL J., OGAYA R. 2010 Increased water use efficiency in the last decades did not translate into increased tree growth. *Global Ecology and Biogeography* in press
- PEÑUELAS J., STAUDT M. 2010. BVOCs and global change. *Trends in Plant Science* 15: 133-144.
- ZHAO M., RUNNING S., 2010 Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2000 Through 2009. *Science*, 329 (5994): 940-943.

Summary

An increasing number of observational evidences on the biological effects of climate change is becoming available in the Mediterranean forests. Biological spring is arriving earlier and winter arrival has been delayed, so that the vegetative period has extended about 4-5 days per decade during the last forty years, and the Mediterranean vegetation seems to move northwards and upwards in our mountains. Many other changes have been observed in the last decades in response to this climatic change: more frequent and severe droughts, greater fire risks, greater biogenic volatile organic compounds emissions from our ecosystems... The warming increase and the precipitation decrease forecasted for the next decades, if they occur, will affect the physiology, phenology, growth, reproduction, establishment and, finally, the distribution of organisms, and therefore the structure and functioning of our forests. In fact, it has been already verified in experimental studies simulating warming and drought, where some species have been found to be more affected than others and to present altered competitive ability. As a result, the composition of the community has been found to be modified. It has been observed, for example, that the diversity of shrublands has decreased in warming and especially in drought conditions. In addition to these structural changes, functional changes have also been observed. One of them is the diminution of the CO₂ absorption caused by the drought episodes; another is the greater loss of nutrients by leaching after rains in response to the warming. These changes affect and will affect the multiple productive, environmental and social services provided by the terrestrial ecosystems. For example, the role of many of our terrestrial ecosystems as carbon sinks can be seriously compromised during the next decades. In the next years, the policies of "afforestation" of abandoned agricultural areas and of "reforestation" of disturbed areas would have to consider the conditions that are projected for the immediate future. Among them, it stands out the decreasing water availability as a consequence of both the diminution of precipitations and/or the increase of the potential evapotranspiration, and the greater demand of ecosystems that are more active because of the increase of CO₂ and the temperature. The management of the forested areas has to be dealt with at the landscape scale, in a planning that considers the combination of different spaces, as well as their multiple uses and the effect of the disturbances, like for example forest fires.

Les pratiques sylvicoles peuvent-elles améliorer l'économie d'eau?

par Jerome K. VANCLAY

Quatre éléments sur les relations eau/forêt sont bien connus et font consensus, mais sont en contradiction avec l'idée souvent partagée que l'arbre utilise l'eau au détriment des captages d'eau (ex. DIJK & KEENAN 2007) :

- les arbres transpirent des quantités d'eau relativement importantes que l'on considère souvent comme "perdues" (FARLEY *et al.* 2005, JACKSON *et al.* 2005) ;
- les noyaux de condensation produits par les canopées forestières (O'DOWD *et al.* 2002, SPRACKLEN *et al.* 2008) signifie que les forêts peuvent jouer un rôle important dans la formation des nuages ;
- l'atmosphère retient relativement peu d'humidité (DUAN *et al.* 1996, TREGONING *et al.* 1998), établissant une limite à la quantité d'eau transpirée qui peut être retenue dans l'atmosphère ;
- la plupart de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère ne se déplace pas très loin avant de retourner sur la terre sous forme de précipitations (BOSILOVICH & CHERN 2006, FITZMAURICE 2007).

Les contradictions apparentes parmi ces quatre points conduisent à la question suivante : quel est le sort de toute l'eau qui est "perdue" par les arbres si celle-ci n'est pas retenue dans l'atmosphère, se déplace peu et a la capacité d'être condensée au dessus des forêts ? L'évapotranspiration est-elle une "perte" ou bien retourne-t-elle à proximité, au sol, sous forme de précipitations ? Ce sont des questions importantes, mais elles sont rarement posées parce que bien peu de chercheurs adoptent une vision large de l'écosystème incluant l'atmosphère, et une approche focalisée sur l'arbre en tant qu'individu, peut conduire à des conclusions différentes (et potentiellement contradictoires).

Une de ces visions réductrices et simplistes consisterait à considérer que l'utilisation d'eau dépend de l'âge de la plantation. Plusieurs méta-analyses ont illustré la relation entre l'utilisation d'eau et l'âge (ex., FARLEY 2005, JACKSON *et al.* 2005), et alors qu'une relation existe avec certitude, cela ne relève pas nécessairement d'une relation de causalité, mais peut simplement être la conséquence d'effets combinés avec d'autres paramètres tels que la surface foliaire, la hauteur de l'arbre ou la rugosité de la canopée (VANCLAY 2009). Certains diront que cette subtilité ne doit pas être prise en compte, puisque la corrélation avec l'âge est bien utile pour la prédiction, mais la distinction est d'une grande importance dans la pratique, parce que les gestionnaires forestiers peuvent changer ces derniers (par exemple, la surface foliaire, la rugosité du couvert) plus facilement que l'âge des plantations qui peut être contrainte par les enjeux de production forestière.

Le rapprochement entre utilisation de l'eau et modèles de croissance des arbres fondés sur l'âge, a fait croire à beaucoup de personnes qu'il y a une relation directe entre l'eau consommée et la production de bois, mais la quantité d'eau impliquée dans la photosynthèse reste faible et la plupart de l'eau utilisée par les arbres sert au transport des nutriments et au refroidissement de l'arbre. Une observation plus précise du développement des plantations suggère une meilleure explication par un rapprochement entre structure du couvert (rugosité/hétérogénéité) et utilisation de l'eau.

L'équation de Penman-Monteith propose une approche théorique alternative pour examiner l'utilisation de l'eau (IRMAK *et al.* 2005), en utilisant une méthode du bilan énergétique plutôt qu'une corrélation empirique. L'équation de Penman-Monteith révèle qu'une grande proportion de l'eau utilisée est transpirée les jours à faible humidité et de grand vent, et que l'utilisation potentielle d'eau est bien corrélée avec l'humidité relative, la vitesse du vent et la rugosité de la canopée (ou résistance aérodynamique). Les forestiers ne peuvent pas facilement contrôler l'humidité, mais peuvent par contre influencer la vitesse du vent et la rugosité du couvert. L'agriculture et l'horticulture se sont appuyées pendant des décennies sur la gestion du vent avec brise-vent (par exemple, CLEUGH 1998), et les mêmes principes peuvent être appliqués

pour créer des plantations économes en eau.

Un indice selon lequel l'utilisation d'eau peut être réduite par des brise-vent internes provient de modèles de gestion de l'eau dans les forêts naturelles d'eucalyptus dans lesquelles la structure du couvert varie considérablement entre les vieux peuplements irréguliers (présentant des arbres «brise-vent» et les repousses équiennes (sans brise-vent, par exemple, VERTESSY *et al.* 1998). Ainsi, il semble possible que des «brise-vent» internes à une plantation puissent conduire à une forêt économe en eau, comme c'est le cas des vieilles forêts. Le nombre et la disposition des arbres brise-vent nécessaires dans une plantation pour réduire la «soif» des arbres reste une question de recherche intéressante. La sélection attentive d'espèces peut être nécessaire pour assurer des économies d'eau en complément de la disposition de brise-vent intérieurs, et en s'assurant que cela ne déplace pas le problème vers un autre. Les espèces diffèrent considérablement dans leur capacité à contrôler les stomates, avec certaines espèces présentant un équilibre hydrique très frugal, tandis que d'autres restent à la merci des éléments (JONES 1998, WHITEHEAD et BEADLE 2004).

Il est prouvé que les peuplements d'essences mixtes offrent des avantages hydrologiques parmi d'autres. FORRESTER (2007, 2010) a signalé une plus grande efficacité productive (ratio de la transpiration/l'assimilation) dans les plantations d'espèces mixtes par rapport aux peuplements purs. Un peuplement d'*Acacia mearnsii* pur atteint 1406 (± 302) Ml/m , mais réduit à 882 (± 98) Ml/m quand il est mélangé avec *Eucalyptus globulus*. Il semble probable que les ports différents de ces deux espèces aient contribué à créer cet effet, comme l'eucalyptus a tendance à être haut et étroit, tandis que l'acacia a tendance à être plus court et plus large, offrant un avantage mutuel : l'eucalyptus, le plus grand, fournit un abri pour les acacias, et l'acacia, plante légumineuse, fournit de l'azote aux eucalyptus.

Un autre élément susceptible de modifier l'économie de l'eau à travers la structure de la canopée est la nature de la «couche limite» entre atmosphère et canopée, qui influence la façon dont l'air ambiant des arbres se mélange à l'atmosphère. Les plantations équiennes ont une couche limite très différente de celle des plantations d'espèces mixtes et des forêts anciennes, et cela se

reflète dans leur régime hydrique. La structure de la canopée est importante puisqu'elle affecte l'aérodynamique, en particulier la turbulence et la couche limite. Heureusement, il est relativement facile pour les gestionnaires forestiers de manipuler la structure de la canopée grâce à la sélection des espèces et des régimes d'éclaircie. Cependant, de nombreuses plantations sont relativement petites, et les effets de bordure sont importants (WUYTS *et al.* 2009). Il est clair que la transpiration improductive peut être réduite en adoucissant les bords des plantations grâce à l'élagage et à l'éclaircie, en évitant les interruptions inutiles dans la canopée, et probablement avec des haies pour créer des bordures plus aérodynamiques (VANCLAY 2009).

Les lecteurs ne doivent pas avoir l'impression qu'il est trop difficile et peu pratique de limiter la perte d'eau des plantations par la sylviculture. Bien qu'il reste un grand besoin de recherche dans ce domaine (VANCLAY 2009), des solutions pratiques existent, et les "meilleurs paris" peuvent être mis en œuvre immédiatement. Ces solutions ne sont pas universelles, et des approches réfléchies sont nécessaires pour adapter les espèces, les sites et la sylviculture aux résultats hydrologiques souhaités dans chaque cas particulier.

J.K.V.

Références

- Bosilovich, M.G. and J.-D. Chern, 2006. Simulation of water sources and precipitation recycling for the MacKenzie, Mississippi, and Amazon River Basins. *J. Hydrometeor.*, 7, 312–329.
- Cleugh, H.A., 1998. Effects of windbreaks on air-flow, microclimates and crop yields. *Agroforestry Systems* 41(1):55-84.
- Dijk, A.I.J.M.van, Keenan, R.J., 2007. Planted forests and water in perspective. *Forest Ecology and Management* 251:1-9.
- Duan, J., Bevis, M., Fang, P., Bock, Y., Chiswell, S., Businger, S., Rocken, C., Solheim, F., van Hove, T., Ware, R., McClusky, S., Herring, T.A. and King, R.W., 1996. GPS Meteorology: Direct estimation of the absolute value of precipitable water. *J. Appl. Meteor.*, 35, 830–838.
- Farley, K.A., E.G. Jobbágy and R.B. Jackson, 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy, *Global Change Biology* 11:1565–1576.
- Fitzmaurice, J.A., 2007. A critical analysis of bulk precipitation recycling models. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering.
- Forrester, D.I., 2007. Increasing water use efficiency using mixed species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia*. *The Forester* 50(1):20-21.
- Forrester, D.I., S. Theiveyanathanc, J.J. Collopya and N.E. Marcar, 2010. Enhanced water use efficiency in a mixed *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* plantation. *Forest Ecology and Management* 259:1761-1770.
- Irmak, S., Howell, T.A., Allen, R.G., Payero, J.O., Martin, D.L., 2005. Standardized ASCE Penman-Monteith: Impact of sum-of-hourly vs. 24-hour timestep computations at reference weather station sites. *Transactions of the ASAE* 48(3):1-15.
- Jackson, R.B., E.G. Jobbágy, R. Avissar, S.B. Roy, D.J. Barrett, C.W. Cook, K.A. Farley, D.C. le Maitre, B.A. McCarl and B.C. Murray, 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science* 310:1944–1947.
- Jones, H.G., 1998. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany* 49:387–398.
- O'Dowd, C.D., P. Aalto, K. Hmeri, M. Kulmala & T. Hoffmann, 200. Aerosol formation: Atmospheric particles from organic vapours. *Nature* 416, 497-498.
- Spracklen, D.V., K.S. Carslaw, M. Kulmala, V.-M. Kerminen, S.-L. Sihto, I. Riipinen, J. Merikanto, G.W. Mann, M.P. Chipperfield, A. Wiedensohler, W. Birmili, and H. Lihavainen, 2008. Contribution of particle formation to global cloud condensation nuclei concentrations. *Geophysical Research Letters*, 35:L06808, doi:10.1029/2007GL033038
- Tregoning, P., R. Boers, D. O'Brien and M. Hendy, 1998. Accuracy of absolute precipitable water vapor estimates from GPS observations, *J. Geophys. Res.*, 103, 28,701–28.
- Vanclay, J.K., 2009. Managing water use from plantations. *Forest Ecology and Management* 257:385-389.
- Vertessy, R., F. Watson, S. O'Sullivan, S. Davis, R. Campbell, R. Benyon and S. Haydon, 1998. Predicting water yield from mountain ash forest catchments. CRC Catchment Hydrology Industry Report 98/4, 46 pp.
- Whitehead, D., Beadle, C.L., 2004. Potential regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. *Forest Ecology and Management* 193:113-140.
- Wuyts, K., A. De Schrijver, F. Vermeiren and K. Verheyen, 2009. Gradual forest edges can mitigate edge effects on throughfall deposition if their size and shape are well considered. *Forest Ecology and Management* 257:679-687.

Jerome K. VANCLAY
D.Sc.For.
Professor of
Sustainable
Forestry Head
School of
Environmental
Science and
Management
Southern Cross
University
PO Box 157, Lismore
NSW 2480, Australia
Tél. +61 2 6620 3147
Fax +61 2 6621 2669
j.vanclay@bigpond.com

Can silvicultural treatments improve the water economy?

by Jerome K. VANCLAY

Four facts about water and forests are well-known and commonly accepted, but conflict with the commonly held view that trees use water to the detriment of water catchments (e.g., DIJK and KEENAN 2007):

- trees can transpire relatively large amounts of water, which is often considered “lost” (FARLEY *et al.* 2005, JACKSON *et al.* 2005);
- cloud condensation nuclei produced by forest canopies (O'DOWD *et al.* 2002, SPRACKLEN *et al.* 2008) mean that forests may be important in clouds formation;
- the atmosphere holds relatively little moisture (DUAN *et al.* 1996, TREGONING *et al.* 1998), setting a limit to the amount of transpired water than can be retained in the atmosphere;
- and most water vapour in the atmosphere does not travel far before it falls back to earth (BOSILOVICH and CHERN 2006, FITZMAURICE 2007).

The apparent contradictions amongst these four points pose the question: what is the fate all the water “lost” from trees if it is not retained in the atmosphere, doesn't travel far, and is likely to be condensed over forest? Is evapotranspiration “lost” or does it fall nearby as rain? These are important questions, but are infrequently addressed because relatively few researchers take a broad systems view that includes the atmosphere, and a narrower focus on individual trees can lead to a different (and potentially misleading) conclusion.

One such view that may be over-simplistic is the assumption that plantation water use is age-related. Several meta-analyses have illustrated a trend between water use and age (e.g., FARLEY 2005, JACKSON *et al.* 2005), and while such a correlation certainly exists, it is not necessarily causal and may merely be a proxy for other factors such as leaf area, tree height or canopy roughness (VANCLAY 2009). Some may argue that this subtlety doesn't matter, because the correlation with age may be useful for prediction, but the distinction is of practical importance, because forest managers can change the later (e.g., leaf area, canopy roughness) more readily than plantation age which may be constrained by the forest products that are to be produced.

The similarity between water use and age-based tree growth patterns convinces many people that the relation is causal and is related to water use in wood formation, but the water directly involved in photosynthesis is minor and most of the water used by trees is used to transport nutrients and cool the tree. Closer observation of plantation development suggests a better explanation may be offered by canopy structure (roughness) and water use.

The Penman-Monteith equation offers an alternative theoretical approach to examine water use (IRMAK *et al.* 2005), using an energy balance approach rather than an empirical correlation. The Penman-Monteith equation reveals that much of the water used is transpired on days with low humidity and high wind; and that potential water use is well-correlated with relative humidity, windspeed and canopy roughness (or aerodynamic resistance). Foresters cannot readily manage humidity, but can influence wind speed and canopy roughness. Agriculture and horticulture have relied for decades on management of wind with windbreaks (e.g., CLEUGH 1998), and the same principles can be applied to create water-wise plantations.

One clue that water use may be reduced by internal windbreaks comes from water use patterns in natural eucalypt forests in which canopy structure varies greatly between irregular old-growth (with "windbreak" trees) and even-aged regrowth (without windbreaks; e.g., VERTESSY *et al.* 1998). Thus it seems possible that internal "windbreaks" within a plantation could create a water-

wise forest more like old-growth forest. The number and layout of windbreaking trees required within a plantation to quench thirsty regrowth remains an interesting research question. Careful species selection may be needed to ensure water savings are achieved with internal windbreaks, and ensure that these do not merely simply swap one problem for another. Species differ greatly in their ability to control stomata, with some species maintaining a very frugal water balance, while others remain at the mercy of the elements (JONES 1998, WHITEHEAD and BEADLE 2004).

There is evidence that mixed-species stands offer hydrological as well as other benefits. FORRESTER (2007, 2010) reported greater production efficiency (ratio of transpiration:assimilation) in mixed species plantings compared with pure stands. Pure *Acacia mearnsii* achieved 1406 (± 302) ML/m^3 , but improved to 882 (± 98) ML/m^3 when mixed with *Eucalyptus globulus*. It seems likely that the different stature exhibited by these two species helped to create this effect, as the eucalypt tends to be tall and narrow, whereas the acacia tends to be shorter and broader, offering a mutual benefit: the taller eucalypts provide shelter for the acacia, and the leguminous acacias provide nitrogen for the eucalypts.

Another way to modify water use through the structure of the canopy is through the boundary layer that influences how the air near the trees mixes with the upper atmosphere. Even-aged plantations have a very different boundary layer than mixed-species plantations and old-growth forests, and this is reflected in their water use. Canopy texture is important, because it affects the aerodynamics, especially the turbulence and the boundary layer. Fortunately, it is relatively easy for forest managers to manipulate canopy texture through species selection and thinning regimes. However, many plantations are relatively small, and edge effects are important (WUYTS *et al.* 2009). It is clear that unproductive transpiration can be reduced by softening plantation edges through pruning and thinning, by avoiding unnecessary breaks in the canopy, and possibly with hedges to create more aerodynamic edges (VANCLAY 2009).

Readers should not develop the impression that it is too difficult and impractical to miti-

Jerome K. VANCLAY
D.Sc.For.
Professor of
Sustainable
Forestry Head
School of
Environmental Science
and Management
Southern Cross
University
PO Box 157, Lismore
NSW 2480, Australia
Tel +61 2 6620 3147
Fax +61 2 6621 2669
j.vanclay@bigpond.com

gate water loss from plantations through silviculture. Although there remains a great need for research in this area (VANCLAY 2009), practical solutions do exist, and “best bets” can be implemented immediately. These solutions are not universal, and thoughtful approaches are needed to adapt species, sites and silviculture to the hydrological outcomes desired in each specific case.

J.K.V.

References

- Bosilovich, M.G. and J.-D. Chern, 2006. Simulation of water sources and precipitation recycling for the MacKenzie, Mississippi, and Amazon River Basins. *J. Hydrometeor.* 7, 312–329.
- Cleugh, H.A., 1998. Effects of windbreaks on air-flow, microclimates and crop yields. *Agroforestry Systems* 41(1):55–84.
- Dijk, A.I.J.M.van, Keenan, R.J., 2007. Planted forests and water in perspective. *Forest Ecology and Management* 251:1–9.
- Duan, J., Bevis, M., Fang, P., Bock, Y., Chiswell, S., Businger, S., Rocken, C., Solheim, F., van Hove, T., Ware, R., McClusky, S., Herring, T.A. and King, R.W., 1996. GPS Meteorology: Direct estimation of the absolute value of precipitable water. *J. Appl. Meteor.*, 35, 830–838.
- Farley, K.A., E.G. Jobbágy and R.B. Jackson, 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology* 11:1565–1576.
- Fitzmaurice, J.A., 2007. A critical analysis of bulk precipitation recycling models. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering.
- Forrester, D.I., 2007. Increasing water use efficiency using mixed species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia*. *The Forester* 50(1):20–21.
- Forrester, D.I., S. Theiveyanathanc, J.J. Collopya and N.E. Marcar, 2010. Enhanced water use efficiency in a mixed *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* plantation. *Forest Ecology and Management* 259:1761–1770.
- Irmak, S., Howell, T.A., Allen, R.G., Payero, J.O., Martin, D.L., 2005. Standardized ASCE Penman-Monteith: Impact of sum-of-hourly vs. 24-hour timestep computations at reference weather station sites. *Transactions of the ASAE* 48(3):1–15.
- Jackson, R.B., E.G. Jobbágy, R. Avissar, S.B. Roy, D.J. Barrett, C.W. Cook, K.A. Farley, D.C. le Maitre, B.A. McCarl and B.C. Murray, 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science* 310:1944–1947.
- Jones, H.G., 1998. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany* 49:387–398.
- O'Dowd, C.D., P. Aalto, K. Hmeri, M. Kulmala & T. Hoffmann, 200. Aerosol formation: Atmospheric particles from organic vapours. *Nature* 416, 497–498.
- Spracklen, D.V., K.S. Carslaw, M. Kulmala, V.-M. Kerminen, S.-L. Sihto, I. Riipinen, J. Merikanto, G.W. Mann, M.P. Chipperfield, A. Wiedensohler, W. Birmili, and H. Lihavainen, 2008. Contribution of particle formation to global cloud condensation nuclei concentrations. *Geophysical Research Letters*, 35:L06808, doi:10.1029/2007GL033038
- Tregoning, P., R. Boers, D. O'Brien and M. Hendy, 1998. Accuracy of absolute precipitable water vapor estimates from GPS observations. *J. Geophys. Res.*, 103, 28,701–28.
- Vanclay, J.K., 2009. Managing water use from plantations. *Forest Ecology and Management* 257:385–389.
- Vertessy, R., F. Watson, S. O'Sullivan, S. Davis, R. Campbell, R. Benyon and S. Haydon, 1998. Predicting water yield from mountain ash forest catchments. CRC Catchment Hydrology Industry Report 98/4, 46 pp.
- Whitehead, D., Beadle, C.L., 2004. Potential regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. *Forest Ecology and Management* 193:113–140.
- Wuyts, K., A. De Schrijver, F. Vermeiren and K. Verheyen, 2009. Gradual forest edges can mitigate edge effects on throughfall deposition if their size and shape are well considered. *Forest Ecology and Management* 257:679–687.

Contributions de la recherche de gène-candidat pour la compréhension du rôle de la diversité génétique dans la réponse adaptative des conifères méditerranéens à la sécheresse

par Santiago C. GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, Delphine GRIVET
& Giovanni G. VENDRAMIN

Une caractéristique majeure du climat méditerranéen est l'existence de sécheresses saisonnières. Pour les arbres dont les graines germent au printemps ou au début de l'été, de graves sécheresses entraînent une forte mortalité aux premiers stades de développement et peuvent empêcher la régénération naturelle de la forêt ; les arbres adultes peuvent également mourir, en particulier lorsque les sécheresses sont récurrentes et aiguës, ce qui à son tour attire les ravageurs et les maladies, entraînant le dépérissement général de la forêt. En outre, un effet indirect de la sécheresse est l'augmentation de la taille, de l'intensité et de la fréquence des incendies de forêt, constituant l'une des principales menaces à la survie de la forêt méditerranéenne. Des expérimentations en arboretums (tests de provenances et tests combinés de provenances-descendances) ont montré une variation génétique notable quant à la réponse à la sécheresse pour les essences forestières au niveau de l'espèce, de la population et des individus, ainsi que des différences dans les mécanismes de réponse à la sécheresse (par exemple la production de biomasse par rapport à l'efficacité de l'utilisation de l'eau). Par exemple, des estimations issues d'études sur la variance additive pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) au niveau de la population et de la famille des pins méditerranéens ont montré un gradient phénotypique du pin d'Alep du sud au nord, une espèce xérique possédant une large distribution dans la région méditerranéenne (VOLTAS *et al.* 2008). De nouvelles approches fondées sur le séquençage d'ADN de

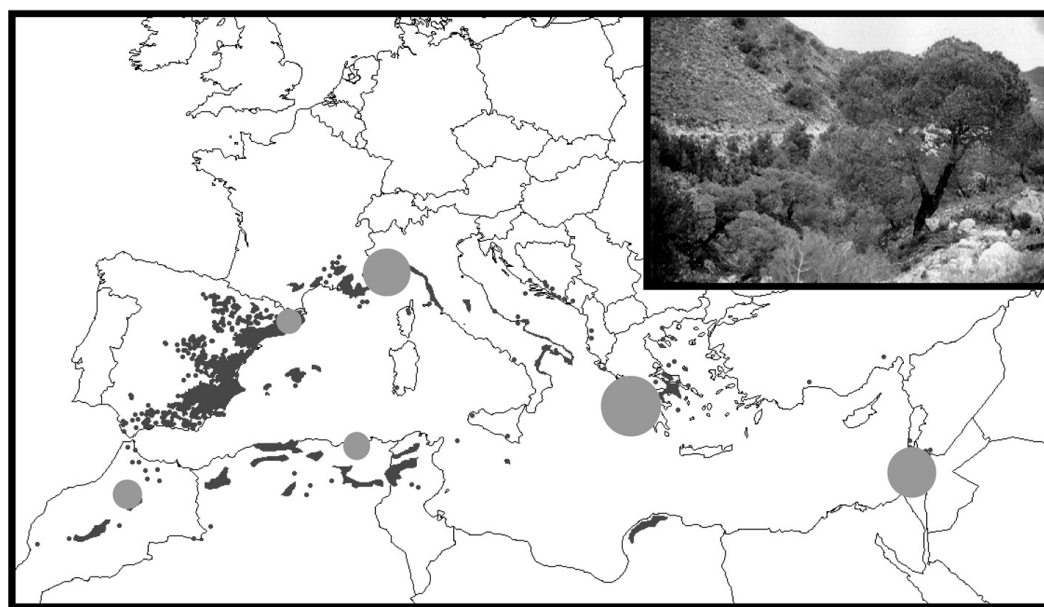
gènes-candidats (c'est-à-dire de gènes potentiellement impliqués dans l'expression d'un caractère d'intérêt) sont très prometteuses pour évaluer les niveaux de variation génétique adaptative des arbres forestiers méditerranéens. L'existence d'une diversité génétique des caractères liés à la sécheresse (et la variation moléculaire sous-jacente) est primordiale puisque l'adaptation repose essentiellement sur la variation génétique continue (et moins sur de nouvelles mutations). En outre, compte tenu de la rapidité du changement climatique attendu dans un proche avenir — en particulier dans le bassin méditerranéen où une diminution importante des précipitations et un réchauffement marqué sont prévus (GIORGI and LIONELLO 2008) — la capacité des arbres forestiers à opérer des changements génétiques rapides est d'une importance primordiale. Ce fait est d'autant plus vrai si l'on considère que les estimations récentes des taux de migration des arbres forestiers et de la vitesse du changement climatique indiquent que la plupart des arbres forestiers ne seront pas en mesure de migrer à la vitesse nécessaire pour suivre leur optimum écologique, la seule alternative restante étant soit de s'adapter in situ, soit de disparaître (PETIT *et al.* 2008 ; AITKEN *et al.* 2008).

Dans cet article, nous présentons un bref résumé de nos études de génétique des populations en cours sur les gènes-candidats à la réponse à la sécheresse de deux pins méditerranéens répandus, le pin maritime (*Pinus pinaster* Aiton) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). Le pin maritime est cantonné à la Méditerranée occidentale, ses populations naturelles méridionales atteignant le Haut-Atlas au Maroc. Trois principaux groupes de

gènes ont été identifiés chez cette espèce sur la base de marqueurs moléculaires neutres (BURBAN & PETIT 2003 ; BUCCI *et al.* 2008) : un groupe occidental (la plupart de la péninsule ibérique et l'ouest de la France), un groupe oriental (Corse, France méditerranéenne, Italie et Tunisie) et, curieusement, un autre groupe composé par des populations hautement différenciées provenant du Maroc. Les preuves fossiles et l'inférence phylogénétique ont montré que cette espèce a une présence historique dans la Méditerranée occidentale, en particulier dans la péninsule ibérique (JARAMILLO-CORREA *et al.* 2010). Le pin d'Alep, au contraire, semble être un colonisateur récent de la Méditerranée occidentale, ce qui peut avoir des conséquences importantes pour son adaptabilité au sein de cet espace puisque sa colonisation a été accompagnée d'une réduction substantielle de sa variabilité génétique (voir ci-dessous). Pourtant, cette espèce dispose toujours d'une diversité génétique importante au sein de sa population native de l'Est (principalement en Grèce et, plus marginalement, en Turquie).

La disponibilité croissante de ressources génomiques d'espèces de conifères permet le développement d'approches fondées sur le séquençage des gènes-candidats, malgré la grande taille du génome de ces espèces (environ sept fois le génome humain). Actuellement, différentes initiatives américaines et européennes ont été lancées pour obtenir la première séquence complète d'un génome de conifère. Notre approche est basée sur la sélection de gènes-candidats pour des caractères adaptatifs pertinents, dans notre cas sur la réponse ou la tolérance à la sécheresse. Dans les études sur

Fig. 1 :
Carte de répartition de *P. halepensis* (gracieusement fournie par EUFORGEN, le programme européen de conservation des ressources génétiques forestières) et la diversité moyenne des nucléotides (estimée par π , la différence moyenne intrapopulationnelle par paire parmi les séquences) de dix gènes-candidats de réponse à la sécheresse (la taille des disques est proportionnelle au niveau de diversité nucléotidique).



les pins rapportées ici (voir les détails dans GRIVET *et al.* 2009, 2010 et JARAMILLO-CORREA *et al.* 2010), nous nous sommes concentrés sur les familles de gènes qui sont connues pour être sur-exprimées au cours de la sécheresse et de la phase ultérieure de récupération (tels que différentes déhydrines), ainsi que sur certains gènes ayant des rôles majeurs dans les mécanismes généraux de réponse au stress (comme le 4-coumarate : CoA ligase, 4CL, gène). Ces gènes ont aussi des liens fonctionnels avec les mécanismes globaux de réponse à la sécheresse qui ont été étudiés pour des espèces modèles, notamment chez *Arabidopsis* et différentes espèces cultivées. Par exemple, les déhydrines agissent comme des stabilisateurs de structure ayant des propriétés de protéine-chaperon chez plusieurs espèces de plantes (CLOSE 1997). Après la sélection d'un ensemble de gènes pertinents, nous avons tâché d'obtenir un échantillon de séquences au niveau de la population (typiquement, dix méga-gamétophytes, le tissu haploïde des graines de pin, ont été séquencés pour chaque population) couvrant toute la gamme de l'espèce et de populations cibles. Par exemple, 77 à 122 individus (selon le gène) ont été séquencés chez le pin maritime, incluant les populations de la côte humide atlantique (1235 mm de précipitations annuelles) et les populations des zones arides dans le sud de l'Espagne (357 mm de précipitations annuelles). Enfin, une série de tests de neutralité de nouvelle génération a été effectuée (tels que les tests composés de Zeng, ZENG *et al.* 2007) pour détecter les signatures de la sélection intervenant à différentes échelles temporelles ; nous avons aussi cherché des corrélations entre les fréquences d'allèle/haplotype

dans les gènes-candidats et les variables climatiques sous l'hypothèse que ces corrélations pourraient dévoiler les gènes qui sous-tendent l'adaptation aux variations des facteurs environnementaux.

Les niveaux de diversité en nucléotides dans les gènes-candidats de réponse à la sécheresse étaient plus élevés dans *P. pinaster* que dans *P. halepensis*, malgré son étroite répartition en région méditerranéenne. Des différences au sein des espèces se sont aussi révélées dans la distribution d'haplotype pour chaque espèce, avec *P. pinaster* qui montre beaucoup d'haplotypes différents à des fréquences similaires, et *P. halepensis* qui montre moins d'haplotypes avec seulement un seul qui est commun, quasiment figé. Les faibles niveaux de diversité en nucléotides chez le pin d'Alep sont davantage notables dans l'ouest de son aire de répartition (Cf. Fig. 1 et GRIVET *et al.* 2009) où la plupart des gènes étaient figés ou presque figés pour des haplotypes particuliers (Cf. Fig. 2), une conséquence probable de la vaste colonisation de la Méditerranée occidentale par d'anciennes populations de pins d'Alep de Grèce et de Turquie, et un impact plus important des glaciations dans cette frange de l'espèce. Des analyses moléculaires ont aussi révélé un goulot d'étranglement intense et relativement récent chez le pin d'Alep, ainsi qu'une division entre les populations Nord-Africaines et Ibériques des espèces bien antérieure au dernier maximum glaciaire, bien que pas aussi ancienne que celle estimée pour le pin maritime (JARAMILLO-CORREA *et al.* 2010). Au contraire, le pin maritime semble abriter une diversité abondante de ces gènes, grâce à une démographie plus stable. D'autre part, à cause de sa



Fig. 2 :
Distribution des haplotypes du gène-candidat dh1 superposé sur la carte de répartition de *P. halepensis*. La faible diversité de ce gène dans la région occidentale est remarquable.

Santiago C.
GONZÁLEZ-MARTÍNEZ
Delphine GRIVET
Unité d'écologie et de
génétique forestières,
Centre de recherche
forestière (CIFOR),
INIA, Madrid
(Espagne)
Mél : santiago@inia.es

Giovanni G.
VENDRAMIN
Institut de Génétique
des Plantes,
Division de Florence,
Comité national
de recherche, Sesto
Fiorentino, Florence
Italie

distribution davantage mésique, une hétérogénéité environnementale plus grande (de l'aride à l'humide) aurait résulté en des pressions sélectives contrastées de nature à augmenter le niveau général de diversité au niveau des gènes-candidats.

La réponse à la sécheresse est un trait extrêmement complexe, car les arbres forestiers utilisent des stratégies très différentes pour affronter la sécheresse. De plus, les réponses à la sécheresse font appel à plusieurs processus métaboliques interférents et pas complètement connus. Cette flagrante nature "polygénique" de la réponse à la sécheresse laisse supposer que seuls quelques gènes ont un rôle majeur, alors que la plupart des processus liés à la sécheresse seraient contrôlés par un nombre important de gènes ayant un rôle mineur, et par leurs interactions. L'étude exhaustive d'un gène-candidat relatif aux traits de sécheresse est encore manquante pour la plupart des essences forestières, mais, à en juger par d'autres caractères mieux connus, des polymorphismes dans les gènes-candidats avec des effets phénotypiques supérieurs à 5% de la variance du trait demeurerait rares (voir, par exemple, MARTÍNEZ *et al.* 2007 pour les traits de propriété du bois, ou HOLLIDAY *et al.* 2010 pour le débourrement et la tolérance au froid). Néanmoins, en utilisant un large champ de tests de neutralité, on a trouvé certains des gènes-candidats étudiés évoluant selon des schémas non neutres. Curieusement, deux d'entre-eux ont montré des corrélations statistiques avec les variables de température, en particulier avec des températures extrêmement élevées ou basses, et pourraient constituer des outils de grande valeur pour le suivi de la diversité génétique adaptative chez ces deux pins méditerranéens.

Conclusions

Bien que, jusqu'à présent, la découverte de la variation adaptative au niveau moléculaire (c'est-à-dire des marqueurs fonctionnels) ne progresse que lentement dans les espèces non-modèles, des premiers travaux comme celui présenté ici illustrent le grand potentiel de ces outils dans l'identification de populations propices pour la conservation génétique ainsi que des facteurs environnementaux favorisant l'adaptation des arbres forestiers. Ces approches sont également très prometteuses pour la prédiction du phénotype dans les programmes d'amélioration et les plantations. Dans l'avenir, il est prévu que les techniques moléculaires basées sur des polymorphismes de

gènes-candidats seront utilisés pour surveiller les changements dans la composition génétique des populations à travers le temps et l'espace, et pour évaluer la réponse génétique des arbres forestiers aux futurs changements climatiques et environnementaux.

S.G.M., D.G., G.V.

Références

- Aitken SN, Yeaman S, Holliday JA, Wang T, Curtis-McLane S. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1: 95-111.
- Bucci G, González-Martínez SC, Le Provost G, Plomion C, Ribeiro MM, Sebastiani F, Alía R, Vendramin GG. 2007. Range-wide phylogeography and gene zones in *Pinus pinaster* Ait. revealed by chloroplast microsatellite markers. *Mol. Ecol.* 16: 2137-2153.
- Burban C, Petit RJ. 2003. Phylogeography of maritime pine inferred with organelle markers having contrasted inheritance. *Mol. Ecol.* 12: 1487-1495.
- Close T. 1997. Dehydrins: a commonality in the response of plants to dehydration and low temperature. *Physiol. Plant.* 100: 291-296.
- Giorgi F, Lionello P. 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Glob. Planet. Change* 63: 90-104.
- González-Martínez SC, Wheeler NC, Ersoz E, Nelson CD, Neale DB. 2007. Association genetics in *Pinus taeda* L. I. Wood property traits. *Genetics* 175: 399-409.
- Grivet D, Sebastiani F, González-Martínez SC, Vendramin GG. 2009. Patterns of polymorphism resulting from long-range colonization in the Mediterranean conifer Aleppo pine. *New Phytol.* 184: 1016-1028.
- Grivet D, Sebastiani F, Alía R, Bataillon T, Torre S, Zabal-Aguirre M, Vendramin GG, González-Martínez SC. 2010. Molecular footprints of local adaptation in two Mediterranean conifers. *Molecular Biology and Evolution* (in press; doi: 10.1093/molbev/msq190).
- Holliday JA, Ritlan K, Aitken S. 2010. Widespread, ecologically relevant genetic markers developed from association mapping of climate-related traits in Sitka spruce (*Picea sitkensis*). *New Phytol.* 188: 501-514.
- Jaramillo-Correa JP, Grivet D, Terrab A, Kurt Y, de-Lucas AI, Wahid N, Vendramin GG, González-Martínez SC. 2010. The Strait of Gibraltar as a major biogeographic barrier in Mediterranean conifers: a comparative phylogeographic survey. *Mol. Ecol.* 19: 5452-5468.
- Petit RJ, Hu FS, Dick CW. 2008. Forests of the past: A window to future changes. *Science* 320: 1450-1452.
- Voltas J, Chambel M, Prada M, Ferrio J. 2008. Climate-related variability in carbon and oxygen stable isotopes among populations of Aleppo pine grown in common-garden tests. *Trees Struct. Funct.* 22: 759-769.
- Zeng K, Shi S, Wu CI. 2007. Compound tests for the detection of hitchhiking under positive selection. *Mol. Biol. Evol.* 24: 1898-1908.

Contributions of candidate-gene research to understanding the role of genetic diversity in the adaptive response of Mediterranean conifers to drought

Santiago C. GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, Delphine GRIVET
& Giovanni G. VENDRAMIN

One major feature of Mediterranean climates is the existence of seasonal drought. For those trees which seeds germinate in spring or early summer, severe droughts result in high mortality at early stages of development and may prevent natural regeneration of the forest; also adult trees may die, in particular when droughts are recurrent and acute, which in turn attracts pests and diseases, resulting in forest decline. Moreover, an indirect effect of drought is the increase in size, intensity and recurrence of forest fires, constituting one of the major threats to survival of Mediterranean forests. Common garden experiments (provenance tests and combined provenance-progeny tests) have shown notable genetic variation on drought response for forest trees at the species, population and individual levels, as well as differences in drought-response mechanisms (e.g. biomass allocation vs. water-use efficiency). For instance, studies reporting estimates of additive variance for water use efficiency (WUE) at the population and family level in Mediterranean pines have shown phenotypic clines from south to north in Aleppo pine, a xeric species with wide distribution in the Mediterranean (VOLTAS *et al.* 2008). New approaches based on DNA sequencing of candidate genes (i.e. genes potentially involved in the expression of a trait of interest) hold promise to evaluate the levels of

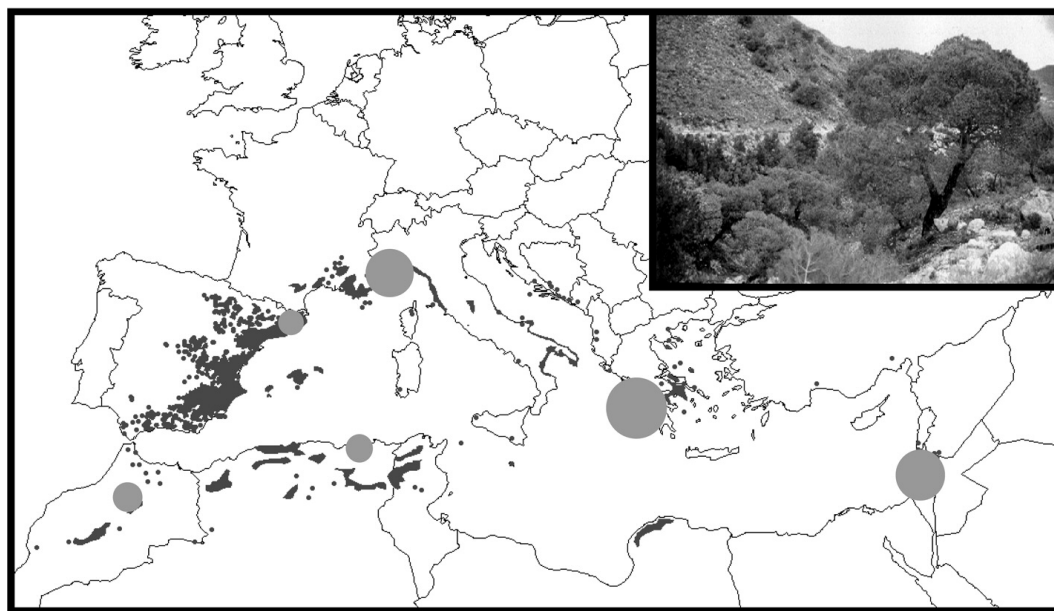
adaptive genetic variation present in Mediterranean forest trees. The existence of genetic diversity for drought-related traits (and the underlying molecular variation) is important as adaptation mostly relies on standing genetic variation (and less in new mutations). Moreover, given the rapid climate change expected in the near future — especially in the Mediterranean basin where a substantial decrease in precipitation and a pronounced warming is expected (GIORGI and LIONELLO 2008) — the ability of forest trees for short-term genetic change is of paramount importance. This fact is even more true if we consider that recent estimates of forest tree migration rates and climate change velocity suggest that most forest trees will not be able to migrate at the necessary speed to track ecological optima, the only other alternative left being either to adapt in situ or to go extinct (PETIT *et al.* 2008; AITKEN *et al.* 2008).

In this paper, we present a brief summary of our on-going population genetics studies on drought-response candidate genes for two widespread Mediterranean pines, the maritime (*Pinus pinaster* Aiton) and the Aleppo (*Pinus halepensis* Mill.) pines. Maritime (or cluster) pine is restricted to the Western Mediterranean, its southern natural populations reaching the High Atlas in Morocco. Three main gene pools have been identified in this species based on neutral molecular markers (BURBAN & PETIT 2003; BUCCI *et al.* 2008): a western group (most of the Iberian

Peninsula and western France), an eastern group (Corsica, Mediterranean France, Italy and Tunisia) and, curiously, an additional group composed by highly-differentiated populations from Morocco. Fossil evidence and phylogenetic inference have shown that this species has long-term presence in the western Mediterranean, in particular in the Iberian Peninsula (JARAMILLO-CORREA *et al.* 2010). Aleppo pine, on the contrary, seems to be a recent colonizer of the western Mediterranean, which may have important consequences for its adaptability within this range as colonization was accompanied by a substantial reduction of its genetic variation (see below). Still, this species harbors large amounts of genetic diversity within its eastern native distribution (mainly Greece and, more marginally, Turkey).

The increasing availability of genomic resources in conifer species makes approaches based on candidate gene sequencing appealing, despite the large genome size of these species (ca. seven times the human genome). Currently, different American and European initiatives have been launched to obtain the first complete sequence of a conifer genome. Our approach is based on the selection of candidate genes for relevant adaptive traits, in this case response or tolerance to drought. In the pine studies reported here (see details in GRIVET *et al.* 2009, 2010 and JARAMILLO-CORREA *et al.* 2010), we have focused on gene families that are known to be over-expressed during drought

Fig. 1: Distribution map of *P. halepensis* (kindly provided by EUFORGEN, the European program for Conservation of Forest Genetic Resources) along with the average nucleotide diversity (estimated by π , the within-population average pairwise difference across sequences) of ten drought-response candidate genes (the size of the circles is proportional to the level of nucleotide diversity).



stress and the subsequent recovery phase (such as different dehydrins) as well as some genes with major roles in more general pathways for stress response (such as 4-coumarate:CoA ligase, 4CL, gene). These genes have also some functional links with general drought responses that have been reported in model species, in particular *Arabidopsis* and different crops. For example, the dehydrins act as structural stabilizers with chaperone-like properties in several plant species (CLOSE 1997). Once a set of relevant genes is selected, we then proceeded to obtain a sample of sequences at the population level (typically, ten megagametophytes, the haploid tissue in pine seeds, are sequenced for each population) covering the full range of the species and targeting contrasted populations. For instance, 77 to 122 individuals (depending on the gene) were sequenced in maritime pine including populations from the humid coastal Atlantic range (1235 mm of annual rainfall) and the arid one in southern Spain (357 mm of annual rainfall). Finally, a series of new generation neutrality tests (such as Zeng's compound tests, ZENG *et al.* 2007) were performed to detect signatures of selection acting at different temporal scales; we also searched for correlations between allele/haplotype frequencies in candidate genes and climate variables under the assumption that such correlations may unveil genes underlying adaptation to environmental heterogeneity.

Higher levels of nucleotide diversity in candidate genes for drought response were present in *P. pinaster* than in *P. halepensis*, despite its narrower range in the Mediterranean. Differences across species were also reflected in the haplotype distribution for each tree species, with *P. pinaster* showing many different haplotypes at similar frequencies and *P. halepensis* showing fewer haplotypes with only one that is common or even fixed. The low levels of nucleotide diversity in Aleppo pine are more noticeable in its western distribution (see Figure 1 and GRIVET *et al.* 2009) where most genes were fixed or almost fixed for particular haplotypes (Figure 2), a probable consequence of long-range colonization of the Western Mediterranean from ancient Aleppo pine populations in Greece and Turkey and a more acute impact of the Ice Ages in this range of the species. Molecular analyses also revealed intense and relatively recent bottlenecks in Aleppo pine as well as a time of split between North-African and Iberian populations of the species well predating the Last Glacial Maximum albeit not as old as the one estimated for maritime pine (JARAMILLO-CORREA *et al.* 2010). In contrast, maritime pine seems to harbor large amounts of diversity for these genes due to a more stable demography; in addition, because of its more mesic distribution, higher environmental heterogeneity (from xeric to humid) would have resulted in



Fig. 2: Haplotype distribution of the candidate gene *dhnl1* superimposed on the distribution map of *P. halepensis*. Notice the low diversity for this gene in the western area.

Santiago C
GONZÁLEZ-MARTÍNEZ
Delphine GRIVET
Department of Forest
Ecology and Genetics,
Center of Forest
Research (CIFOR),
INIA, Madrid (Spain)
Email:
santiago@inia.es

Giovanni G.
VENDRAMIN
Plant Genetics
Institute, Division of
Florence, National
Research Council,
Sesto Fiorentino
Florence
Italy

contrasted selective pressures that may have increased general levels of diversity at candidate genes.

Drought response is a very complex trait, as forest trees use very different strategies to confront drought. In addition, response to drought involves several cross-talking and incompletely known metabolic pathways. This obvious "polygenic" nature of drought response predicts the existence of only few genes with major effects whereas most of the drought-related processes would be controlled by large amounts of genes with minor effects and their interactions. Extensive candidate gene dissection of drought traits is still lacking for most forest trees, but judging from other better-known traits, polymorphisms in candidate genes with phenotypic effects higher than 5% of the trait variance would be rare (see, for instance, GONZÁLEZ-MARTÍNEZ *et al.* 2007 for wood property traits or HOLLIDAY *et al.* 2010 for bud set and cold tolerance). Nevertheless, using a wide range of neutrality tests, we found some of the candidate genes studied to evolve in non-neutral patterns. Interestingly, two of them showed statistical correlation with temperature variables, in particular with extremely high or low temperatures, and may constitute valuable tools for monitoring adaptive genetic diversity in these two Mediterranean pines.

Conclusions

Although, so far, discovery of adaptive variation at the molecular level (i.e. functional markers) is progressing slowly in non-model species, early works as the one presented here show the great potential of these tools in detecting valuable populations for genetic conservation as well as the environmental drivers promoting adaptation in forest trees. The development of new high-throughput sequencing and genotyping techniques will facilitate in the near future the extension of candidate gene approaches to full-genome screens. Research based on functional markers also holds promise for phenotype prediction in breeding programs and operative plantations. In the future, it is expected that molecular techniques based on candidate gene polymorphisms will be used to monitor changes in genetic composition of populations through time and space, and for

the evaluation of the genetic response of forest trees to impending climate and environmental change.

S.G.M., D.G., G.V.

References

- Aitken SN, Yeaman S, Holliday JA, Wang T, Curtis-McLane S. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1: 95-111.
- Bucci G, González-Martínez SC, Le Provost G, Plomion C, Ribeiro MM, Sebastiani F, Alía R, Vendramin GG. 2007. Range-wide phylogeography and gene zones in *Pinus pinaster* Ait. revealed by chloroplast microsatellite markers. *Mol. Ecol.* 16: 2137-2153.
- Burban C, Petit RJ. 2003. Phylogeography of maritime pine inferred with organelle markers having contrasted inheritance. *Mol. Ecol.* 12: 1487-1495.
- Close T. 1997. Dehydrins: a commonality in the response of plants to dehydration and low temperature. *Physiol. Plant.* 100: 291-296.
- Giorgi F, Lionello P. 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Glob. Planet. Change* 63: 90-104.
- González-Martínez SC, Wheeler NC, Ersoz E, Nelson CD, Neale DB. 2007. Association genetics in *Pinus taeda* L. I. Wood property traits. *Genetics* 175: 399-409.
- Grivet D, Sebastiani F, González-Martínez SC, Vendramin GG. 2009. Patterns of polymorphism resulting from long-range colonization in the Mediterranean conifer Aleppo pine. *New Phytol.* 184: 1016-1028.
- Grivet D, Sebastiani F, Alía R, Bataillon T, Torre S, Zabal-Aguirre M, Vendramin GG, González-Martínez SC. 2010. Molecular footprints of local adaptation in two Mediterranean conifers. *Molecular Biology and Evolution* (in press; doi: 10.1093/molbev/msq190).
- Holliday JA, Ritlan K, Aitken S. 2010. Widespread, ecologically relevant genetic markers developed from association mapping of climate-related traits in Sitka spruce (*Picea sitchensis*). *New Phytol.* 188: 501-514.
- Jaramillo-Correa JP, Grivet D, Terrab A, Kurt Y, de-Lucas AI, Wahid N, Vendramin GG, González-Martínez SC. 2010. The Strait of Gibraltar as a major biogeographic barrier in Mediterranean conifers: a comparative phylogeographic survey. *Mol. Ecol.* 19: 5452-5468.
- Petit RJ, Hu FS, Dick CW. 2008. Forests of the past: A window to future changes. *Science* 320: 1450-1452.
- Voltas J, Chambel M, Prada M, Ferrio J. 2008. Climate-related variability in carbon and oxygen stable isotopes among populations of Aleppo pine grown in common-garden tests. *Trees Struct. Funct.* 22: 759-769.
- Zeng K, Shi S, Wu CI. 2007. Compound tests for the detection of hitchhiking under positive selection. *Mol. Biol. Evol.* 24: 1898-1908.

Populations d'insectes ravageurs et changement climatique dans les forêts du Bassin méditerranéen

par Andrea BATTISTI et Hervé JACTEL

Introduction

Les arbres forestiers constituent une composante importante de la flore méditerranéenne. Le nombre d'essences d'arbres y est plus important qu'en Europe Centrale (respectivement 100 et 30). Le genre *Quercus* regroupe à lui seul plus de 20 espèces dans la région (SCARASCIA-MUGNOZZA *et al.*, 2000). Le biome de la forêt méditerranéenne — environ 81 millions d'hectares — cumule 1,5% des forêts terrestres (FABBIO *et al.*, 2003). De plus, 80 à 90 % de ces types uniques de forêt sont concentrés dans la région méditerranéenne, le reste étant dispersé sur de petites surfaces en Australie, Afrique du Sud, Californie et Chili.

La zone est caractérisée par un climat méditerranéen rude et imprévisible, associé à des perturbations récurrentes liées aux incendies et au pâturage intensif, facteurs principaux de la transformation vers des zones boisées ouvertes. Plus récemment, le changement climatique constitue une perturbation à grande échelle, accroissant les phénomènes climatiques extrêmes, tels que des sécheresses estivales prolongées, des températures élevées et une grande variabilité des précipitations (SOLOMON *et al.*, 2007).

Effets du changement climatique sur les insectes ravageurs

Le changement climatique a été utilisé pour modéliser l'avenir des forêts dans le monde (ALFARO *et al.*, 2010). Différents types de conséquences peuvent être envisagées pour les populations végétales dont, en milieu méditerranéen, une diminution du nombre de taxons forestiers, car les conditions plus chaudes pourront causer l'extinction de certains d'entre eux, associés à une simplification des écosystèmes

forestiers. Des sécheresses plus fréquentes pourraient freiner la croissance des arbres, modifier leur physiologie, et éventuellement mener à d'amples phénomènes de mortalité (ALLEN *et al.*, 2010).

Effets directs du changement climatique sur les espèces d'insectes

Les effets du réchauffement global sur les organismes vivants sont désormais reconnus, du niveau des espèces comme au niveau des communautés, plus particulièrement sous la forme d'évolution de l'aire de répartition liée aux températures (WALTHER *et al.*, 2002 ; ROOT *et al.*, 2003). Etant donné que le nombre d'insectes par unité de surface est inversement proportionnel à la latitude et à l'altitude (SPEIGHT *et al.*, 2008), on pourrait considérer que des hausses de températures permettront la propagation d'espèces d'insectes vers le nord et en altitude, spécialement pour les espèces qui ont des aires de répartition larges comme c'est le cas de beaucoup de ravageurs des forêts. PARMESAN & YOHE (2003) ont fourni une estimation quantitative des impacts biologiques du changement climatique, à partir de données provenant de plusieurs types d'organismes, incluant les insectes. Cette analyse s'appuyait sur des données spatiales (évolution de l'aire de répartition), et phénologiques (avancement des événements printaniers), gagnant en moyenne respectivement 6,1 km et 2,3 jours par décennie. 80 % des espèces étudiées ($n = 434$) présentaient un changement significatif de leur aire de répartition et 87 % présentaient un avancement des événements printaniers tels que la floraison ou la migration. Ces insectes qui n'ont pas de diapause hivernale et qui restent donc actifs pendant cette saison et protégés des températures basses, sont les meilleurs candidats pour une expansion de leur aire de répartition si les températures hivernales poursuivent leur tendance actuelle à la hausse (SINCLAR *et al.*, 2003). Un bon exemple est celui de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*, qui a considérablement étendu son aire de répartition en Europe méridionale à des latitudes et altitudes plus élevées au cours des trois dernières décennies, conséquence de la hausse des températures hivernales (BATTISTI *et al.*, 2005). Cette expansion a été détectée à l'aide de marqueurs génétiques sur les populations

dans toute la région méditerranéenne (KERDELHUÉ *et al.*, 2009 ; ROUSSELET *et al.*, 2010).

Il semble également raisonnable de considérer qu'une hausse des températures, dans les limites vitales des espèces, impliquera une accélération de leur développement (WILLIAMS & LIEBHOLD, 1995 ; AYRES & LOMBARDEO, 2000 ; HARRINGTON *et al.*, 2001 ; BALE *et al.*, 2002). Cependant, la réponse des insectes au changement climatique n'est pas toujours linéaire (BALE *et al.*, 2002 ; GASTON, 2003). Par exemple, les étapes de développement des insectes peuvent être différemment affectées par le changement climatique, c'est-à-dire que la croissance peut être accélérée, mais dans le même temps, la période de diapause peut être allongée.

On en sait peu sur l'effet direct de la sécheresse sur la physiologie et le développement des insectes phytophages. On suppose qu'une faible humidité dans l'air peut accroître la mortalité des insectes par déshydratation (ROUAULT *et al.*, 2006). En revanche, pendant des périodes de pluies intenses, de petits insectes vivant sur les tiges, l'écorce ou la surface des feuilles, tels que les pucerons ou les cochenilles, peuvent être emportés par l'eau ; par conséquent, ils bénéficieront davantage d'une période sèche prolongée (WAINHOUSE, 2005). Une humidité réduite des sols peut aussi favoriser la survie de plusieurs insectes défoliateurs qui déposent leurs chrysalides dans la couche superficielle du sol, tels que la chenille processionnaire (JACTEL *et al.*, 2009), la Phalène brumeuse (*Operophtera brumata*) ou certaines mouches à scie/symphytes telles que *Pristiphora abietina* (WAINHOUSE, 2005).

Effets indirects liés aux variations de la qualité et de la résistance des arbres

Changements liés au stress hydrique

La sécheresse peut affecter la qualité nutritionnelle des arbres pour les insectes phytophages qu'ils hébergent via la concentration en eau et en carbohydrates, et via la teneur en azote.

Sur des arbres sévèrement atteints par le stress hydrique, la diminution de la teneur en eau endure le feuillage, occasionnant une moindre consommation par les insectes

phytophages masticateurs tels que les lépidoptères défoliateurs ou les hyménoptères (ROUAULT *et al.*, 2006 ; NETHERER & SCHOPF, 2010). La consommation de sève par les pucerons forestiers est également affaiblie sur les arbres victimes de stress hydrique, du fait d'une moindre pression de turgescence qui limite l'extraction d'azote de la sève élaborée (HUBERTY & DENNO, 2004 ; ROUAULT *et al.*, 2006). L'apport hydrique est crucial pour le métabolisme primaire des plantes, influençant fortement la synthèse de carbohydrates et par là même la provision de sucre pour les insectes herbivores. Comme conséquence de la sécheresse, une concentration réduite en carbohydrates dans les tissus des écorces de conifères pourrait réduire le développement des scolytes et des champignons qu'elles hébergent dans leurs galeries (WAINHOUSE, 2005).

Au contraire, durant la période sèche, une teneur réduite en eau peut provoquer une concentration accrue en azote pouvant stimuler l'alimentation des insectes (MATTSON & HAACK, 1987). Comme l'azote est généralement le facteur limitant pour beaucoup d'insectes, une disponibilité accrue d'azote durant la période de stress hydrique pourrait se traduire par une amélioration de la croissance et de la reproduction des insectes phytophages, et par conséquent favoriser les phénomènes de pullulation. Par exemple, la performance des défoliateurs est supérieure sur les arbres soumis à un stress hydrique modéré du fait d'une plus grande concentration en azote soluble dans le feuillage (LARSSON, 1989 ; LARSSON & BJÖRKMAN, 1993 ; MATTSON & HAACK, 1987 ; WHITE, 1984). Les insectes suceurs de sève peuvent également bénéficier d'une concentration accrue en azote.

Les métabolites secondaires (par exemple les tannins — FORKNER *et al.*, 2004, in ROUAULT *et al.*, 2006), impliqués dans la résistance des arbres sont souvent en concentration supérieure dans le feuillage des arbres soumis à un stress hydrique. Il a été prouvé qu'ils affectaient la performance des larves de lépidoptères tels que *O. brumata* sur *Quercus robur* (BUSE & GOOD 1996, in ROUAULT *et al.*, 2006). Les mangeurs de feuilles, comme les lépidoptères, les mouches à scie, les coléoptères et certains insectes à galle seraient davantage vulnérables à une augmentation des mécanismes de défense dans les tissus foliaires des arbres soumis au stress hydrique que ne le seraient les



Photo 1 : Un des exemples de ravageurs forestiers étendant son aire de répartition en réponse au changement climatique est la chenille processionnaire du Pin (*Thaumetopoea pityocampa*) en Europe méridionale (sur la photo, on observe un groupe d'oeufs sur une ramille de *Pinus sylvestris* dans une zone d'infestation, à 1450 m, Mont Avic, Aoste, Italie). Ce ravageur a étendu de façon significative son aire de répartition (à la fois vers le nord et vers les altitudes plus élevées) durant les dix dernières années, avec un fort taux d'attaques dans les espaces nouvellement affectés (Battisti *et al.* 2005 et 2006, Stastny *et al.* 2006). On a attribué le phénomène à des hivers plus doux qui ont permis une survie plus importante de larves hivernantes, et des nuits d'étés plus chaudes au-delà du seuil de température permettant leur envol et la dispersion nocturne des femelles (Battisti *et al.*, 2006). Si l'évolution des aires de répartition et les phénomènes de survie comme celui-ci deviennent une tendance générale, cela risque d'avoir des conséquences sérieuses sur la sylviculture mondiale.

insectes suceurs de sève (par exemple les pucerons) et les ravageurs du phloème et du cambium. Cela est dû au fait que les tissus vasculaires contiennent moins de substances allélochimiques (MATTSON & HAACK, 1987 ; HUBERTY & DENNO, 2004 ; LARSSON, 1989 ; AWMACK & LEATHER, 2002, dans ROUAULT *et al.*, 2006). Cependant, un apport hydrique réduit n'affecte pas seulement le flux de sève, mais aussi la production et la pression des oléorésines. Cela se traduit par une moindre résistance structurelle aux premières attaques des scolytes (LIEUTIER, 2004 ; ROUAULT *et al.*, 2006).

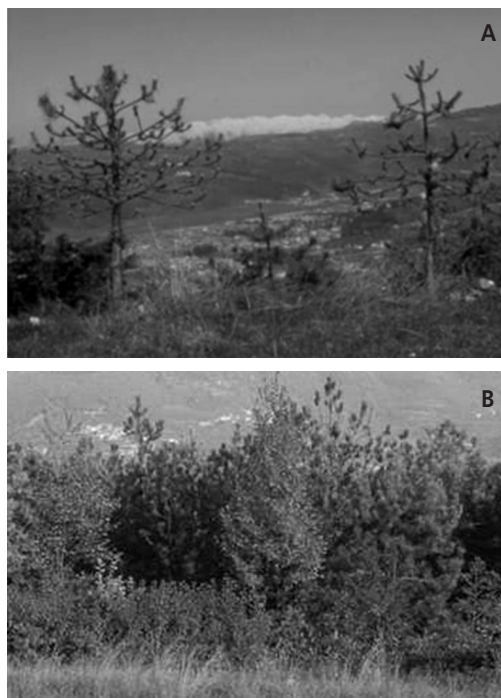
Changements induit par un taux élevé de CO₂

Par un mécanisme indirect lié au changement climatique, une concentration élevée en CO₂ pourrait affecter les performances des insectes phytophages par la modification

des propriétés nutritionnelles de la plante-hôte (JONES *et al.*, 1998 ; HUNTER, 2001). Comme le CO₂ est la principale source de carbone pour la photosynthèse, cela pourrait affecter l'équilibre carbone/nutriments des plantes, augmentant le ratio C/N, et ainsi provoquer la dilution de l'azote dans les tissus.

La principale réaction attendue de la part des phytophages à cette augmentation du ratio C/N est une consommation additionnelle, c'est-à-dire qu'ils vont manger plus afin d'accumuler suffisamment d'azote pour leur développement. Par conséquent, les dommages causés aux plantes pourraient augmenter, mais les dégâts relatifs pourraient rester stables s'il s'avérait que les plantes exposées à un haut niveau de CO₂ croissent plus vite. Dans l'expérience d'enrichissement en carbone atmosphérique FACE (*Free Air Carbon Enrichment*) conduite dans le Wisconsin (PERCY *et al.*, 2002), l'activité de toutes les communautés d'herbivores résultant d'une hausse de la teneur en ozone a pu contrecarrer les effets bénéfiques d'une

atmosphère enrichie en CO₂ sur la croissance de *Populus tremuloides*. La réponse des insectes herbivores peut aussi différer suivant les groupes alimentaires, comme cela a été suggéré par BEZMER et JONES (1998). En général, les défoliateurs sont supposés augmenter leur consommation de feuilles d'environ 30 %, mais les insectes mineurs devraient présenter un taux beaucoup plus faible. Les suceurs de phloèmes semblent recevoir le plus grand avantage d'une augmentation du taux de CO₂, puisqu'ils deviennent plus grands et dans un laps de temps plus court. Les effets d'une atmosphère modifiée sur les insectes phytophages pourraient aussi toucher le troisième niveau trophique, c'est-à-dire leurs parasites et leurs prédateurs. De même que nous nous attendons à un allongement de la période de développement des insectes phytophages après exposition à un haut niveau de CO₂ (FAJER *et al.*, 1989 ; LINDROTH *et al.*, 1993 ; SMITH & JONES, 1998), la probabilité de parasitisme et de prédation devraient également augmenter.



Photos 2 et 3 : Défoliation causée par la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* dans les Alpes du Sud et changement de la composition forestière. Les plantations pures de *Pinus nigra* sont complètement défoliés à 2-3 reprises, d'un âge allant de 15 à 30 ans (A). Des essences natives de feuillus (*Quercus pubescens*, *Ostrya carpinifolia*, *Fraxinus ornus*) comblent alors les espaces ouverts successifs à la défoliation (B). La défoliation est alors moins importante et intense sur les pins les plus grands. Il s'agit d'une illustration de la capacité d'un insecte défoliateur à modifier la composition d'un peuplement forestier, avec un feed-back négatif sur l'insecte lui-même. Les forestiers peuvent accélérer ce processus et réduire les dommages de défoliation en favorisant les espèces feuillues dans les plantations.

Orientations pour la gestion future des ravageurs forestiers

Méthodes de lutte pour la gestion des ravageurs

Quand nous cherchons à contrôler les populations d'insectes ravageurs, la première chose qui nous vient à l'esprit est l'application d'insecticides. Cependant, l'utilisation de pesticides en forêt à des inconvénients notables tels que le manque d'efficacité, le développement de résistances par effet de sélection, ou encore les coûts et les effets négatifs sur les espèces non ciblées. D'autres méthodes curatives ont donc été mises au point pour maintenir les populations de ravageurs en deçà d'un seuil critique (WAINHOUSE, 2005). Elles incluent des techniques mécaniques, biologiques et biochimiques :

- la méthode de contrôle mécanique consiste principalement à tailler les branches attaquées ou à couper et brûler les individus touchés au cours d'une coupe d'assainissement. Elle s'applique notamment pour le contrôle des scolytes sur les conifères ;

- la lutte biologique consiste à manipuler les ennemis naturels des ravageurs (préda-

teurs, parasitoïdes ou pathogènes) afin d'améliorer la régulation naturelle des populations de ravageurs. Cependant, peu de méthodes de lutte biologique ont été développées avec succès dans les forêts européennes, et elles sont presque exclusivement utilisées contre des espèces invasives ou exotiques d'insectes ravageurs. Par exemple, la dissémination de prédateurs spécifiques en vue d'augmenter leur densité dans des zones nouvellement infestées a été efficace pour ralentir la propagation du Dendroctone de l'épicéa (*Dendroctonus micans*). L'introduction de parasites spécifiques issus de la région d'origine d'une espèce importée de ravageurs pourrait aussi contribuer à maintenir le ravageur à un niveau de densité faible tel que cela a été observé avec le Puceron du cèdre en forêt méditerranéenne française ;

– une solution de spores de *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Btk) peut être répandue, à la manière d'un épandage d'insecticide, pour contrôler les lépidoptères forestiers. Les avantages de cette méthode biochimique résident dans son haut niveau d'efficacité lorsqu'elle est appliquée au bon moment, dans sa facilité de production en masse, et dans le fait que certaines souches ont un spectre étroit, limitant les dommages collatéraux sur les espèces non ciblées. En Europe méridionale, Btk est largement utilisé chaque année sur plus de 100 000 ha pour contrôler la Chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) dans les pinèdes et le Bombyx disparate (*Lymantria dispar*) dans les chênaies. Plusieurs tentatives d'utilisation des phéromones sexuelles ont été menées pour contrôler les populations de ravageurs forestiers. Tandis que la technique de piégeage de masse à base de phéromones semble inefficace, la technique de la confusion sexuelle semble davantage prometteuse. Elle consiste à introduire de nombreuses sources artificielles de phéromones dans la forêt afin de contrarier la reproduction du ravageur ciblé en parasitant la communication entre les deux sexes. Cette méthode a été utilisée avec succès pour contrôler les populations de Bombyx disparate, à de faibles niveaux, dans des chênaies isolées aux Etats-Unis. Plus récemment, l'utilisation de phéromones antiagrégantes et de répulsifs, tels que la verbénone, ont été utilisés pour protéger les pins pendant la période critique de pullulation des scolytes.

Toutes ces méthodes de gestion des ravageurs sont respectueuses de l'environne-

ment, mais elles demeurent difficiles à mettre en œuvre du fait de la grande taille des arbres adultes et de la répétition des traitements, ce qui en augmente leur coût. Leur utilisation est donc restreinte aux peuplements de grande valeur ou aux arbres présentant un fort risque de mortalité ou de réduction de la croissance.

Méthodes préventives associées à une gestion des peuplements

La prévention de la pullulation des ravageurs présente un intérêt bien supérieur car elle opère avant que de graves dommages ne soient constatés. Concrètement, il s'agit d'une stratégie de gestion des ravageurs qui repose sur la capacité des écosystèmes forestiers à se défendre eux-mêmes. Elle est basée sur l'hypothèse que l'usage de bonnes pratiques sylvicoles réduira à la fois les probabilités d'attaques d'insectes et la vulnérabilité des arbres à ces infestations. Une récente révision de la littérature scientifique a montré que chaque opération sylvicole aurait un impact significatif sur la vulnérabilité des peuplements forestiers vis-à-vis des insectes ravageurs (JACTEL *et al.*, 2009). La première décision à prendre avant de commencer un boisement est de faire coïncider les espèces d'arbres avec les conditions du site. Ensuite la préparation du sol, incluant le sous-solage, la gestion des souches et de l'herbe peuvent diminuer le substrat de reproduction pour des ravageurs importants comme les scolytes et les charançons (*Hylobius abietis*), tandis que la fertilisation pourrait aussi bien bénéficier à certains ravageurs, comme les pucerons des conifères, qu'accroître la résistance des arbres à d'autres ravageurs tels que les défoliateurs et les insectes se nourrissant d'écorce. La qualité des semis utilisés et la densité initiale de peuplement sont deux facteurs déterminants des dommages causés par les ravageurs durant les premières années du cycle forestier. La gestion de la végétation du sous-bois peut permettre de réduire la compétition pour la lumière et l'eau mais d'un autre côté, les plantes-hôtes et les buissons peuvent protéger les jeunes arbres contre les insectes phytophages en fournissant un habitat aux ennemis naturels de ces derniers. En améliorant la vigueur individuelle des arbres, les éclaircies peuvent réduire leur vulnérabilité à de nombreux ravageurs, y compris les scolytes, mais

en revanche, cela peut favoriser certains ravageurs primaires tels que les défoliateurs. Etant donné que les arbres trop matures présentent une vitalité réduite, il pourrait être recommandable d'abaisser l'âge de révolution afin de réduire le risque de dommages. Cependant, des précautions devraient être prises pendant la récolte. Des opérations de débardage avec des machines imposantes pourraient occasionner une compaction des sols et des blessures au niveau de l'écorce des arbres qui pourraient à leur tour aggraver l'infection par les ravageurs.

Les arbres abattus, les résidus d'exploitation ou les souches peuvent aussi servir de substrat de reproduction pour les charançons (*H. abietis*), et beaucoup de scolytes dans les forêts de conifères (par exemple *Ips sexdentatus*) et caducifoliées. Il a aussi été globalement recommandé que les arbres morts soient évacués afin d'éviter la reproduction d'insectes qui pourraient, par la suite, attaquer les arbres en croissance (WAINHOUSE, 2005).

Méthodes préventives basées sur la conservation de la biodiversité

Une révision de la littérature scientifique (JACTEL *et al.*, 2005 ; JACTEL & BROCKERHOFF, 2007, JACTEL *et al.*, 2008) internationale montre, d'une manière générale, que les forêts mixtes sont plus résistantes aux insectes que les forêts pures. Par exemple, la cochenille *Matsucoccus feytaudi*, qui est spécifique du pin maritime (*Pinus pinaster*), a montré un degré d'infestation significativement supérieur dans des peuplements purs par rapport aux peuplements mélangés avec le pin de Corse (*Pinus nigra laricio*) (JACTEL *et al.*, 2006). La Chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, qui se nourrit principalement sur les genres *Pinus* et *Cedrus*, a occasionné une défoliation moindre sur le pin de Corse quand celui-ci était mélangé au hêtre *Fagus sylvatica* (GERI, 1980). Récemment, il a été montré que des haies de feuillus peuvent réduire le niveau d'infestation par les Chenilles processionnaires dans les peuplements situés derrière ces barrières physiques (DULAURENT *et al.*, 2010), et que les odeurs émises par les bouleaux peuvent aussi limiter les dommages sur les peuplements de pins environnants (JACTEL *et al.*, 2010).

La première raison qui explique que les forêts mixtes soient moins sensibles aux ravageurs et aux agents pathogènes est la diminution de l'accessibilité aux essences-hôtes du fait que le mélange avec d'autres espèces produit diverses barrières physiques ou chimiques qui peuvent contraindre la localisation et la colonisation par les insectes ravageurs (JACTEL *et al.*, 2005). La seconde principale raison est que les forêts mixtes favorisent le contrôle des ravageurs grâce aux ennemis naturels (ROOT, 1973 ; JACTEL *et al.*, 2005). Les prédateurs généralistes et les parasites bénéficieront en effet de davantage de proies successives ou d'hôtes dans des communautés diverses d'arbres, tandis que les seconds (les peuplements purs) fournissent un habitat pour des espèces davantage phytophages (SIEMANN *et al.*, 1998).

Cependant, l'effet de la diversité des espèces d'arbres varie en fonction du degré de spécificité (d'hôtes) des insectes ravageurs. Dans le cas d'insectes oligophages, qui se nourrissent avec un seul genre ou famille d'arbres, la consommation était presque toujours réduite dans des peuplements mixtes (dans 93 % des cas, JACTEL & BROCKERHOFF 2007). En revanche, l'effet de la diversité des essences sur la consommation d'insectes polyphages, qui se nourrissent de plusieurs familles d'arbres, était plus variable avec une diminution des dommages dans les peuplements mélangés dans seulement 60 % des cas. Dans une communauté d'arbres diversifiée, les insectes herbivores polyphages peuvent avoir différentes réponses appelées effet de "diversion" et de "contagion". L'effet de diversion correspond à l'association avec une espèce plus appétente qui sera infestée en premier, limitant ainsi les dommages sur l'espèce principale. Comme il a été montré pour les communautés herbacées (COUPE et CAHILL, 2003), l'avantage de faire pousser des peuplements mixtes dépendra si l'on s'intéresse à l'écosystème dans son ensemble ou à la production d'espèces particulières. Si l'effet de diversion est présent, il faudrait débattre sur le fait que la préservation de la production de l'hôte principal sera compensée par des dégâts sur un hôte secondaire.

L'effet de contagion correspond à la concentration de plusieurs espèces-hôtes se traduisant ainsi par une augmentation des dommages des ravageurs forestiers dans des mélanges d'essences. On l'appelle aussi vulnérabilité associationnelle (WHITE & WHITHAM, 2000). Les exemples typiques sont

ceux du Bombyx disparate et de la Nonne (*Lymantria dispar* et *L. monacha*) lorsque leurs premiers stades larvaires se développent sur de la nourriture de haute qualité (respectivement sur de jeunes feuilles d'arbres à feuilles caduques et de cônes mâles de conifères) et leurs derniers stades larvaires se nourrissent d'aiguilles de conifères de mauvaise qualité (GOTTSCHALK & TWERY, 1989 ; JENSEN, 1991). En définitive, ce qui détermine le degré d'exposition des forêts mixtes au risque de maladie serait la composition quantitative et qualitative du mélange d'espèces forestières, plutôt que leur richesse en termes d'espèces.

Conclusions

Le matériel présenté dans cet article permet de conduire à deux conclusions principales :

1. Un petit doute subsiste sur le fait que le changement climatique affecte l'aire de répartition et la performance des insectes, mais l'objectif principal est de comprendre la direction du changement. Si les effets directs de la température ou de la sécheresse sur les insectes peuvent être intégrés à des modèles prédictifs, leurs effets indirects dus aux modifications de la qualité de la plante-hôte sont plus difficiles à identifier et à prévoir. Une complication supplémentaire est apportée par l'interaction de la température avec la qualité de la plante-hôte, et par la réponse du troisième niveau trophique (c'est-à-dire des ennemis naturels) aux changements se produisant chez les insectes phytophages et leurs plantes-hôtes.

2. La durabilité de la forêt et la conversion des forêts pures vers des forêts mixtes semblent être compatibles avec la réduction du risque d'attaques d'insectes, du moins pour les espèces mono/oligophages qui sont justement les plus importantes. Cela pourrait conduire à des conséquences mesurables en matière de rendement d'une espèce donnée, même si au niveau de l'écosystème, le ralentissement de la croissance d'une des espèces pourra être compensé par une croissance plus rapide des autres espèces non affectées. Cependant, des études récentes ont montré que la diversité d'espèces d'arbres pouvait aussi conduire à une plus grande productivité du peuplement forestier (PIOTTO, 2008, POTVIN & GOTELLI 2008, PAQUETTE & MESSIER, 2010), en particulier dans les forêts méditerranéennes (VILA *et al.*, 2007).

Références

- Alfaro R.J., Hantula J., Carroll A., Battisti A., Fleming R., Woods A., Hennon P.E., Lanfranco D., Ramos M., Müller M., Lilja A., Francis D. (2010). Forest Health in a changing environment. Pages 113 to 134 in G. Mery, P. Katila, G. Galloway, R.I. Alfaro, M. Kanninen, M. Lobovikov and J. Varjo, editors. Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change. International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), Vienna, Austria.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N. (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 660-684.
- Ayres, M.P., & Lombardero M.J. (2000). Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The Science of the Total Environment*, 262, 263-286.
- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., et al. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8, 1-16.
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A. and Larsson, S. (2005). Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, 15, 2084-2096.
- Battisti, A., Stastny, M., Buffo, E. and Larsson S. (2006). A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*, 12, 662-671.
- Bezemer, T.M., & Jones, T.H. (1998). Plant-insect herbivore interactions in elevated atmospheric CO₂: quantitative analyses and guild effects. *Oikos*, 82, 212-222.
- Coupe, M.D., & Cahill, J.F. Jr (2003). Effects of insects on primary production in temperate herbaceous communities: a meta-analysis. *Ecological Entomology*, 28, 511-521.
- Dulaurent A.-M., Porté A.J., van Halder I., Vétillard F., Menassieu P. & Jactel H. 2010. Hide and seek in forests: colonization by the pine processionary moth is impeded by the presence of non-host trees. *Agricultural and Forest Entomology* (in press)
- Fabbio, G., Merlo, M., & Tosi, V. (2003). Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe—the Mediterranean region. *Journal of Environmental Management*, 67, 67-76.
- Fajer, E.P., Bowers, M.D., & Bazzaz, F.A. (1989). The effects of enriched carbon dioxide atmospheres on plant-insect herbivore interactions. *Science*, 243, 1198-1200.
- Gaston, K.J. (2003). *The Structure and Dynamics of Geographic Ranges*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Géri C., 1980. Application des méthodes d'études démécologiques aux insectes défoliateurs forestiers: cas de Diprion pini et dynamique des populations de la processionnaire du pin en Corse, Thèse, Université de Paris-Sud.
- Gottschalk, K.W., & Twery, M.J. (1989). Gypsy moth in pine-hardwood mixtures. In T.A. Waldrop (Ed.) *Pine-hardwood mixtures: a symposium on management and ecology of the type*. (pp 50-58). USDA Forest Service General Technical Report SE 58.
- Harrington, R., Fleming, R.A., & Woiwod, I.P. (2001). Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology*, 3, 233-240.
- Hodar, J.A., Castro, J. and Zamora, R. (2003). Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biological Conservation*, 110, 123-129.

Andrea BATTISTI
Universita di Padova
DAAPV-Entomologia
Agripolis - Viale
dell'Università 16
35020 Legnaro PD
Italia
Tél. : 0039049 8272804
Fax : 0039049 8272810
E-mail :
andrea.battisti@
unipd.it

Hervé JACTEL
UMR Biodiversité
Gènes et Ecosystèmes
Equipe Entomologie
Forestière
INRA
69 route d'Arcachon
33612 Cestas Cedex
France
Tél. : 05 57 12 28 59
Fax : 05 57 12 28 81
E-mail :
herve.jactel@
pierroton.inra.fr

Remerciements

Les travaux menant à ces résultats ont été conduits dans le cadre du projet BAC-CARA qui a reçu des fonds du 7^e Programme Cadre de l'Union Européenne (7PC / 2007-2013) à travers la subvention n°226299.

- Hunter, M.D. (2001). Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Agricultural and Forest Entomology*, 3, 153-159.
- Kerdelhué C, Zane L, Simonato M, Salvato P, Rousselet J, Roques A, Battisti A. (2009). Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC Evolutionary Biology*, 9, 220, doi:10.1186/1471-2148-9-220
- Jactel, H., Brockerhoff, E., & Duelli, P. (2005). A test of the biodiversity-stability theory: Meta-analysis of tree species diversity effects on insect pest infestations, and re-examination of responsible factors. In M. Scherer-Lorenzen, C. Körner, E.D., & Schulze, (Eds.), *The functional significance of forest diversity*. (pp. 235-262), Berlin: Springer.
- Jactel, H., Brockerhoff, E. (2007) Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters*, 10, 835-848.
- Jactel, H.; Brockerhoff, E.; Piou, D. (2008). Disease risk in mixed forests. *Revue Forestière Française*, 60, 168-180
- Jactel, H., Menassieu P., Vétillard, F., Gaulier A., Samalens J.C. and Brockerhoff E.G., 2006. Tree species diversity reduces the invasibility of maritime pine stands by the bark scale, *Matsucoccus feytaudi* (Homoptera: Margarodidae). *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 314-323.
- Jactel, H., Nicoll, B., Branco, M., Gonzalez-Olabarria, J.R., Grodzki, W., Langström, B., Moreira, F., Netherer, S., Orazio, C., Piou, D., Santos, H., Schelhaas, M.J., Tojic, K., Vode, F. (2009). The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Annals of Forest Science*, 66, 701.
- Jactel, H., Birgersson, G., Andersson, S., and Schlyter, F. (2010). Non-host volatiles mediate associational resistance to the pine processionary moth. *Oecologia* (in press).
- Jensen, T.S. (1991). Integrated pest management of the nun moth, *Lymantria monacha* (Lepidoptera: Lymantriidae) in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 39, 29-34.
- Jones, T.H., Thompson, L.J., Lawton, J.H., Bezemer, T.M., Bardgett, R.D., Blackburn, T.M., et al. (1998). Impacts of rising atmospheric carbon dioxide on model terrestrial ecosystems. *Science*, 280, 441-443.
- Lieutier, F. (2004) Host resistance to bark beetles and its variations. Kluwer Academics Publishers, Dordrecht.
- Lindroth, R.L., Kinney, K.K., & Platz, C.L. (1993). Responses of deciduous trees to elevated atmospheric CO₂: productivity, phytochemistry and insect performance. *Ecology*, 74, 763-777.
- Paquette, A. & Messier, C. (2010). The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests. *Global Ecology and Biogeography*, DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00592.x
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Percy, K.E., Awmack, C.S., Lindroth, R.L., Kubiske, M.E., Kopper, B.J., Isebrands, J.G., et al. (2002). Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO₂ and O₃. *Nature*, 420, 403-407.
- Piotto, D. (2008). A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. *Forest Ecology and Management* 255, 781-786
- Potvin, C. & Gotelli, N.J. (2008) Biodiversity enhances individual performance but does not affect survivorship in tropical trees. *Ecology Letters*, 11: 217-223.
- Root, R.B. (1973). Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards, *Brassica oleracea*. *Ecological Monographs*, 43, 95-124.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C., & Pounds, J.A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421, 57-60.
- Rouault G., Candau J.N., Lieutier F., Nageleisen L.M., Martin J.C., Warzée N. (2006) Effects of drought and heat on forest insects populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Annals of Forest Sciences*, 63, 613-624.
- Rousselet J, Zhao R, Argal D, Simonato M, Battisti A, Roques A, Kerdelhué C (2010). The role of topography in structuring the demographic history of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera Notodontidae). *Journal of Biogeography*, 37, 1478-1490.
- Scarascia-Mugnozza, G., Oswald, H., Piusi, P., & Radoglou, K. (2000). Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, 132, 97-109.
- Siemann E., Tilman D., Haarstad J. and Ritchie M., 1998. Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *American Naturalist*, 152, 738-750.
- Sinclair, B.J., Vernon, P., Klok, C.J., & Chown, S.L. (2003). Insects at low temperatures: an ecological perspective. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 257-262.
- Smith, P.H.D., & Jones, T.H. (1998). Effects of elevated CO₂ on the chrysanthemum leafminer, *Chromatomyia syngenesiae*: a green-house study. *Global Change Biology*, 4, 287-291.
- Solomon S. et al. (2007). Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L., eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Speight, M.R., Hunter, M.D., & Watt, A.D. (2008). Ecology of insects: concepts and applications. 2nd edition. Oxford UK: Blackwell.
- Stastny, M., Battisti, A., Petrucco-Toffolo, E., Schlyter, F., Larsson, S. (2006). Host-plant use in the range expansion of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa*. *Ecological Entomology* 31: 481-490.
- Vila, M., Vayreda, J. Comas, L., Ibanez, J.J., Mata, T., Obon, B. (2007). Species richness and wood production: a positive association in Mediterranean forests. *Ecology Letters*, 10: 241-250.
- Wainhouse, D. (2005). *Ecological methods in forest pest management*. Oxford, UK.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., et al. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- White, J.A., & Whitham, T.G. (2000). Associational susceptibility of cottonwood to a box elder herbivore. *Ecology*, 81, 1795-1803.
- White T.C.R. 1984. The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia*, 63, 90-105.
- Williams, D.W., & Liebhold, A.M. (1995). Herbivorous insects and global change - potential changes in the spatial-distribution of forest defoliator outbreaks. *Journal of Biogeography*, 22, 665-671.

Résumé

Cet article présente les conséquences du changement climatique sur les forêts du bassin méditerranéen, en relation avec l'écologie et la gestion des populations d'insectes phytophages. Le réchauffement du climat pourrait avoir des conséquences sur la composition des essences forestières, modifiant la structure des écosystèmes et donc leur vulnérabilité aux herbivores monophages/polyphages, ainsi que sur la qualité des arbres, affectant indirectement la performance des populations d'insectes. Plusieurs options sont proposées pour la gestion future des ravageurs dans les forêts méditerranéennes.

Pest insect populations in relation to climate change in forests of the Mediterranean basin

by Andrea BATTISTI & Hervé JACTEL

Introduction

Forest trees are an important component of Mediterranean flora; the number of tree species is larger compared to Central Europe (100 vs. 30, respectively), with the genus *Quercus* alone having more than 20 species in the region (SCARASCIA-MUGNOZZA *et al.*, 2000). The Mediterranean forest biome — around 81 million hectares — accounts for about 1.5% of the planet forests (FABBIO *et al.*, 2003). In addition, some 80–90% of these unique types of forest are concentrated in the Mediterranean Region, the rest being split amongst small areas of Australia, South Africa, California and Chile.

The area is characterized by harsh and unpredictable Mediterranean-type climate, associated with recurrent disturbances related to fire and intense livestock grazing, major determinants of forest transformation into open woodland. The climate change is a recent, further large-scale disturbance increasing climatic extremes occurrence such as prolonged summer drought, high temperatures and rainfall variability (SOLOMON *et al.*, 2007).

Effects of climate change on forest pest insects

Climate change information has been used for modeling the future of the forests in the world (ALFARO *et al.*, 2010). Different types of consequences can be envisaged for the vegetation zones. In the Mediterranean there will be a loss of tree species, because the warmer conditions may cause the local extinction of taxa, associated with the simplification of the forest ecosystems. The higher frequency of drought may depress the growth, modify the tree physiology, and eventually lead to extended tree mortalities (ALLEN *et al.*, 2010).

Direct effects of climate change on insect species

The effects of global warming on living organisms have now been recognized from the level of individual species to communities, most notably in the form of temperature-related range shifts (WALTHER *et al.*, 2002; ROOT *et al.*, 2003). As the number of insects per unit area is inversely related to latitude and elevation (SPEIGHT *et al.*, 2008), we may assume that the increase of temperature would allow the spreading of insect species northward and upward, especially for those species that have wide ranges, as many forest pests have. PARMESAN & YOHE (2003) have provided a quantitative assessment of the biological impact of climatic change, using data from different types of organisms, including insects. This analysis concerned the spatial (range shift) and phenological (advancement of spring events) data, averaging 6.1 km/decade and 2.3 days/decade, respectively. Eighty percent of the studied species ($n = 434$) showed a consistent range shift and 87% an advancement of spring events, such as flowering or migration. Those insects developing without winter diapause, which are active during this season and are protected from the low temperature, are the best candidates for range expansion if the winter temperature maintains the current increasing trend (SINCLAIR *et al.*, 2003). A good example concerns the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa*, which expanded considerably its range in southern Europe at higher latitude and altitude in the last three decades as a consequence of the increase of winter

temperature (BATTISTI *et al.*, 2005). This expansion has been also detected with genetic markers of the population in the whole of the Mediterranean region (KERDELHUÉ *et al.*, 2009; ROUSSELET *et al.*, 2010).

It seems also reasonable to assume that an increase of temperature within the vital limits of a species will imply a faster development (WILLIAMS & LIEBHOLD, 1995; AYRES & LOMBARDERO, 2000; HARRINGTON *et al.*, 2001; BALE *et al.*, 2002). However, the response of insects to climate change is not always linear (BALE *et al.*, 2002; GASTON, 2003). For example, the developmental stages of the insects can be differentially affected by the climate change, i.e. the growth can be accelerated by higher temperature, but at the same time the length of diapause may be extended.

Little is known about the direct effect of drought on herbivorous insect physiology and development. It is assumed that low air humidity may increase insect mortality through dehydration (ROUAULT *et al.*, 2006). On the contrary during heavy rains many small insects living on stem bark or leaf surface, such as aphids, scales and adelgids can be washed away and thus may benefit from prolonged drought periods (WAINHOUSE, 2005). Reduced soil moisture may also favor the survival of several defoliating insect species that pupate in the upper layer of the soil, such as the pine processionary moth (JACTEL *et al.* 2009), the winter moth *Operophtera brumata* or sawflies like *Pristiphora abietina* (WAINHOUSE, 2005).

Indirect effects of climate through variation of tree quality and resistance

Changes induced by water stress

Drought can affect the nutritional quality of host trees for herbivorous insect via water content and carbohydrates, and via nitrogen.

In severely stressed trees, decreased water content leads to tougher foliage, resulting in lower herbivory by chewing insects such as defoliating Lepidoptera or Hymenoptera (ROUAULT *et al.*, 2006; NETHERER & SCHOPF, 2010). Sap feeding by forest aphids is also impaired in water stressed trees due to lower turgor pressure that limits extraction of nitrogen from elaborated sap (HUBERTY &

DENNO, 2004; ROUAULT *et al.*, 2006). Water supply is critical for primary metabolism of plant and thus greatly influences carbohydrate synthesis and then provision of sugars for herbivorous insects. As a consequence of drought, reduced concentration of carbohydrates in conifer bark tissues may then impair the development of bark beetles and of the fungi they carry into their gallery (WAINHOUSE, 2005).

In contrast, during drought period, reduced water content leads to higher nitrogen concentration which can stimulate insect feeding (MATTSON & HAACK, 1987). Because nitrogen is generally limiting for many insects, increase in available plant nitrogen during water stress could result in improved growth and reproduction of phytophagous insects and thus promote outbreaks. For example defoliator performances are higher in moderately water stressed trees due to higher concentration of soluble nitrogen in foliage (LARSSON, 1989; LARSSON & BJÖRKMAN, 1993; MATTSON & HAACK, 1987; WHITE, 1984). Sap feeding insect may also benefit from this increase in nitrogen concentration.

Secondary metabolites (e.g. tannins – FORKNER *et al.*, 2004, in ROUAULT *et al.*, 2006), involved in tree resistance, are often in higher concentration in foliage of water stressed trees which was showed to affect larval performance of Lepidoptera such as *O. brumata* on *Quercus robur* (BUSE & GOOD 1996, in Rouault *et al.*, 2006). Leaf chewers such as moths, sawflies, and beetles, and some gall makers would be more susceptible to increased defense compounds in leaf tissues of water stressed trees than sap feeders (e.g. aphids), phloem and cambium feeders as vascular tissues contain lower amount of allelochemicals (MATTSON & HAACK, 1987; HUBERTY & DENNO, 2004; LARSSON, 1989; AWMACK & LEATHER, 2002, in ROUAULT *et al.*, 2006). However lower water supply not only affects sap flow but also oleoresin production and pressure. This results in lower constitutive resistance to primary attacks of many bark beetles (LIEUTIER, 2004; ROUAULT *et al.*, 2006).

Changes induced by elevated CO₂

As an indirect mechanism related to global change, an elevated concentration of CO₂ may affect the performance of phytophagous insects through the modification of the nutri-



Picture 1:

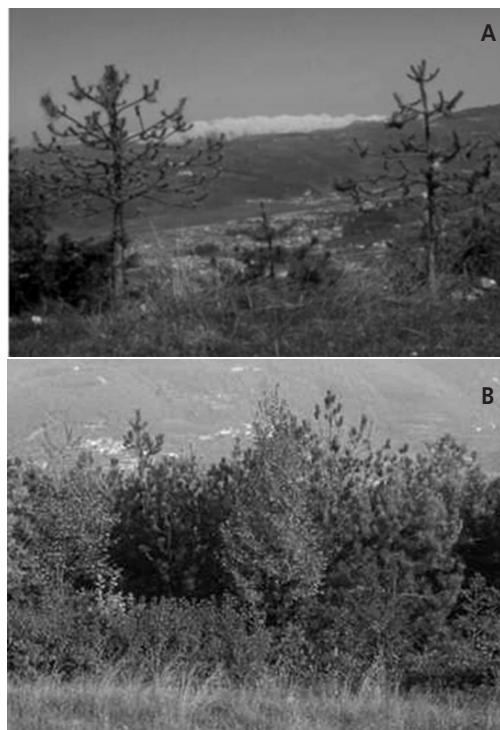
An example of a forest pest shifting its range in response to climate change is the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*), an important pest of pine forests in southern Europe (in the picture is an egg mass on a twig of *Pinus sylvestris* in the expansion outbreak area, at 1450 m, Mont Avic, Aosta, Italy). This pest has expanded its range substantially (both northward latitudinally and upward altitudinally) during the last ten years, with high attack rates in previously unaffected areas (Battisti *et al.* 2005 and 2006, Stastny *et al.* 2006). This has been attributed to warmer winter temperatures that allow greater survival of overwintering larvae, and increased warm summer nights above a threshold temperature required for flight take-off and nocturnal dispersal of females (Battisti *et al.* 2006). If range shift and increased survival events such as this become a global trend, there may be serious consequences to silviculture worldwide.

tional properties of the host plant (JONES *et al.*, 1998; HUNTER, 2001). As CO₂ is the main carbon source for photosynthesis, its increase could alter the carbon/nutrient balance of plants, increasing the C/N ratio and thus diluting the nitrogen content of the tissues.

The main reaction expected from herbivores to the increase of the C/N ratio is compensatory feeding, in other words they should eat more to accumulate enough nitrogen for their development. Thus, plant damage may increase, but the relative damage could remain stable if we assume that the plants exposed to high CO₂ grow more. In a FACE (Free Air Carbon Enrichment) experiment carried out in Wisconsin (PERCY *et al.*, 2002), the activity of all

guilds of herbivores, combined with the effect of increased ozone, may be compensated by the beneficial consequences of enriched CO₂ on growth of *Populus tremuloides*. The response of herbivore insects to increased CO₂ may also differ among the feeding guilds, as suggested by BEZEMER & JONES (1998). Defoliators are generally expected to increase leaf consumption by about 30%, but leaf miners showed a much lower rate. Phloem-sucking insects appear to take the greatest advantage from increased CO₂, as they grow bigger and in a shorter time.

The effects of a modified atmosphere on herbivore insects could also involve the third trophic level, i.e. their parasitoids and predators. As we are expecting a delay in the developmental time of the herbivores after exposure to high CO₂ (FAJER *et al.*, 1989; LINDROTH *et al.*, 1993; SMITH & JONES, 1998), the probability of parasitism and predation should increase as well.



Pictures 2 and 3:

Defoliation by the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* in the Southern Alps and changing of forest composition. Pure plantations of *Pinus nigra* are completely defoliated for 2-3 times in the age of 15 to 30 years (A). Native broadleaf species (*Quercus pubescens*, *Ostrya carpinifolia*, *Fraxinus ornus*) fill the gaps left by the defoliation (B). The defoliation becomes then less important and concentrate on the most prominent pine trees. This is a mechanistic example about how a defoliating insect can modify the stand composition, with a negative feed-back on the insect itself. Foresters can accelerate the process and reduce defoliation damage by favoring broadleaf species in plantations.

Option for the future of forest pest control

Curative methods of pest management

When it comes to controlling pest insect populations, the first option that crosses to our mind is the application of insecticides. However the use of pesticides in forest has serious drawbacks such as the lack of effectiveness, the selection of resistance, the cost and the negative effects on non-target species. Other curative methods have thus been developed that aim at reducing pest population levels below the economic threshold (WAINHOUSE, 2005). They include mechanical, biological and biochemical methods. Mechanical control methods mainly consist in the pruning of attacked branches or the cutting and burning of individual trees during sanitary thinning. It mainly applies to the control of conifer bark beetles. In biological control, natural enemies such as predators, parasitoids or pathogens are manipulated to improve the natural regulation of pest populations. However few biological control methods have been successfully developed in European forests and they are almost exclusively used against exotic or invasive pests. For example, the release of specific predators to augment their density in newly infested areas proved to be effective to slow the spread of the invasive spruce bark beetle (*Dendroctonus micans*). The introduction of specific parasitoids from the native range of the introduced pest may also help to maintain the pest at low densities as was observed with the cedar aphid in Mediterranean French forests. Similar to chemical insecticides in the way of application, solutions of *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Btk) spores can be sprayed to control forest Lepidoptera. The advantages of this biochemical method is that it is highly effective when applied in due time, easy to mass-produce, and some strains have a narrow spectrum thus limiting the detrimental effects on non-target species. In southern Europe Btk is widely used to control the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in pine forests and the gypsy moth (*Lymantria dispar*) in oak forests for more than 100,000 ha every year. Several attempts have been made to use sex pheromones to control forest pest populations. While

pheromone mass-trapping, which requires very high densities of traps, proved to be ineffective, mating-disruption sounds more promising. It consists in the introduction of many artificial sources of pheromone into the forest in order to prevent the mating of the target pests through the disruption of the between sexes communication. This method was successfully applied to control gypsy moth populations, at low levels, in isolated oakwoods in the US. More recently, the use of antiaggregation pheromones and repellents, such as verbenone, have been used to provide protection of pine trees during critical periods of bark beetle outbreaks. All these pest management methods are environmentally friendly but they remain difficult to implement due to the size of adult trees and they often have to be repeated across time which greatly increases their cost. They are therefore mainly restricted to the most valuable stands or individual trees at high risk of mortality or growth loss.

Preventive methods of pest management linked to stand management

Of much greater interest is the prevention of pest outbreaks, because it operates before severe damage is observed. It is basically a pest management strategy that relies on the ability of forest ecosystems to defend themselves. It is based on the main assumption that the use of good silvicultural practices would both reduce the likelihood of insect attacks and the susceptibility of trees to these infestations. A recent review of the scientific literature has shown that every single silvicultural operation may have a significant impact on forest stand vulnerability to pest insects (JACTEL *et al.*, 2009). The decision to be made before starting any afforestation is to match the tree species to the right site conditions. Then soil preparation, including brash, stump and weed management may reduce the amount of breeding substrate for important pests such as bark beetles and weevils (*Hylobius abietis*), while fertilisation may either benefit some pests such as conifer aphids or increase tree resistance to other pest insects such as defoliators or bark feeders. The quality of the seedlings used in plantation and the initial planting density are two important drivers of pest damage during the first years of the forest cycle. The management of understorey vege-

tation may reduce the competition for light and water but on the other hand, nurse plants and shrubs may protect young trees against insect herbivores by providing habitat to their natural enemies. As thinning improves individual tree vigour it can reduce tree susceptibility to a number of secondary pests including bark beetles, but on the contrary it can favour primary pests such as several insect defoliators. Because overmature trees often show lower vitality it might be recommended to shorten the rotation age in order to reduce the risk of damage. However precautions should be taken during harvesting. Logging operations with heavy machinery may result in soil compaction and bark injuries which can in turn trigger pest infections.

Felled trees, logging residues or stumps can also serve as breeding substrates for weevils (*H. abietis*) and many bark beetles in conifer (e.g. *Ips sexdentatus*) and broadleaved forests.

It has been also widely recommended that weakened and dying trees should be removed in order to avoid the breeding of insects which could later attack living trees (WAINHOUSE, 2005).

Preventive methods of pest management based on biodiversity conservation

Reviews of the international scientific literature (JACTEL *et al.*, 2005; JACTEL & BROCKERHOFF, 2007; JACTEL *et al.*, 2008) generally show that mixed forests are more resistant than pure forest to forest insect. For example the scale insect *Matsucoccus feytaudi*, which is specific to the maritime pine (*Pinus pinaster*), showed significantly higher infestations in pure stands of maritime pine than in mixed stands with the Corsican pine (*Pinus nigra* laricio) (JACTEL *et al.*, 2006). The pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa*, mainly feeding on *Pinus* and *Cedrus*, caused lower defoliation to the Corsican pine when mixed with the common beech *Fagus sylvatica* (GÉRI, 1980). Recently it has been shown that broadleaved hedgerows may reduce the level of processionary moth infestation in pine stands located behind this physical barrier (DULAURENT *et al.*, 2010) and that odours emitted by birch trees may also result in lower damage in neighbouring pine stands (JACTEL *et al.*, 2010).

The first reasons that explain that mixed forests are less sensitive to pests and disease agents is the diminished accessibility to host trees since the admixture of other species is expected to raise several physical or chemical barriers that may reduce its localization and colonization by insect pests (JACTEL *et al.*, 2005). The second main reason for explaining why mixed stands would be less prone to pest and pathogen damage than pure stands is the enhancement of their control by natural enemies (ROOT, 1973; JACTEL *et al.*, 2005). Generalist predators and parasitoids would benefit from more alternative preys or host in more diverse tree communities as the later provide habitat for more herbivorous species (SIEMANN *et al.*, 1998).

However the effect of tree species diversity varied with the host specificity of pest insects. Herbivory by oligophagous insect, feeding within a genus or a family of tree species was almost always reduced in mixed stands (93% of the cases, JACTEL & BROCKERHOFF 2007). In contrast, the effect of tree diversity on polyphagous pest insects, feeding on several tree families, was more variable with a reduction of damage in mixed stands in only 60% of the cases. Polyphagous herbivores may have a different response to a diverse tree community, called "diversion" and "contagion" effects. The diversion effect is explained by the association with a more palatable secondary tree species which would be infested first, reducing the damage on the most represented tree species. As shown previously for herbaceous communities (COUPE & CAHILL, 2003), the benefit from growing mixed stands will depend whether the total ecosystem or the single species production are considered. If the diversion effect is present, one should argue that the preservation of production of the main host will be compensated by a loss for the secondary host. The contagion effect occurs when an association of several host species leads to an increase of forest pest damage in tree mixtures, and it is also called associational susceptibility (WHITE & WHITHAM, 2000). Typical example here is given by both gypsy and nun moth (*Lymantria dispar* and *L. monacha*), when the neonate larvae develop on high quality food (young leaves of broadleaved trees and conifer male cones, respectively) and mature larvae feed on poor quality conifer needles (GOTTSCHALK & TWERY, 1989; JENSEN, 1991).

Finally what determines the degree of exposure of mixed forests to the risk of disease would be the quantitative and qualitative composition of the mixture of forest species rather than their species-richness.

Conclusions

The material presented in this paper allows drawing two main conclusions.

1. There is little doubt that insect species range and performance are affected by the climate change, but the main objective is to understand the direction of the change. If the direct effect of the temperature or drought on insects can be included in predictive models, the indirect effects due to the modification of the host plant quality by the climate change are more difficult to find and to predict. A further complication is given by the interaction of temperature and host plant quality, and by the response of the third trophic level or natural enemies to the changes occurring in the herbivores and their host plants.

2. Forest sustainability and conversion of pure into mixed forests seems to be compatible with reducing the risk of insect damage, at least for monophagous species which are notably the most important. This may have a cost in term of yield of a given species, even if at the ecosystem level the loss of growth of one species can be compensated by higher growth of the unaffected species. However recent studies have shown that tree species diversity may also result in higher forest stand productivity (PIOTTO, 2008, POTVIN & GOTELLI 2008, PAQUETTE & MESSIER, 2010), notably in Mediterranean forests (VILA *et al.*, 2007).

A.B., H.J.

Acknowledgements

The research leading to these results has been conducted as part of the BACCARA project which received funding from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7/ 2007-2013) under the grant agreement n° 226299.

Andrea BATTISTI
Universita di Padova
DAAPV-Entomologia
Agripolis - Viale
dell'Universita 16
35020 Legnaro PD
Italia
Tel.: 0039 049 8272804
Fax: 0039 049 8272810
E-mail:
andrea.battisti@
unipd.it

Hervé JACTEL
UMR Biodiversité
Gènes et Ecosystèmes
Equipe Entomologie
Forestière
INRA
69 route d'Arcachon
33612 Cestas Cedex
France
Tel.: 05 57 12 28 59
Fax: 05 57 12 28 81
E-mail:
herve.jactel@
pierroton.inra.fr

References

- Alfaro R.J., Hantula J., Carroll A., Battisti A., Fleming R., Woods A., Hennon P.E., Lanfranco D., Ramos M., Müller M., Lilja A., Francis D. (2010). Forest Health in a changing environment. Pages 113 to 134 in G. Mery, P. Katila, G. Galloway, R.I. Alfaro, M. Kanninen, M. Lobovikov and J. Varjo, editors. Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change. International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), Vienna, Austria.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N. (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 660-684.
- Ayres, M.P., & Lombardero M.J. (2000). Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The Science of the Total Environment*, 262, 263-286.
- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., et al. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8, 1-16.
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A. and Larsson, S. (2005). Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, 15, 2084-2096.
- Battisti, A. Stastny, M., Buffo, E. and Larsson S. (2006). A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*, 12, 662–671.
- Bezemer, T.M., & Jones, T.H. (1998). Plant-insect herbivore interactions in elevated atmospheric CO₂: quantitative analyses and guild effects. *Oikos*, 82, 212-222.
- Coupe, M.D., & Cahill, J.F. Jr (2003). Effects of insects on primary production in temperate herbaceous communities: a meta-analysis. *Ecological Entomology*, 28, 511–521.
- Dulaurent A.-M., Porté A.J., van Halder I., Vétillard F., Menassieu P. & Jactel H.. 2010. Hide and seek in forests: colonization by the pine processionary moth is impeded by the presence of non-host trees. *Agricultural and Forest Entomology* (in press)
- Fabbio, G., Merlo, M., & Tosi, V. (2003). Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe—the Mediterranean region. *Journal of Environmental Management*, 67, 67–76.
- Fajer, E.P., Bowers, M.D., & Bazzaz, F.A. (1989). The effects of enriched carbon dioxide atmospheres on plant-insect herbivore interactions. *Science*, 243, 1198-1200.
- Gaston, K.J. (2003). *The Structure and Dynamics of Geographic Ranges*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Géri C., 1980. Application des méthodes d'études démécologiques aux insectes défoliateurs forestiers: cas de *Diprion pini* et dynamique des populations de la processionnaire du pin en Corse, Thesis, Université de Paris-Sud.
- Gottschalk, K.W., & Twery, M.J. (1989). Gypsy moth in pine-hardwood mixtures. In T.A. Waldrop (Ed.) *Pine-hardwood mixtures: a symposium on management and ecology of the type*. (pp 50-58). USDA Forest Service General Technical Report SE 58.
- Harrington, R., Fleming, R.A., & Woiwod, I.P. (2001). Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology*, 3, 233-240.
- Hodar, J.A., Castro, J. and Zamora, R. (2003). Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biological Conservation*, 110, 123-129.
- Hunter, M.D. (2001). Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Agricultural and Forest Entomology*, 3, 153-159.
- Kerdelhué C, Zane L, Simonato M, Salvato P, Rousselet J, Roques A, Battisti A. (2009). Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC Evolutionary Biology*, 9, 220, doi:10.1186/1471-2148-9-220
- Jactel, H., Brouckhoff, E., & Duelli, P. (2005). A test of the biodiversity-stability theory: Meta-analysis of tree species diversity effects on insect pest infestations, and re-examination of responsible factors. In M. Scherer-Lorenzen, C. Körner, E.D., & Schulze, (Eds.), *The functional significance of forest diversity*. (pp. 235-262), Berlin: Springer.
- Jactel, H., Brouckhoff, E. (2007) Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters*, 10, 835-848.
- Jactel, H.; Brouckhoff, E.; Piou, D. (2008). Disease risk in mixed forests. *Revue Forestière Française*, 60, 168-180
- Jactel, H., Menassieu P., Vétillard, F., Gaulier A., Samalens J.C. and Brouckhoff E.G., 2006. Tree species diversity reduces the invasibility of maritime pine stands by the bark scale, *Matsucoccus feytaudi* (Homoptera: Margarodidae). *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 314–323.
- Jactel, H., Nicoll, B., Branco, M., Gonzalez-Olabarria, J.R., Grodzki, W., Langström, B., Moreira, F., Netherer, S., Orazio, C., Piou, D., Santos, H., Schelhaas, M.J., Tojic, K., Vodde, F. (2009). The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Annals of Forest Science*, 66, 701.
- Jactel, H., Birgersson, G., Andersson, S., and Schlyter, F. (2010). Non-host volatiles mediate associational resistance to the pine processionary moth. *Oecologia* (in press).
- Jensen, T.S. (1991). Integrated pest management of the nun moth, *Lymantria monacha* (Lepidoptera: Lymantriidae) in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 39, 29-34.
- Jones, T.H., Thompson, L.J., Lawton, J.H., Bezemer, T.M., Bardgett, R.D., Blackburn, T.M., et al. (1998). Impacts of rising atmospheric carbon dioxide on model terrestrial ecosystems. *Science*, 280, 441-443.

- Lieutier, F. (2004) Host resistance to bark beetles and its variations. Kluwer Academics Publishers, Dordrecht.
- Lindroth, R.L., Kinney, K.K., & Platz, C.L. (1993). Responses of deciduous trees to elevated atmospheric CO₂: productivity, phytochemistry and insect performance. *Ecology*, 74, 763–777.
- Paquette, A. & Messier, C. (2010). The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests. *Global Ecology and Biogeography*, DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00592.x
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37–42.
- Percy, K.E., Awmack, C.S., Lindroth, R.L., Kubiske, M.E., Kopper, B.J., Isebrands, J.G., et al. (2002). Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO₂ and O₃. *Nature*, 420, 403–407.
- Piotto, D. (2008). A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. *Forest Ecology and Management* 255, 781–786
- Potvin, C. & Gotelli, N.J. (2008) Biodiversity enhances individual performance but does not affect survivorship in tropical trees. *Ecology Letters*, 11: 217–223.
- Root, R.B. (1973). Organization of a plant–arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards, *Brassica oleracea*. *Ecological Monographs*, 43, 95–124.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C., & Pounds, J.A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421, 57–60.
- Rouault G., Candau J.N., Lieutier F., Nageleisen L.M., Martin J.C., Warzée N. (2006) Effects of drought and heat on forest insects populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Annals of Forest Sciences*, 63, 613–624.
- Rousselet J, Zhao R, Argal D, Simonato M, Battisti A, Roques A, Kerdelhué C (2010). The role of topography in structuring the demographic history of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera Notodontidae). *Journal of Biogeography*, 37, 1478–1490.
- Scarascia-Mugnozza, G., Oswald, H., Piussi, P., & Radoglou, K. (2000). Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, 132, 97–109.
- Siemann E., Tilman D., Haarstad J. and Ritchie M., 1998. Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *American Naturalist*, 152, 738–750.
- Sinclair, B.J., Vernon, P., Klok, C.J., & Chown, S.L. (2003). Insects at low temperatures: an ecological perspective. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 257–262.
- Smith, P.H.D., & Jones, T.H. (1998). Effects of elevated CO₂ on the chrysanthemum leafminer, *Chromatomyia syngenesiae*: a green-house study. *Global Change Biology*, 4, 287–291.
- Solomon S. et al. (2007). Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L., eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Speight, M.R., Hunter, M.D., & Watt, A.D. (2008). Ecology of insects: concepts and applications. 2nd edition. Oxford UK: Blackwell.
- Stastny, M., Battisti, A., Petrucco-Toffolo, E., Schlyter, F., Larsson, S. (2006). Host-plant use in the range expansion of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa*. *Ecological Entomology* 31: 481–490.
- Vila, M., Vayreda, J. Comas, L., Ibanez, J.J., Mata, T., Obon, B. (2007). Species richness and wood production: a positive association in Mediterranean forests. *Ecology Letters*, 10: 241–250.
- Wainhouse, D. (2005). *Ecological methods in forest pest management*. Oxford, UK.
- Walther, G-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., et al. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395.
- White, J.A., & Whitham, T.G. (2000). Associational susceptibility of cottonwood to a box elder herbivore. *Ecology*, 81, 1795–1803.
- White T.C.R. 1984. The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia*, 63, 90–105.
- Williams, D.W., & Liebhold, A.M. (1995). Herbivorous insects and global change - potential changes in the spatial-distribution of forest defoliator outbreaks. *Journal of Biogeography*, 22, 665–671.

Summary

The paper presents the consequences of the climate change on the forests of the Mediterranean basin, in relation to the ecology and management of populations of insect herbivores. Climate warming may have consequences on forest tree composition, modifying the structure of the ecosystems and then the susceptibility to monophagous/polyphagous herbivores, as well as on the tree quality, affecting indirectly the performance of the insect populations. Several options are given for the future of pest management in Mediterranean forests.

Prendre en compte la dimension dynamique de l'adaptation pour gérer les incertitudes : importance des ressources génétiques forestières

par François LEFÈVRE

Au-delà de la capacité propre de chaque être vivant à supporter des changements de leur environnement physique, ce sont aussi les multiples interactions biologiques entre organismes, au sein des écosystèmes naturels et cultivés, qui seront affectées par le changement climatique. En outre, le changement climatique se combine de façon interactive aux changements d'usages, d'aménagement des territoires, aux évolutions des réglementations. L'ampleur du changement global sur un pas de temps court (notamment pour les arbres) est un contexte nouveau, on peut en voir les premiers symptômes en forêt : modifications de la croissance et de la productivité des forêts, dépérissements sporadiques ou massifs, évolution des feux de forêts dans certaines zones, migrations d'insectes, migrations d'arbres, invasions biologiques...

La certitude de l'émergence de changements majeurs s'accompagne de multiples incertitudes : incertitudes sur les scénarios socio-économiques résultant de l'interaction entre processus locaux et globaux, sur les scénarios climatiques en terme de tendance, mais aussi et surtout, en terme de fréquence et d'intensité des aléas, sur la capacité biologique de réponse des organismes aux changements de leur environnement physique, sur la réponse écologique d'écosystèmes complexes dont toutes les composantes n'ont pas la même capacité ni la même vitesse de réponse aux changements, sur l'impact indirect des mesures adaptatives qui seront prises et notamment les plus innovantes d'entre elles.

Le secteur forestier s'est rapidement préoccupé de cette situation nouvelle, inédite (voir références bibliographiques). Et on peut le comprendre, car le temps du changement est aussi celui de la réaction des écosystèmes et celui de la réponse des écosystèmes aux pratiques de gestion : au cours du XX^e siècle, l'augmentation de la température moyenne en France était de l'ordre d'1°C et pourrait être plus forte au cours du siècle prochain ; un siècle, c'est aussi le temps d'une ou deux générations d'arbres suivant les espèces, c'est le temps d'une à cinq ou six révolutions forestières suivant les types de forêts. Le principe de précaution n'est assurément pas du côté du déni de changement ou de la non-réaction. Mais il n'est pas non plus du côté de n'importe quelle action, car des mesures adaptatives inappropriées sont susceptibles d'accélérer encore les changements et de les intensifier, par effets indirects. Notre défi est donc d'agir maintenant, malgré les incertitudes, tout en continuant de lever ces incertitudes pour améliorer continuellement nos stratégies. Les ressources génétiques forestières peuvent contribuer à relever ce défi.

Sous le terme de ressources génétiques, on intègre le matériel végétal (populations, individus) contenant une diversité génétique ayant une valeur effective ou potentielle. Les ressources génétiques ne sont pas des ressources minières : d'une part, chaque entité

renferme en elle-même une grande diversité (pour chaque espèce forestière, la diversité génétique au sein des populations est plus importante que la divergence entre populations) et, d'autre part, il s'agit de ressources vivantes ayant leur propre dynamique d'évolution. On peut ainsi définir différents critères d'appréciation des ressources génétiques : leur qualité en terme de réponse à des objectifs (écologiques ou économiques) fixés à un moment donné, leur adaptation, c'est-à-dire leur capacité de survie, croissance et reproduction dans des conditions environnementales constantes, mais aussi leur adaptabilité, c'est-à-dire leur capacité d'évolution dans un environnement changeant (plasticité des arbres en place ou évolution génétique entre générations). Si les ressources génétiques ne sont pas un matériau figé, cela n'est pas seulement une complexité supplémentaire, leur évolutivité est aussi un atout pour répondre au contexte de changement et à toutes ses incertitudes. Cette propriété d'évolutivité des ressources génétiques est donc fondamentale, elle tient notamment à leur diversité génétique. Ainsi, le défi à relever est celui d'un double objectif : pour maintenir les options futures, il est essentiel de préserver la diversité génétique sur le long terme, tout en favorisant les processus évolutifs pour accélérer l'adaptation courante des ressources à leur environnement changeant.

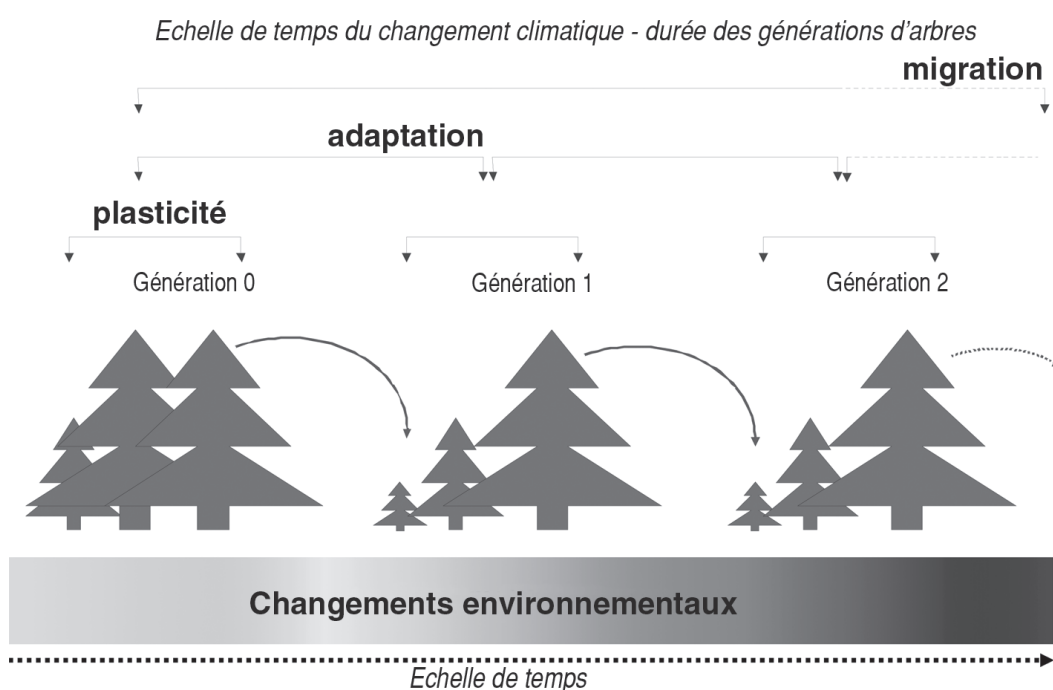


Fig. 1 :
Echelles de temps
comparées des change-
ments climatiques et des
générations d'arbres.

Ce double objectif, favoriser l'adaptation tout en préservant la diversité, nécessite de développer une approche dynamique de la diversité, s'intéressant aux trajectoires d'évolution plus qu'aux états. En effet, dans un contexte aussi incertain, comment figer, a priori, un objectif d'état idéal pour le moyen ou le long terme sans risquer une erreur d'appréciation des besoins futurs, sans tenir compte des risques d'effets indirects de l'option choisie ? Une stratégie basée sur les trajectoires évolutives, avec le double objectif précédent, préserve les options pour des ajustements en continu (stratégie adaptable). Une telle stratégie doit s'appuyer sur notre connaissance des processus dynamiques d'évolution génétique, elle doit aussi intégrer au plus vite les nouvelles connaissances dans ce domaine, dans une démarche de recherche-action où recherche, expertise collective et transfert des connaissances doivent se coordonner efficacement.

Sur le pas de temps qui nous intéresse ici, la diversité génétique des populations évolue sous l'effet de processus stochastiques (effets aléatoires d'échantillonnage en population finie), de processus dirigés (la sélection naturelle par le milieu physique et les interactions biotiques) et de flux de gènes (échange de pollen ou de graines). On voit bien que ces processus sont influencés par la sylviculture au travers des effectifs de reproducteurs, de la durée de génération, de la sélection des types d'individus contribuant à la régénération suivante, de l'intensité de la compétition, de l'intensité d'autres pressions de sélection, de la plantation de matériel sélectionné... Mais les processus évolutifs sont aussi influencés par l'aménagement du territoire, qui détermine les capacités de flux de gènes et de migration des espèces, ainsi qu'à un niveau encore plus global par les directives et réglementations, qui déterminent les actions précédentes (Cf. Fig. 1). Ainsi, tous les acteurs de la filière doivent se sentir concernés par la stratégie de gestion durable des ressources génétiques forestières.

Pour les acteurs locaux, la question qui reste délicate est celle du temps de l'anticipation. Dans une large gamme de politiques forestières allant depuis le maintien des espèces existantes en jouant sur leurs capacités intrinsèques d'évolution génétique, jusqu'à une mutation drastique des peuplements à l'aide d'essences exotiques, en passant par des stratégies intermédiaires qui restent à inventer de type « renforcement

génétique » des populations locales, à partir de quand décide-t-on que telle ou telle option n'est plus envisageable ? On peut raisonner cette question en terme de coûts-bénéfices-risques associés à différentes stratégies de gestion sur la base de nos connaissances des processus évolutifs, en acceptant, bien sûr, de faire évoluer ce raisonnement avec l'avancée des connaissances. C'est ce qu'a fait la Commission des ressources génétiques forestières¹.

En conclusion, les ressources génétiques forestières sont un des éléments sur lesquels on doit appuyer l'adaptation des forêts au changement climatique. Cet élément doit être mieux pris en compte, dès maintenant, par les différents acteurs de la filière. Compte tenu des incertitudes, il faut adopter des stratégies adaptables et se méfier des prétendues solutions miracles. En terme de ressources génétiques, cela est possible si l'on raisonne avec un double objectif : préserver la diversité génétique sur le long terme, tout en favorisant les processus évolutifs pour accélérer l'adaptation courante des ressources à leur environnement changeant.

F.L.

François LEFEVRE
Institut National de la
Recherche
Agronomique (INRA)
UR 629 Ecologie
des Forêts
Méditerranéennes
Site Agroparc,
84914 Avignon
Cedex 9
Email : lefevre@
avignon.inra.fr

Références bibliographiques

- Legay M. & Mortier F. (2006) La forêt face au changement climatique, adapter la gestion forestière. *Les Dossiers Forestiers de l'ONF* n°16
- ONF (2007) Forêts et milieux naturels face au changement climatique. *Rendez-Vous techniques de l'ONF*, hors-série n°3
- Roman-Amat B (2007) Préparer les forêts françaises au changement climatique. Rapport à MM les ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable
- Forêt Méditerranéenne (2008) Actes du colloque changements climatiques et forêt méditerranéenne Nov. 2007. Tome XXIX n°2

1 - Pour plus de détails, une brochure de quatre pages, rédigée par la Commission des ressources génétiques forestières intitulée « Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique » est disponible sur le site internet <http://agriculture.gouv.fr/conservation-des-ressources>

Taking into account the dynamics of adaptation for better management of uncertainty: the importance of forest genetic resources

by François LEFÈVRE

Beyond the individual capacity of each living organism to deal with changes in its physical environment, there also exist within natural and man-induced ecosystems multiple biological interactions between such organisms which will also be affected by climate change. Furthermore, climate change has an interactive relationship to changes in customary land use, local and regional land development and the evolution in the regulatory framework. The scale of short-term global change (particularly for trees) amounts to a new context whose impact is manifest in the symptoms already visible in forests and woodlands: modifications to growth and productivity, sporadic or massive deterioration, an evolution of wildfire in certain areas, insect migration, displacement of species' distribution areas, biological invasions...

The sure fact that major changes are under way goes hand-in-hand with our uncertainty about a number of issues: doubts about the socio-economic scenarios that arise from the interaction between localised and global processes; or about scenarios where climate is seen from an overall perspective but also, indeed especially, in terms of the frequency and severity of damaging events; uncertainty about the ability of organisms to respond biologically to alterations in their physical environment, or about the ecological response of complex ecosystems

whose constituents do not react to change with the same ability nor at the same speed; and doubts about the indirect impact of the measures for adaptation that we undertake, particularly the most innovative of them.

The forestry sector was quick to take into account this new, unprecedented situation (see references below). This is not surprising, as the time frame for such change is the same as that needed for ecosystems to react or respond to management methods: in the course of the 20th century, the rise in France's average temperature was 1°C and could well be greater in the coming century. A century is also the time span for one tree generation or two, depending on the species, or four or five forestry rotations, depending on the type of stand. The principle of precaution should definitely not be seen as support for the side denying climate change or refusing to react. On the other hand, it does not favour doing just any new thing since unsuitable adaptive measures, by their indirect impact, are likely to accelerate changes and intensify their effects. The challenge, then, is to act now despite our uncertainty, striving all the time to resolve our doubts and continually improve our strategies. A forest's genetic resources can contribute to meeting this challenge.

By the term genetic resources is meant plant material (whole populations, individ-

ual specimens) whose genetic diversity represents effective or potential value. Genetic resources are not like mining deposits: first of all, each entity harbours within itself great diversity (for each forest species, the genetic diversity throughout a population is greater than the divergence between populations) and secondly, the resources are living elements that possess their own evolving dynamic. In this light, the different criteria for assessing genetic resources can be defined: their nature, in terms of response to objectives (ecological or economic) fixed at a particular time; their adaptation, which means the ability to survive, grow and reproduce in fixed environmental conditions; and their adaptability also, which means their capacity to evolve in a changing environment (flexibility of trees presently growing or genetic evolution over generations). While genetic resources are not a rigidly-fixed substrate, this fact does not merely bring additional complexity: their evolutionary nature is a real trump card in responding to the context of change with all its inherent uncertainty. Hence, this capacity of genetic resources to evolve is fundamental and it stems from their genetic diversity. So the challenge is to meet a two-fold objective: preserving genetic diversity over the long term, which is essential for keeping future options open, and at the same time favouring evolutionary processes to accelerate present-day

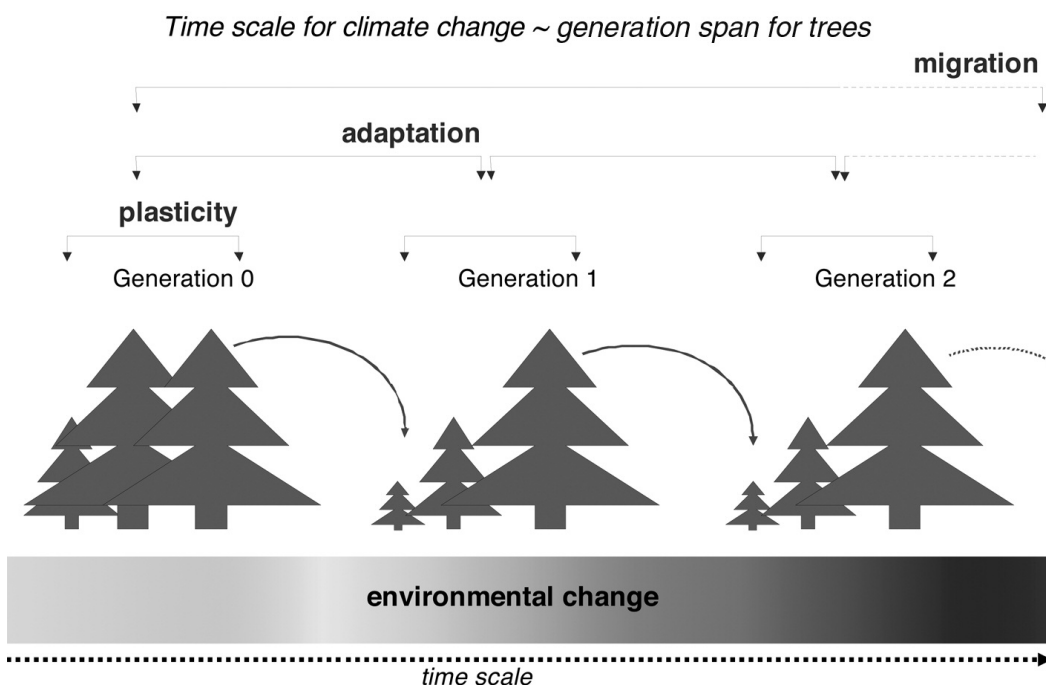


Figure 1:
Time scale for climate change and generation span for trees

François LEFEVRE
Institut National de la
Recherche
Agronomique (INRA)
UR 629 Ecologie
des Forêts
Méditerranéennes
Site Agroparc,
84914 Avignon
Cedex 9
Email : lefevre@
avignon.inra.fr

1 - For more
information, a document
(4 pages), written by the
Commission on Forest
Genetic Resources
« *Preservation and use of
the diversity of forest
genetic resources to
strengthen the adaptability
of forests to climate
change* » is available in
the website
[http://agriculture.gouv.fr/
conservation-des-
ressources](http://agriculture.gouv.fr/conservation-des-ressources)

adaptation of resources to their changing environment.

This two-fold objective, fostering adaptation while preserving biodiversity, necessitates developing a dynamic approach to diversity. This involves focusing more on evolutionary pathways than on any actual state. That is to say: in such an uncertain context, how can one's goal be to define in advance, once and for all, an ideal state for the medium or long term without risking a mistake in understanding future needs when the risks of the indirect effects of the chosen option are not taken into account? A strategy based on evolving pathways, with the above-defined twin objectives, keeps the options open for continuous adjustments (adaptable strategy). Such a strategy must rely on our understanding of the dynamics of evolutionary genetic processes and it should also integrate as fast as possible new knowledge in this area in a combined research-action spearhead by which research, collective expertise and transfer of knowledge are effectively coordinated.

On the time scale that concerns us here, the genetic diversity of a population evolves via different processes: stochastic (random effects of sampling in a finite population), directed (natural selection by the physical habitat and biotic interaction), and the flux of genes (exchange of pollen or seeds). It is clearly apparent that such processes are influenced by silviculture through the number of reproducing individuals, duration of the reproduction process, selection of the types of specimen contributing to the following generation, intensity of competition, level of other forms of selective pressures, planting of selected material... But evolutionary processes are impacted first by land use and development, which determine the degree of the flux of genes and the migration of species, and also, at another level, by directives and regulations which will have governed the preceding action (see Fig. 1). Thus, every stakeholder in this economic sector should feel involved in the strategy for the sustainable management of forest genetic resources.

For people at a local level, the tricky question is the time frame for anticipating. There exists a very wide spectrum of forestry policies. These range from the maintenance of existing species by going in the direction of their innate ability to evolve genetically, to a

drastic mutation of populations by the introduction of exotic species; or intermediate strategies yet to be designed, akin to "genetic reinforcement" of local populations. At what point does one decide that a given option can no longer be envisaged? The problem can be tackled in terms of costs-benefits-risks associated to various management strategies on the basis of our understanding of evolutionary processes. It goes without saying that such a reasoned approach will evolve as our knowledge increases. The Commission on Forest Genetic Resources has taken this approach (cf. brochure mentioned above).

In conclusion, forest genetic resources are one of the elements on which adapting forests to climate change should be based. This aspect should be better taken into account as of now by all those involved in the sector. Given the prevailing uncertainties, adaptable strategies must be adopted and apparently miraculous solutions eschewed. In terms of genetic resources, this is possible if a two-fold objective remains the guideline: preserving genetic diversity over the long term while at the same time favouring evolutionary processes to accelerate present-day adaptation of resources to their changing environment.

F.L.

Bibliographic references

- Legay M. & Mortier F. (2006) La forêt face au changement climatique, adapter la gestion forestière. *Les Dossiers Forestiers de l'ONF* n°16
- ONF (2007) Forêts et milieux naturels face au changement climatique. *Rendez-Vous techniques de l'ONF*, hors-série n°3
- Roman-Amat B (2007) Préparer les forêts françaises au changement climatique. Rapport à MM les ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable
- Forêt Méditerranéenne* (2008) Actes du colloque changements climatiques et forêt méditerranéenne Nov. 2007. Tome XXIX n°2

Comprendre le comportement du feu à l'échelle du paysage : une approche physique tri-dimensionnelle

par Jean-Luc DUPUY

Introduction

Comprendre le comportement du feu peut passer par des approches théoriques, expérimentales ou de modélisation. La littérature scientifique enseigne que la propagation du feu et ses impacts résultent de mécanismes complexes même pris isolément, mais dont les actions sont en plus couplées : aérodynamique, transferts thermiques, dégradation thermique de la végétation (pyrolyse) et combustion. Si la théorie est bien établie pour ces mécanismes et fournit une connaissance qualitative pour chacun d'eux, leur combinaison, le caractère fortement hétérogène du combustible forestier et la nécessité de quantifier les phénomènes imposent le recours à l'expérimentation et à la modélisation. Les feux de forêt sont cependant difficiles à expérimenter en conditions naturelles. Les conditions météorologiques et d'humidité de la végétation connaissent des variations journalières, qu'il n'est pas facile de prévoir, la réalisation des mesures est compliquée, et les brûlages sont soumis à des contraintes légales et foncières. De ce fait, la modélisation est depuis longtemps un outil privilégié pour étudier les mécanismes des feux de forêt ou en prédire la propagation et les impacts.

Les modèles de propagation du feu appartiennent à deux grandes catégories, empirique ou physique (SULLIVAN 2009a,b). Les modèles empiriques sont établis sur la base de données expérimentales, souvent de terrain, parfois de laboratoire, et relient statistiquement quelques caractéristiques du feu, le plus souvent la vitesse de propagation, aux conditions environnementales (vent, pente) et au type de combustible. Par nature, la validité des prédictions de ces modèles est limitée aux conditions qui ont permis de les établir, gamme de vent, de pente et

type de végétation, et ils ne permettent pas d'examiner les mécanismes du feu. Les modèles physiques au contraire incorporent les mécanismes du feu. Cependant, jusque dans les années 90, ces modèles ignoraient les phénomènes aérodynamiques et simplifiaient à l'excès les processus de combustion, généralement résumés à la donnée des caractéristiques d'une flamme. C'est seulement depuis la fin des années 90, qu'une approche physique plus complète prend en compte explicitement la combustion et les effets aérodynamiques, qui résultent de l'interaction entre le vent ambiant, les vents induits par le feu, la végétation et la topographie. Cette approche nécessite la résolution des équations de conservation de la physique sur un maillage de l'espace et dans le temps. Le développement des capacités de calcul des ordinateurs est largement responsable de cette évolution. Les modèles issus de cette approche nouvelle sont rares (trois ou quatre dans le monde) et nous nous focaliserons ici sur le modèle HIGRAD-FIRETEC développé conjointement par le Los Alamos National Laboratory (Etats-Unis) et l'INRA d'Avignon (France) (LINN *et al.* 2005, PIMONT *et al.* 2010). Ce modèle permet en effet de réaliser des simulations numériques de propagation du feu (i) tri-dimensionnelles, (ii) dans des conditions naturelles et (iii) à l'échelle de petits paysages (< 2 km), fonctionnalités que les autres modèles de même nature ne possèdent pas encore toutes. La résolution spatiale du modèle est de l'ordre de 2 m.

A travers quelques exemples, nous montrerons en quoi le modèle aide à comprendre la propagation des feux de forêt et nous illustrerons ses potentialités en terme de prédictions opérationnelles.

Photo 1 :

Feux expérimentaux dans une prairie australienne. Les trois feux ont été allumés au même instant, mais sur trois lignes de longueur différente.
Photo P. Cheney et A. Sullivan (Cheney *et al.* 1993).



Validations du modèle

La validation du modèle utilisé pour examiner ou prédire le comportement du feu est nécessaire si on souhaite tirer des conclusions réalistes à partir des simulations numériques. Plusieurs travaux de validation ont déjà été conduits sur le modèle HIGRAD-FIRETEC. Les trois feux expérimentaux visibles sur la photo 1 ont été allumés au même instant, mais sur des lignes de longueur différentes. Il apparaît très nettement que plus la ligne d'allumage est longue, plus le feu se propage vite. Le modèle a été capable de restituer cette observation (LINN *et al.* 2005). Les prédictions de vitesse de propagation du modèle ont aussi été comparées aux vitesses observées dans des conditions de végétation et environnementales variées. Le tableau I montre que les prédictions sont très raisonnables, on notera cependant qu'il s'agit de feux de strates basses (pas d'arbres). Une comparaison approfondie à des feux de cimes expérimentaux conduits au Canada est en cours. Les simulations de vent s'écoulant au sein d'une forêt ont également été validées avec succès sur la base de données précises (PIMONT *et al.* 2009). Cette validation est importante puisque le vent est un facteur essentiel du comportement du feu et a un comportement complexe au sein d'un couvert arboré. Le modèle a aussi été utilisé pour simuler des contre-feux expérimentaux réalisés en Galice (Espagne) et les conclusions qualitatives tirées des expériences et du modèle ont été similaires.

Il convient de souligner que la validation est le plus souvent un exercice très difficile, puisqu'il faut connaître finement toutes les conditions expérimentales et être capable de les représenter dans le modèle. Cet exercice peut conduire à modifier le modèle pour en améliorer les prédictions, ce qui implique alors de conduire de nouvelles validations.

Importance de la tri-dimensionnalité

Certains modèles physiques ne représentent le feu qu'en deux dimensions d'espace, par exemple dans un plan vertical (coupe verticale d'une ligne de feu), ce qui a l'avantage de réduire le temps réel de calcul d'une simulation. La nécessité de prendre en

Type de combustible	Hauteur (m)	Charge de combustible (kg/m ²)	FMC (1) (%)	Hauteur du feu (m)	Vitesse du vent (m/s)	Vitesse de propagation (m/s)	
						FIRETEC	Experiment
Garrigues France (2)	0.3	0.5	80	10	2.7 à 2 m	0.08	0.07
	0.4	0.8	140	10	5.6 à 6 m	0.10	0.07
	0.4	0.8	70	10	5.7 à 6 m	0.12	0.09
Garrigues Spain (3)	0.5	2.2	65	25	2.1 à 2 m	0.039	0.043
Prairies Australia (4)	0.7	0.7	5	50	3.0 à 2 m	0.7	0.7-0.8
	0.7	0.7	5	50	6.0 à 2 m	2.8	1.8-2.7

compte les trois dimensions d'espace apparaît par exemple dans une étude appliquée à l'utilisation du contre-feu. L'efficacité du contre-feu est souvent supposée accrue par l'appel d'air créé dans une zone située quelques dizaines de mètres ou plus en avant de l'incendie à traiter (ARÉVALO 1968, BENOIT DE COIGNAC 1986). Les simulations tri-dimensionnelles avec HIGRAD-FIRETEC ont révélé que l'existence de cet appel d'air est limitée dans de nombreuses situations à une distance de quelques mètres seulement. En fait, seules des situations topographiques particulières (feu descendant une pente) permettraient la création de cet appel d'air en avant du feu sur des distances significatives d'un point de vue opérationnel. Ces résultats concordent avec les observations réalisées au cours des contre-feux expérimentaux.

Pour mettre en évidence le rôle de la tri-dimensionnalité dans les phénomènes aérodynamiques associés au feu, la propagation de feux de surface dans des conditions variées de vent et de végétation a été simulée à la fois en deux et trois dimensions avec HIGRAD-FIRETEC. Les profils horizontaux de vent local, en avant du feu et à hauteur de végétation, ont été extraits de ces simulations et comparés dans les deux situations (Cf. Fig. 1). Il apparaît que le vent « sous le feu » est systématiquement sous-estimé par les calculs bi-dimensionnels et qu'un appel d'air à une distance significative du feu peut apparaître dans ces simulations. Dans un calcul tri-dimensionnel, le vent ambiant peut « traverser » le front de feu en certains points et être dévié vers le haut par la force du panache en des points voisins, alors que dans un calcul bi-dimensionnel, il ne peut que « passer » au-dessus des flammes ou « coucher » les flammes et le panache. De ces profils de vent, on peut déduire qu'un calcul bi-dimensionnel prédirait des conditions plus favorables à la réalisation du contre-feu, que le calcul tri-dimensionnel.

Enfin, si d'éventuels appels d'air peuvent s'établir localement et momentanément en avant du feu, ils sont instables d'un instant à l'autre ou d'un point à l'autre. Ceci rend d'autant plus aléatoire l'efficacité de l'appel d'air lors d'un contre-feu. La figure 2 illustre ce constat : le vent en aval du feu se structure en lignes parallèles de vitesses de vent alternativement faible et élevée, et on peut distinguer près du front de feu des appels d'air locaux coexistant avec au contraire des écoulements d'air dans le sens du vent

Tab. 1 :

Vitesses de propagation du feu, d'après Firetec et différentes expérimentations, pour des garrigues et prairies.

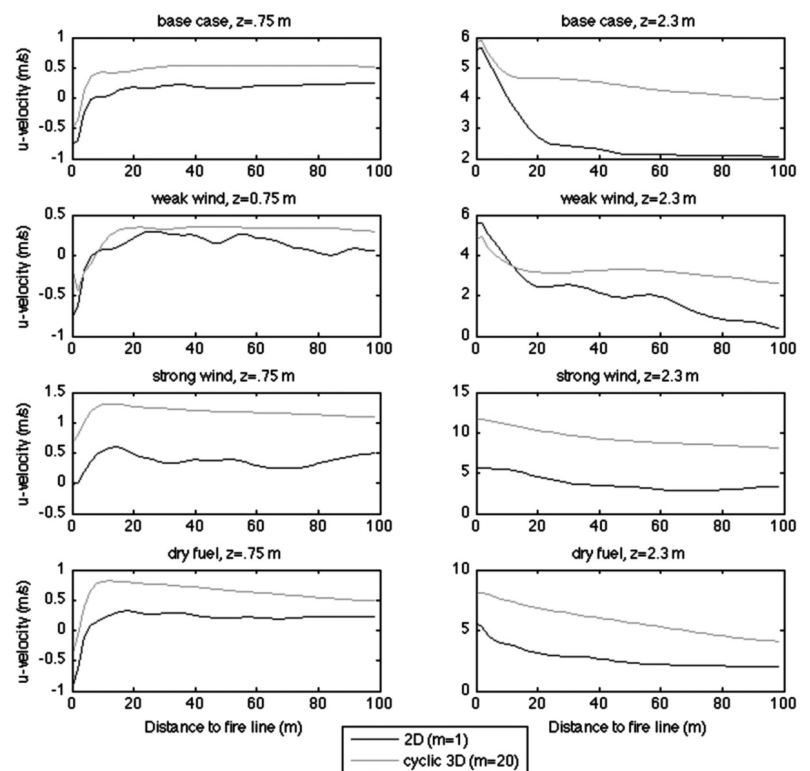
(1) FMC *Fuel moisture content* = Taux d'humidité du combustible

(2) données INRA, expérimentations de Beauchamp et Trou du Rat

(3) CIFL, sites de Edres et Carballas, Galice

(4) Cheney *et al.* 1993

Fig. 1 : Vitesse du vent « sous le feu » en fonction de la distance au front de feu, à 0.75 m du sol (gauche) et 2.3 m du sol (droite). En noir : simulations bi-dimensionnelles, en gris simulations tri-dimensionnelles. Dans le cas de base (en haut), la végétation est une garrigue de chêne kermès uniforme et le vent ambiant est modéré (20 km/h à 10 m de hauteur). Le vent faible (*weak wind*) correspond à un vent de 10 km/h et le vent fort (*strong wind*) à un vent de 40 km/h, dans la même végétation. Une végétation desséchée (*dry fuel*, en bas) a aussi été testée (elle pourrait représenter une friche en été).



ambient. Le résultat montré figure 2 a été obtenu avec une direction du vent ambiant supposée constante, ce qui explique l'organisation en lignes parallèles de l'écoulement. Un vent de direction variable conduirait à des structures plus complexes.

Ces conclusions ne remettent pas en cause le principe d'utiliser le contre-feu pour priver l'incendie de combustible. Elles indiquent qu'une ligne d'allumage du contre-feu proche du front de l'incendie ne garantit pas un effet bénéfique lié à un appel d'air, alors qu'elle conduit certainement à une prise de risque supérieure par rapport à un allumage à plus grande distance.

Comportement et impacts du feu dans les peuplements arborés

La simulation de feux dans une végétation représentant un peuplement de pin d'Alep éclairci dans sa partie centrale a permis de quantifier les effets de l'éclaircie en fonction de son intensité et de sa structure (PIMONT *et al* 2010). Les niveaux d'intensité d'éclaircie ont été définis par des recouvrements d'arbres de 50%, 25% ou 0% après éclaircie (le peuplement non traité présentant un recouvrement de 75%). La structure de l'éclaircie (agrégation des arbres) a été testée dans le cas d'un recouvrement de 25%, à l'aide de patches d'arbres de 4, 10 ou 20 m de diamè-

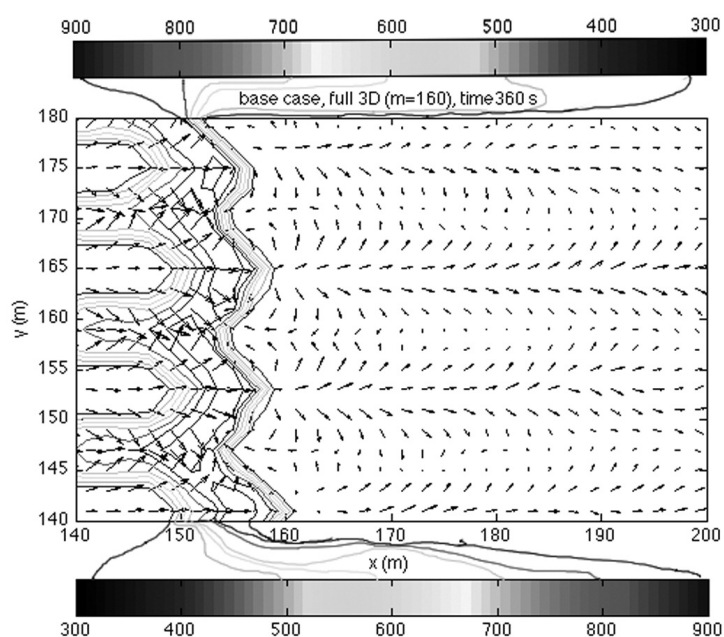
tre, ainsi que dans le cas théorique d'un couvert d'arbre homogénéisé sur toute la zone éclaircie. La strate arbustive basse est restée inchangée dans la zone éclaircie, cette zone pourrait donc correspondre à une coupure de combustible non entretenue.

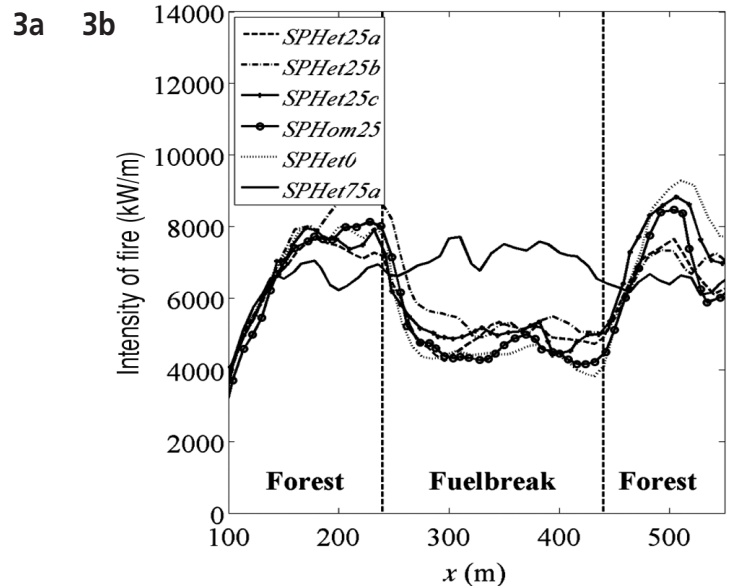
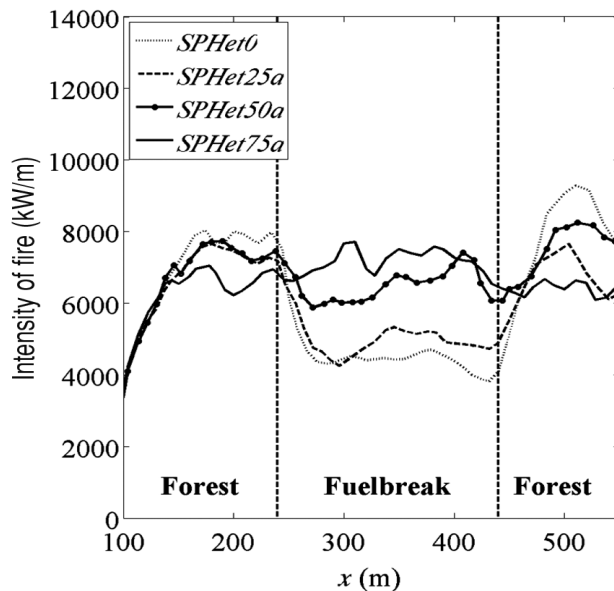
La figure 3a montre une réduction nette de l'intensité du feu (puissance en kW/m) à partir de 25% de recouvrement d'arbres. Un recouvrement de 50% ne permet pas une réduction significative d'un point de vue opérationnel. Sans arbre (0%), l'intensité est comparable au cas de 25 % de recouvrement : sans arbre, la biomasse totale est plus faible (cela fait diminuer l'intensité du feu), mais le vent au niveau de la strate arbustive est plus fort (cela augmente la vitesse du feu et donc son intensité). Le modèle prend en compte ces effets. La figure 3b montre que l'agrégation n'a pas d'effet sur l'intensité du feu. En fait, des simulations complémentaires ont montré un effet de l'agrégation des arbres sur l'intensité du feu pour des arbres présentant des houppiers de forte densité de feuillage, dépassant les valeurs connues pour les pins méditerranéens.

Une retombée inattendue de l'étude est l'identification de « couloirs » de couronnes d'arbres moins impactés par le feu (Cf. Fig. 4). Ces couloirs sont liés à la présence de tourbillons d'axe longitudinal parallèle au vent ambiant, qui causent un fort impact sur les arbres dans leur partie ascendante (montée des gaz chauds) et moins d'impact dans la partie descendante (descente d'air plus frais).

Lors de la simulation d'un feu de surface se propageant sous une canopée d'arbres, le modèle HIGRAD-FIRETEC prédit la température de l'air dans la canopée et permet notamment d'estimer la hauteur de roussissement foliaire des arbres sur la base d'un seuil de température létale. Ce seuil est généralement pris égal à une exposition des aiguilles de pin à une température de 60°C pendant une minute. Le roussissement foliaire est souvent un bon indicateur de la probabilité de mortalité des pins après feu (FERNANDES *et al* 2007). Les simulations d'une source de chaleur d'intensité fixée sous un peuplement de pin d'Alep ont montré que seules de très faibles intensités de feu (< 500kW/m) pourraient garantir une mortalité limitée des arbres. Ceci tient notamment à la faible hauteur de première branche feuillée du pin d'Alep. Ce résultat indique des fenêtres de brûlage dirigé assez res-

Fig. 2 :
Vents locaux « sous le feu » vu de dessus. Le vent ambiant souffle de gauche à droite dans la direction x. Les iso-contours de couleur représentent les isothermes du gaz (températures en Kelvins). Les vecteurs représentent la composante horizontale de la vitesse du vent local.





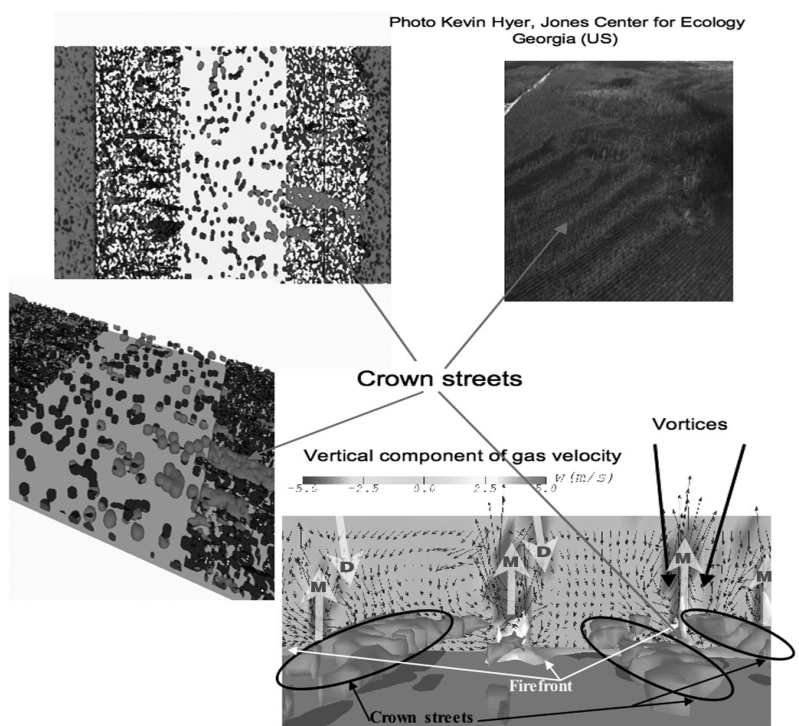
treintes. Ces simulations ont révélé un effet non significatif du vent ambiant (vent à découvert ou vent très au-dessus de la canopée) sur le roussissement foliaire, pour une intensité de feu fixée. Mais le roussissement foliaire s'accroît avec le vent, car l'intensité du feu de surface augmente avec le vent. Enfin, une densité de feuillage plus élevée induit des hauteurs de roussissement plus élevées (le feuillage étant réparti uniformément dans la direction horizontale i.e pas de trouées entre les arbres). Plus la végétation est dense, plus les mouvements d'air sont freinés, ce qui réduit le mélange d'air frais avec les gaz chauds de combustion. La température augmente alors à une même hauteur au-dessus du sol quand le feuillage est plus dense (effets observés pour des indices de surface foliaire variant de 2 à 6).

Feu et topographie

Pour simuler la propagation d'un feu sur une carte, les simulateurs opérationnels existants doivent combiner les effets du vent local et de la pente locale dans les directions de propagation possibles. Cette combinaison est réalisée à l'aide de modèles empiriques relativement simples, considérant un effet soit additif soit multiplicatif des deux facteurs. Les simulations réalisées avec HIGRAD-FIRETEC remettent en cause cette approche. La figure 5 montre les vitesses de feu simulées en fonction de la pente du terrain pour un vent fort et un vent faible, et pour un feu étroit et un feu large (ligne d'allumage de 20 ou 50 m). Clairement, dans le cas général, les effets ne sont ni additifs ni

Fig. 3 : Intensité du feu (puissance en kW/m de longueur de front de feu) en fonction de la distance parcourue. Le feu progresse de gauche à droite depuis une forêt non éclaircie (*Forest*) vers la zone éclaircie, mais non débroussaillée (*FuelBreak*).
(a) la légende indique les pourcentages de recouvrement des arbres dans la zone éclaircie (75% pas d'éclaircie, 0%, pas d'arbre).
(b) la légende indique le niveau d'agrégation (a : 4 m, b : 10 m, c : 20 m, Hom : homogénéisé) et le cas sans éclairci (75a) est à nouveau montré.

Fig. 4 : Dommages aux arbres et couloirs préservés par le feu (*crown streets*). Les images de gauche représentent les niveaux de densité de feuillage restant dans la canopée après feu (gris foncé : faible ; gris clair : élevé), calculés par HIGRAD-FIRETEC. La photo en haut à gauche a été prise aux Etats-Unis illustrant que les couloirs peuvent avoir une géométrie simple. L'image en bas à droite représente la valeur algébrique de la composante verticale du vent local : les courants ascendants (M), les courants descendants (D). Les flèches représentent la composante du vent dans le plan vertical, ce qui permet de visualiser les tourbillons (*vortices*). Ces vents locaux sont aussi calculés par le modèle.



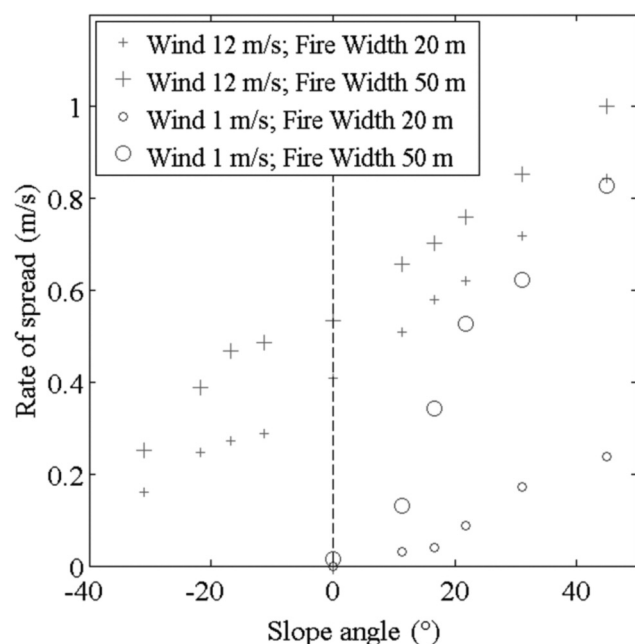


Fig. 5 :
Vitesse du feu (*Rate of spread*) en fonction de l'angle d'inclinaison de la pente (*Slope angle*) pour deux niveaux de vent (*Wind*) et deux longueurs de ligne d'allumage (*Fire Width*).

multiplicatifs. D'autre part, ces effets dépendent fortement de la taille du feu, ce qui n'est pas pris en compte par les modèles existants.

En prolongement de cette étude, la simulation de feux démarrant dans un canyon, a permis de mettre en évidence l'embrasement très rapide des versants du canyon après une propagation relativement lente dans le fond du canyon. La ligne de feu en bas de pente peut alors atteindre une grande longueur qui favorise une propagation très rapide sur la pente. Ce comportement est à rapprocher d'accidents graves sur le terrain où un feu de faible intensité en fond de canyon peut laisser penser qu'une intervention est sans danger particulier.

L'ensemble de ces résultats s'explique par les interactions complexes entre vent, topographie et feu, qui contribuent à modifier l'aérodynamique de l'écoulement suivant les situations.

Conclusion

Un modèle couplé feu-atmosphère tel que HIGRAD-FIRETEC est pour le scientifique un outil très puissant d'investigation des interactions complexes qui se déroulent lors d'un feu de forêt. Les moyens de calcul et l'expertise nécessaires pour utiliser ce type d'outil sont encore très importants et ne permettent pas d'envisager sa diffusion auprès

des gestionnaires ou des décideurs. Pour autant, la portée opérationnelle des simulations numériques est bien réelle et les chercheurs doivent donc se préoccuper de transférer les nouvelles connaissances apportées par ces simulations aux opérationnels. A terme, l'utilisation de modèles de ce type par des bureaux d'étude spécialisés pourrait permettre d'accélérer et d'améliorer ce transfert.

J.-L.D.

Références bibliographiques

- Arévalo C. (1968) El contrafuego. Su utilización para cortar y extinguir los incendios forestales. *Montes*, 142, 307-323.
- Benoit de Coignac G. (1986) Le contre feu : est-ce la seule technique efficace d'extinction des grands incendies ? *Forêt méditerranéenne* 8(2), 167-172.
- Cheney N.P., Gould J.S. and Catchpole W.R. (1993) The influence of fuel, weather and fire shape variables on fire-spread in grasslands. *International Journal of Wildland Fire* 3,31-44.
- Fernandes, P., Vega, J.A., Jimenez, J., and Rigolot, E. (2007). Pine resistance and survival to fire: state of the art. FIRE PARADOX, an innovative approach of integrated wildland fire management regulating the wildfire problem by the wise use of fire: solving the Fire Paradox. Contrat FP6-018505, Commission of the European Communities, Brussels (BEL), Deliverable D3.2-1, 39 p.
- Linn R.R., and Cunningham P. (2005). Numerical simulations of grass fires using a coupled atmosphere-fire model: basic fire behavior and dependence on wind speed. *Journal of Geophysical Research* 110: D13107
- Pimont, F., Dupuy, J.-L., Linn, R.R. and Dupont S. (2009) Validation of FIRETEC wind-flows over a canopy and a fuel-break. *International Journal of Wildland Fire* 18, 775-790.
- Pimont, F., Dupuy, J.-L., Linn R.R., Dupont S. (2010) Impacts of canopy structure on wind-flows and fire propagation simulated with FIRETEC. *Annals of Forest Science*, à paraître.
- Sharples JJ (2008) Review of formal methodologies for wind-slope correction of wildfire rate of spread. *International Journal of Wildland Fire* 17, 179-193.
- Sullivan, A.L. 2009a. Wildland surface fire spread modelling, 1990-2007. 1: Physical and quasi-physical models. *International Journal of Wildland Fire* 18, 349-368

Jean-Luc DUPUY
Institut National de la
Recherche
Agronomique (INRA)
UR 629 Ecologie
des Forêts
Méditerranéennes
Site Agroparc,
84914 Avignon
Cedex 9
Email : dupuy@
avignon.inra.fr

Understanding the behaviour of wildfire on the scale of landscape: a 3-dimensional physical approach

by Jean-Luc DUPUY

Introduction

Understanding the behaviour of wildfire can be attempted theoretically, experimentally or by modelling. The scientific literature teaches us that the propagation of wildfire and its impact result from mechanisms that even when taken singly are complex but, in fact, act together coupled in tandem: aerodynamics, heat transfer, thermal degradation of vegetation (pyrolysis), combustion. Though the theory of such mechanisms is well established and provides a qualitative understanding of each of them, their combination, allied to the highly variable nature of forest fuels and the need to quantify each phenomenon, necessitates experimentation and modelling. However, experimenting with forest fires in natural conditions is difficult: weather conditions and the level of moisture in the vegetation vary daily and are not easy to predict. Furthermore, carrying out measurements is complicated, while burning is subject to legal constraints and property rights. For such reasons, modelling has long been the preferred tool for studying the mechanisms of forest fires and forecasting their spread and impact.

The models for the propagation of wildfire belong to two broad categories, empirical and physical (SULLIVAN 2009a, b). Empirical models are designed using databases of experimental results, frequently obtained in the field, sometimes in the laboratory, and they establish a statistical connection between certain characteristics of fire, most often the speed of its advance, to environmental conditions (wind, slope) and the type of fuel. By the very nature of these models, the validity of the forecasts based on them is limited to the conditions which governed their design –a range of winds, slopes and vegetation- but which do not permit us to investigate the mechanisms of wildfire. Moreover, up until

the 1990s, such models took no account of aerodynamics and simplified excessively the processes involved in combustion, generally confined to data about the characteristics of a flame. It is only since the end of the '90s that a more exhaustive physical approach has taken into account combustion and the aerodynamic effects which result from the interaction of atmospheric wind, winds induced by the fire, vegetation and topography. This approach requires projecting the equations for conservation in physics onto a spatial grid spread over time. The technological development in computational capacity has been largely responsible for this evolution. The models resulting from this approach are scarce (three or four in the world) and here we will focus on the HIGRAD-FIRETEC model developed jointly by the Los Alamos National Laboratory (USA) and INRA- Avignon (France) (LINN *et al.* 2005, PIMONT *et al.* 2010). This model makes it possible to carry out numerical simulations for the spread of wildfire including (i) three dimensions (ii) natural conditions and (iii) a small-scale landscape (< 2 km), such functional parameters are not as yet all present in other models. The spatial resolution of the model is around 2 m.

Using a few examples, we will show in what way the model helps to understand the propagation of forest fire and illustrate its potential for operational predictions.

Validating the model

The model used for investigating or forecasting the behaviour of wildfire must be validated if realistic conclusions are to be drawn from numerical simulations. Several

validation procedures have been carried out for the HIGRAD-FIRETEC model. The three experimental fires visible in picture 1 were all ignited at the same time but with lines of fire of different widths. It is quite clear that the greater the width, the faster the fire spreads. The model was able to reproduce this observation (LINN *et al.* 2005). Predictions by the model about the speed of propagation were also compared to speeds observed in various conditions of plant cover and environment. Table 1 shows that predictions were very reasonable though it should be noted that the fires were in low-level vegetation (no trees). A farther-reaching comparison with experimental crown fires conducted in Canada is currently under way. Simulations of wind blowing within a forest have also been successfully validated on the basis of accurate data (PIMONT *et al.* 2009). This is an important validation because wind, an essential factor in the behaviour of wildfire, displays complex behaviour amid tree cover. The model has also been used in Galicia (Spain) to simulate experimental counter-fires and the qualitative conclusions drawn from the experiments and the model were similar.

It should be noted that validating a model is often a difficult procedure because the modeller must know in precise detail all the experimental conditions and be capable of representing them in the model. The procedure can lead to modifications in the model so as to enhance the forecasting but such modifications themselves entail yet further validation.

Importance of 3-dimensional modelling

Some physical models represent fire only in two spatial dimensions, for example on a vertical plane (vertical cross-section of a line of fire); this offers the advantage of a reduction in the time needed for calculating a simulation. But the need to take into account three dimensions appears in a study applied to counter-fires. The efficacy of a counter-fire is assumed to be enhanced by a draught created some tens of metres or more in front of the fire being fought (ARÉVALO 1968, BENOIT DE COIGNAC 1986). Three-dimensional simulations with the HIGRAD-FIRETEC model revealed that in numerous situations the

Picture 1:

Experimental fires in Australian grassland. The three fires were started at the same time but with three different widths.

© P. Cheney and A. Sullivan (Cheney *et al.* 1993).



Fuel type	Fuel height (m)	Fuel load (kg/m ²)	FMC (1) (%)	Fire width (m)	Wind speed (m/s)	Rate of spread (m/s)	FIRETEC	Experiment
Shrubland France (2)	0.3	0.5	80	10	2.7 at 2 m	0.08	0.07	
	0.4	0.8	140	10	5.6 at 6 m	0.10	0.07	
	0.4	0.8	70	10	5.7 at 6 m	0.12	0.09	
Shrubland Spain (3)	0.5	2.2	65	25	2.1 at 2 m	0.039	0.043	
Grassland Australia (4)	0.7	0.7	5	50	3.0 at 2 m	0.7	0.7-0.8	
	0.7	0.7	5	50	6.0 at 2 m	2.8	1.8-2.7	

Tab. I:

FIRETEC predicted versus experimental rates of spread in shrubland and grassland fires.

(1) FMC Fuel moisture content

(2) INRA's data, Beauchamp and Trou du rat experiments

(3) CIFL's data, Edres and Carballas sites, Galicia

(4) Cheney *et al.* 1993

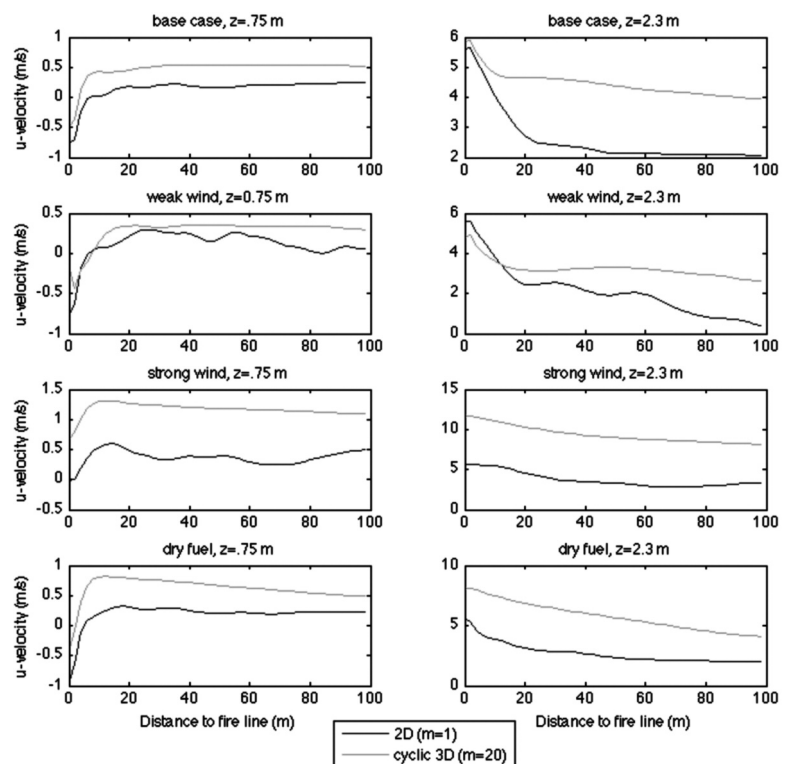
reality of such draughts is limited to only a few metres. In fact, only special topographical conditions (fire travelling down a slope) may give rise to such a draught before the fire at distances having a material effect on operations. These results corroborate observations recorded during the course of experimental counter-fires.

To highlight the role of a three-dimensional matrix in aerodynamic phenomena associated with wildfire, the propagation of surface fires in various conditions of wind and vegetation were simulated in both two and three dimensions using the HIGRAD-FIRETEC model. The horizontal profiles of the local wind, in front of the fire as well as at the height of vegetation, were extracted from the simulations and compared for the two positions (cf. Fig. 1). It appears that the "lee- or up-fire" wind is systematically underestimated by two-dimensional calculations and that a draught at a significant distance from the fire can appear in such simulations. In a three-dimensional calculation, the prevailing wind can "blow through" the line of fire at certain points and be deflected upwards by the strength of the plume at points nearby whereas in two-dimensional calculations the prevailing wind can only "pass" above the flames or "flatten" the flames and the plume. It can be seen from such wind profiles that a two-dimensional calculation will predict conditions more favourable for igniting a counter-fire than will a three-dimensional one. Finally, while draughts can eventually occur locally and momentarily in front of the fire-line, they are unstable from one minute to the next or from one spot to another. This makes the efficacy of draughts from counter-fires that much more haphazard. Figure 2 shows why: the wind "downwind" of the fire acquires a structure made up of lines of wind in parallel, with speeds alternately fast and slow; and close to the line of fire there appear localised

updraughts coexisting along with counter-vailing air flows in the direction of the prevailing wind. The result shown in Fig.2 was obtained with the prevailing wind speed assumed to be constant, which explains the air flow pattern of parallel lines. A wind with a varying direction would generate more complex structures.

These conclusions do not call into question the principle of counter-fires used to deprive a wildfire of fuel. They indicate that a line of counter-fires ignited close to the front of the

Fig. 1: "Down-fire" wind speed as a function of the distance from the fire line at 0.75 m from the ground (left) and at 2.3 mm from the ground (right). In black: two-dimensional simulations, in grey: three-dimensional simulations. In the basic context, the vegetation is a homogeneous *garrigue* bush cover with kermès oak and a moderate prevailing wind (20km/hr at 10 m above ground level). The weak wind corresponds to a 10 km/hr wind, strong wind to 40 km/hr, with the same vegetation. Dry fuel (bottom) was also tested (scrubland in summer).



wildfire does not guarantee a positive effect related to a draught being created whereas such a line certainly increases the degree of risk in comparison to fires set off farther away from the wildfire.

Behaviour and impact of wildfire in tree stands

The simulation of fires in plant cover representing a stand of Aleppo pine thinned out in its centre made it possible to quantify the effect of thinning as a function of its severity and structure (PIMONT *et al.* 2010). The degree of severity was defined by stands left after thinning with 50%, 25% or 0% cover (an untouched stand having a cover of 75%). The structure of the thinned area (clumps of trees) was tested for a stand showing 25% tree cover, using clumps of 4, 10 and 20m diameter, as well as for a theoretical case in which the tree cover was uniform throughout the thinned area. The low bush cover remained unchanged in the thinned-out area, thus likely to represent a fuel break lacking in upkeep.

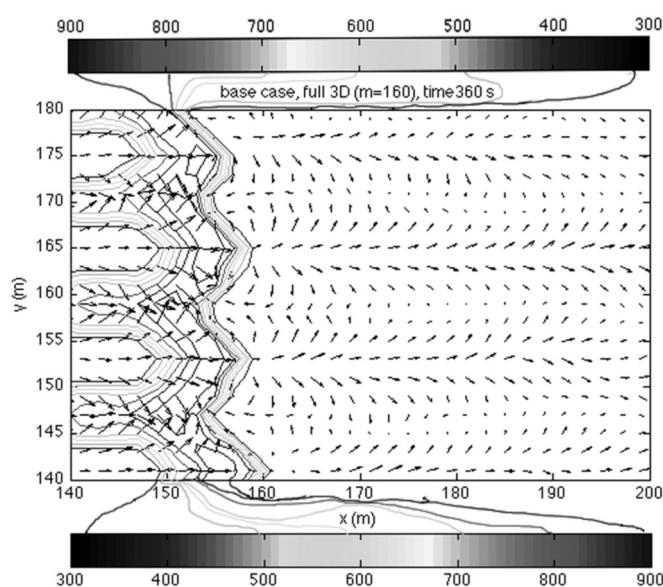
Figure 3a shows a clear reduction in the intensity of the wildfire (strength in kW/m) with 25% thinning. 50% tree cover led to no significant reduction from an operational point of view. With no trees (0%), the strength was equivalent to the 25% level: without trees, the total biomass is less (which reduces the intensity of the fire) but the wind at the level of the bushes is stronger (increas-

ing the speed of propagation of the fire and hence its intensity). The model takes into account these effects. Figure 3b shows that the clump structure has no impact on the intensity of the fire. In fact, additional simulations have shown clumps impact on the intensity of the fire when the trees have a thick, densely-leaved canopy to an extent not found in Mediterranean pines.

An unexpected outcome of the study is the identification of “streets” of tree crowns less affected by the fire (Fig. 4). Such streets are linked to a swirling effect of vortices around a longitudinal axis parallel to the prevailing wind. The swirling has a strong impact as it rises (upward movement of hot gases) and less as it plunges (descent of cooler air).

In a simulation of a surface fire spreading beneath a tree canopy, the HIGRAD-FIRETEC model predicted the air temperature within the canopy and notably made it possible to estimate the height of leaf scorching on the trees on the basis of a lethal temperature. The threshold is generally set equal to the exposure of pine needles to a temperature of 60° for one minute. Leaf scorching is often a reliable indicator of the likely mortality for pines after wildfire (FERNANDES *et al.* 2007). Simulations of a source of heat with a fixed intensity beneath an Aleppo pine stand showed that a limited mortality was only ensured at very low intensities (<500kW/m). This is particularly the case with Aleppo pine because the lowest branch with needles is close to the ground. The result indicates that there are only fairly limited slots for controlled burning. These simulations have revealed an insignificant impact by the prevailing wind (straight wind or wind high above the canopy) on leaf scorching when fire intensity is fixed. But leaf scorching increases with wind because the intensity of surface fires is increased by wind. Finally, a greater leaf scorching density leads to leaf higher up (when the leafy area is uniformly spread out horizontally i.e. no gaps between the trees). The more dense the vegetation, the more it hinders the movement of air, thus limiting the mixture of fresh air with the combustion gases. The temperature then rises at the same level above the ground when the leaf cover is denser (effect observed for an index of leaf surface area from 2 to 6).

Fig. 2:
Local “down-fire” winds, seen from above. The prevailing wind is blowing from left to right in direction x. The coloured contour lines represent gas isotherms (temperature in Kelvin). The vectors represent the horizontal dimension of local wind speed.



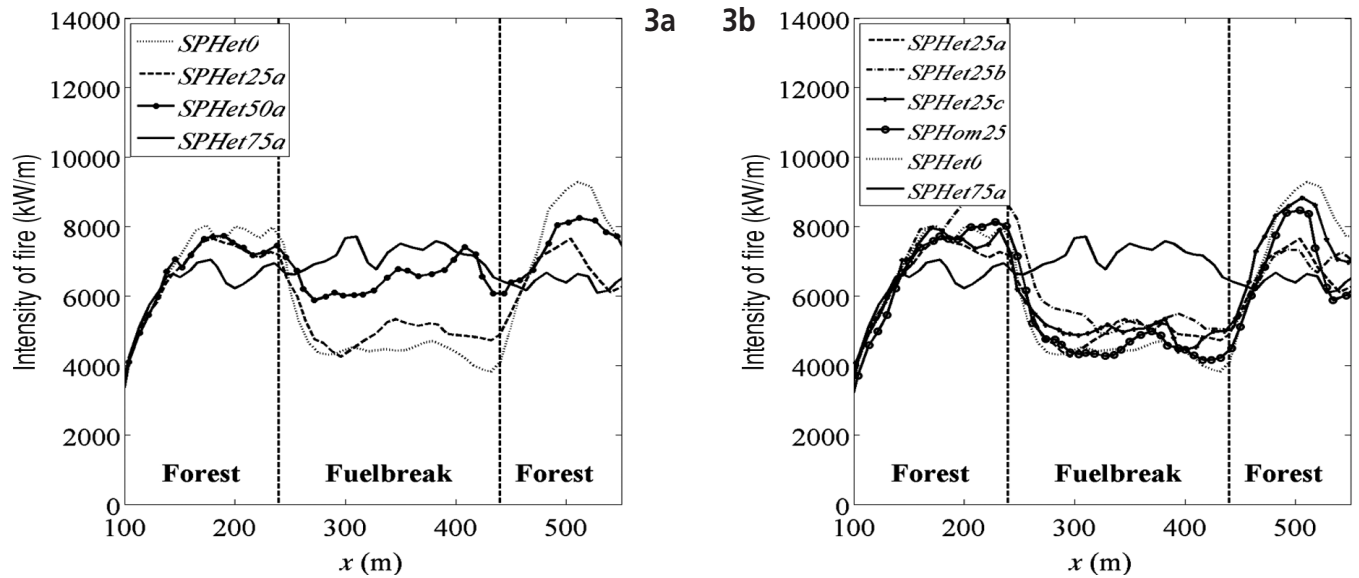


Fig. 3: Intensity of fire (strength in kW/m of width of fire front) as a function of the distance covered. The fire, starting up in an unthinned Forest, is spreading from left to right towards a thinned but uncleared stand (Firebreak).

(a) percentage of tree cover in the thinned areas (75%=unthinned, 0%=no trees).

(b) size of clumps (a: 4 m, b: 10 m, c: 20 m; Hom: homogeneous; unthinned=75%, mentioned again).

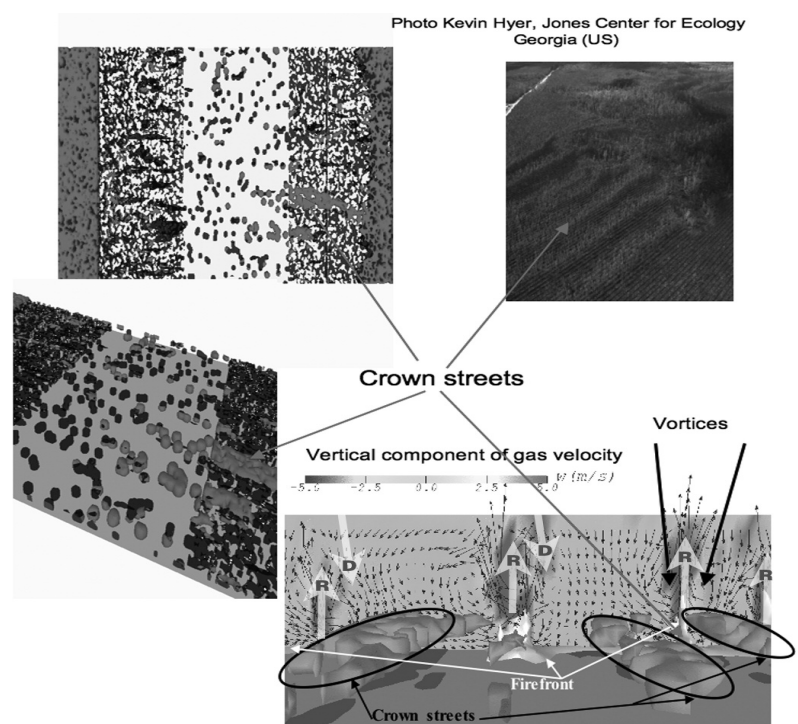
Wildfire and topography

In order to simulate the propagation of a wildfire on a map, existing operational simulators must combine the effects of the local wind and the slopes in the possible directions of propagation. Such combinations are achieved using relatively simple empirical models that consider the effect to be the addition or the multiplication of the two factors. The simulations performed with the HIGRAD-FIRETEC model do not accept this approach. Figure 5 shows fire speed simulated as a function of the slope of the terrain for a strong and for a light wind and for a narrow and a wide fire (front of 20 or 50 m). Clearly, in general the effects are neither cumulative by addition nor multiplication. Furthermore, such effects are highly dependent on the size of the fire, a factor not taken into account by existing models.

In furtherance of this study, the simulation of a fire starting out in a canyon highlighted a rapid conflagration up the steeper sides after fairly slow burning in the canyon bottom. The line of fire at the foot of the slopes can reach a great length which in turn favours a very rapid conflagration up the canyon walls. Such behaviour should be borne in mind in relation to serious accidents during operations when a weakly-burning fire at the bottom of a canyon might lead people to think there is no particular danger involved.

Overall, these results can be attributed to the complex interaction between wind, topography and fire which together modify the air flow depending on the situation.

Fig. 4: Damage to trees and crown streets spared by the fire. The images on the left represent the degree of leaf density remaining in the canopy after fire (black: low; grey: high), as calculated by HIGRAD-FIRETEC. The photo above left, taken in the USA, shows that a street can form a simple pattern. The image below right represents the algebraic value of the vertical component of the local wind: rising currents (R), descending (D). The arrows represent the component of the wind in a vertical plane, enabling the swirling effect – to be seen. Such local winds are also calculated by the model



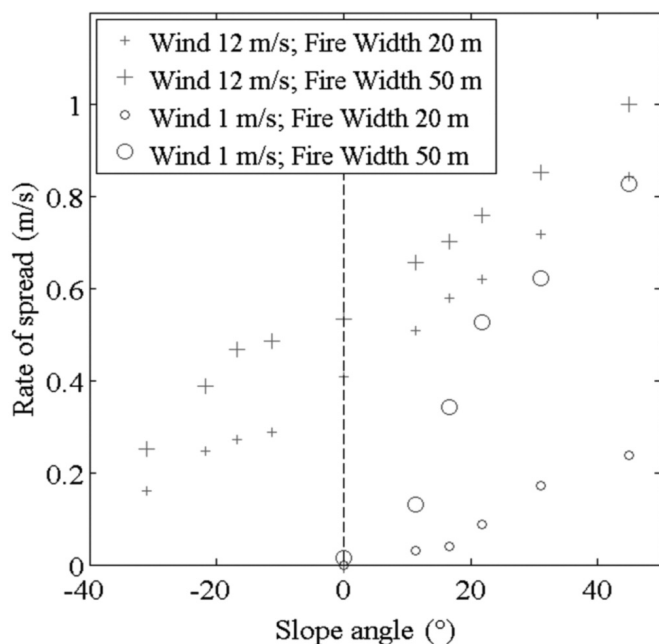


Fig. 5:
Rate of spread as
a function of the slope
angle for two
wind speeds and
two fire widths

Jean-Luc DUPUY
Institut National de la
Recherche
Agronomique (INRA)
UR 629 Ecologie
des Forêts
Méditerranéennes
Site Agroparc,
84914 Avignon
Cedex 9
Email : dupuy@
avignon.inra.fr

Conclusion

A model based on coupling fire and atmosphere, such as the HIGRAD-FIRETEC model, provides the scientist with a very powerful tool for investigating the complex interactions that occur during a forest fire. Both the means for calculating and the level of expertise involved are at a very high level such that it is hard to envisage their use by managers and policy makers. Even so, the operational scope for numerical simulations is indeed real and researchers should undertake to transfer to those involved in operations new knowledge acquired through such simulations. Eventually the use of this type of model by specialist consultancies should facilitate and accelerate such transfer.

J.-L.D.

Bibliographic references

- Arévalo C. (1968) El contrafuego. Su utilización para cortar y extinguir los incendios forestales. *Montes*, 142, 307-323.
- Benoit de Coignac G. (1986) Le contre feu : est-ce la seule technique efficace d'extinction des grands incendies ? *Forêt méditerranéenne* 8(2), 167-172.
- Cheney N.P., Gould J.S. and Catchpole W.R. (1993) The influence of fuel, weather and fire shape variables on fire-spread in grasslands. *International Journal of Wildland Fire* 3,31-44.
- Fernandes, P., Vega, J.A., Jimenez, J., and Rigolot, E. (2007). Pine resistance and survival to fire: state of the art. FIRE PARADOX, an innovative approach of integrated wildland fire management regulating the wildfire problem by the wise use of fire: solving the Fire Paradox. Contrat FP6-018505, Commission of the European Communities, Brussels (BEL), Deliverable D3.2-1, 39 p.
- Linn R.R., and Cunningham P. (2005). Numerical simulations of grass fires using a coupled atmosphere-fire model: basic fire behavior and dependence on wind speed. *Journal of Geophysical Research* 110: D13107
- Pimont, F., Dupuy, J.-L., Linn, R.R. and Dupont S. (2009) Validation of FIRETEC wind-flows over a canopy and a fuel-break. *International Journal of Wildland Fire* 18, 775-790.
- Pimont, F., Dupuy, J.-L., Linn R.R., Dupont S. (2010) Impacts of canopy structure on wind-flows and fire propagation simulated with FIRETEC. *Annals of Forest Science*, à paraître.
- Sharples JJ (2008) Review of formal methodologies for wind-slope correction of wildfire rate of spread. *International Journal of Wildland Fire* 17, 179-193.
- Sullivan, A.L. 2009a. Wildland surface fire spread modelling, 1990-2007. 1: Physical and quasi-physical models. *International Journal of Wildland Fire* 18, 349-368
- Sullivan, A.L. 2009b. Wildland surface fire spread modelling, 1990-2007. 2: Empirical and quasi-empirical models. *International Journal of Wildland Fire* 18, 369-386.

Créer des forêts et des paysages résistants au feu

par Paulo M. FERNANDES

Introduction

Les mosaïques d'utilisation des sols et l'intensité de l'utilisation de la biomasse dans le bassin méditerranéen limitaient jadis l'incidence du feu. Alors que les espaces forestiers se sont étendus lors des dernières décennies, leur gestion s'est réduite, accroissant le niveau d'accumulation de combustibles et sa continuité à l'échelle du paysage. Les politiques contemporaines de gestion du feu reposent lourdement sur la lutte contre les incendies, et pas suffisamment sur la prévention, à savoir la gestion socio-économique et territoriale à l'origine de la source et de la propagation des incendies. L'efficacité des opérations de lutte contre les feux est fortement réduite lorsque des conditions météorologiques défavorables coïncident avec l'accumulation de combustible (Cf. Fig. 1). En fait, puisque la lutte efficace contre les incendies conduit à une accumulation de combustibles, cela peut contribuer à occasionner des incendies plus étendus et plus dévastateurs dans le futur.

Il est désormais reconnu qu'une politique à court terme de contrôle actif des feux devrait être remplacée par des « *politiques à long terme, aptes à agir sur les causes structurelles des feux et à intégrer des stratégies de gestion du feu et de la forêt* » (EFI 2010). Pour tendre vers une gestion intégrée du feu, une recherche plus poussée est requise concernant la propagation des feux à l'échelle du paysage, la maîtrise des effets immédiats (sévérité du feu) dans les peuplements forestiers, et la résilience des différents types de forêts en relation avec la variabilité du régime de feu. Les perspectives de changement climatique confèrent à ces préoccupations une importance accrue, car l'augmentation prévue du risque d'incendies entraînera celle des surfaces brûlées et des émissions de CO₂ (THONICKE *et al.* 2010). Les forêts méditerranéennes auront des difficultés à s'adapter au changement climatique et leur protection vis-à-vis des feux sera cruciale, incluant la gestion à grande échelle des combustibles par le brûlage dirigé (PARRY *et al.* 2007).

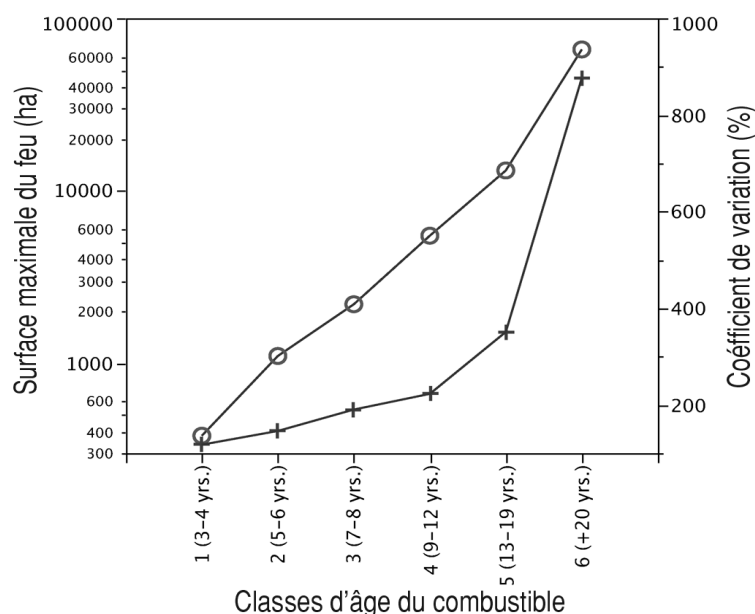


Fig. 1 :
Surfaces incendiées
au Portugal (1998-2008)
en fonction de la
mosaïque d'âge du com-
bustible : maximum
observé (cercles)
et coefficient de variation
(croix). Elaboré à partir
de données issues de
FERNANDES *et al.* (2010a).

Une gestion active des forêts vers une plus grande résistance à la propagation du feu et vers une meilleure résilience au feu, c'est-à-dire par la mise en place de forêts et de paysages résistants au feu (HIRSCH *et al.* 2004), comprend deux approches complémentaires, d'une part le traitement des combustibles dans les types de végétation sensibles au feu et, d'autre part, la conversion du type de végétation. Cet article passe en revue l'état des connaissances sur ces sujets qui concernent l'Europe méditerranéenne.

Objectifs, stratégies et savoir-faire

La finalité principale de la gestion du feu est de modifier le régime de feu qui résulte de l'interaction entre la source et l'environnement du feu, à savoir la topographie, la météorologie et le combustible. En modifiant les combustibles, la gestion des forêts résistantes au feu doit permettre de ralentir la propagation des incendies, et étendre les scénarios météorologiques sous lesquels le contrôle d'un feu de forêt est possible et, à partir de cela, faire diminuer les surfaces brûlées. Un objectif annexe – souvent plus visible ou réaliste (REINHARDT *et al.* 2008) – est d'augmenter la résistance des arbres au feu et de limiter la sévérité du feu, et donc diminuer les dommages et augmenter les capacités de récupération suite à la perturbation. La différenciation entre les stratégies de gestion du feu réside dans l'isolement du

combustible (pare-feu), la modification des combustibles, et la conversion des types de combustibles (PYNE *et al.* 1996). L'isolement et la modification peuvent être considérés respectivement comme des options linéaires et surfaciques pour traiter les combustibles, et présupposent différents angles d'attaque, respectivement la contention et la modification du feu. Par conséquent, les effets des traitements linéaires seront limités (ou nuls) s'ils échouent à interrompre la propagation du feu, alors que les traitements spatiaux seront bénéfiques aussi longtemps que la limitation de la sévérité du feu est effective.

Les directives actuelles et les pratiques de gestion des peuplements visant à limiter l'aléa du feu – habituellement appelées “sylviculture préventive” – en sont encore à leur début sur un plan quantitatif. Certaines recommandations opposent même des preuves empiriques et des conclusions tirées des modélisations du comportement du feu, notamment en matière de densité de peuplement. Un apprentissage issu des incendies de forêt, des expérimentations avec le feu ou encore l'utilisation d'outils de modélisation sont les trois principales approches disponibles pour mettre en pratique les préconisations en faveur de la résistance au feu. Cependant, la capacité à développer des recommandations concrètes reste limitée : les études de cas de feux de forêt sont rares et fournissent des données anecdotiques, les feux expérimentaux incluant des modifications de la canopée des arbres sont quasi inexistantes et la modélisation du feu n'est pas assez fiable (par exemple CRUZ & ALEXANDER 2010).

Démonstration de l'efficacité des traitements du combustible

Le rôle du combustible dans la constitution du régime de feu diffère suivant le type de végétation. Si le rôle du combustible dans l'incidence du feu de forêt est moindre, alors l'intérêt d'investir dans des programmes de gestion du combustible est faible. Les paramètres météorologiques sont généralement perçus comme le principal facteur des régimes d'incendies de grande intensité, caractéristiques du milieu méditerranéen (par exemple KEELEY & ZEDLER 2009). L'analyse de la fréquence des feux pour le

Portugal (FERNANDES *et al.* 2010a) indique un intervalle entre deux incendies assez court (12 à 16 ans), mais le risque d'incendie, c'est-à-dire la probabilité d'occurrence d'un incendie, augmente exponentiellement avec le temps écoulé depuis le dernier feu, du fait que l'âge croissant du combustible se traduit par l'accumulation de combustible et une inflammabilité supérieure. D'autre part, il semble que la corrélation entre l'incidence d'un feu et le temps d'intervalle est peu affectée par les conditions météorologiques extrêmes, ce qui accroît la probabilité de performance d'un traitement efficace des combustibles, même dans des conditions météorologiques défavorables. La hauteur du feu et la hauteur maximale des flammes tendent à être respectivement plus variables et plus importantes lorsque les combustibles sont plus anciens (Cf. Fig. 1). Par conséquent, le contrôle des combustibles pendant la propagation d'un grand incendie est effectif à relativement court terme, mais il est réel, ce qui plaide en faveur du rôle prééminent du traitement des combustibles dans la gestion des incendies. Les paysages les plus fragmentés et les plus anthropisés pourraient en partie expliquer le rôle plus prononcé des combustibles dans les probabilités d'incendie en comparaison avec d'autres espaces méditerranéens à dominante arbustive.

Les traitements linéaires du combustible sont les options les plus communes en Europe méditerranéenne, mais leur performance face au feu est incertaine. Dans leur analyse des incendies de 2003 dans le sud de la France, PERCHAT & RIGOLOT (2005) ont trouvé que la plupart des coupures de combustibles (ou pare-feu) étaient traversées ou franchies par les feux de haute intensité. Ils ont toutefois noté que les feux de canopée étaient retardés et que la propagation latérale (flancs) était généralement limitée. La largeur, la position et l'entretien des coupures de combustibles, combinés avec le potentiel de dissémination et les ressources disponibles pour lutter contre l'incendie sont des facteurs critiques dans les succès d'une stratégie de gestion du combustible basée sur l'isolement.

La sylviculture en faveur de la résistance au feu modifie l'environnement du feu qui peut nuire aux objectifs du traitement (GRAHAM *et al.* 2004). Enlever ou modifier les combustibles issus de l'élagage ou de l'éclaircie est obligatoire, faute de quoi la diminution de l'inflammabilité de la canopée serait

compensée par une augmentation de l'intensité du feu au sol. Bien que les recherches sur ces sujets soient étonnamment rares, l'élévation de la canopée des arbres et la diminution de leur densité créent un environnement plus sec et plus exposé aux vents. Dans le nord-ouest de l'Espagne, RUIZ (2007) a mesuré une baisse nette de 2 à 3 % de l'humidité contenue dans le combustible mort en comparant des peuplements de *Pinus pinaster* non éclaircis (36 m²/ha) et éclaircis (22 m²/ha).

La modélisation du feu permet la simulation des caractéristiques du feu pour différents scénarios de gestion du combustible et du peuplement (ex. CRUZ *et al.* 2008), ainsi que l'analyse à l'échelle du paysage de la capacité de propagation du feu en réponse à une variation du combustible et d'autres facteurs (ex. LOUREIRO *et al.* 2006). Les connaissances d'experts peuvent être analysées pour relier l'aléa incendie avec la structure du peuplement et du combustible (GONZÁLEZ *et al.* 2007). Cependant, des preuves de la différence de comportement et d'intensité du feu entre différentes modalités de traitement du combustible ou entre des peuplements traités et non traités ne peuvent être obtenues qu'en observant réellement le feu et ses effets.

Bien qu'intéressantes — par exemple MCARTHUR (1962) démontrait une division par trois du taux de propagation entre un peuplement de *Pinus radiata* non élagué et un peuplement élagué de *Pinus pinaster* — la portée des conclusions que l'on peut tirer des données de feux de forêt est générale-

Photo 1 :

Peuplement de *Pinus pinaster* résistant au feu près de Murça, au nord-est du Portugal. Densité de peuplement = 250 arbres.ha⁻¹, surface terrière = 11m².ha⁻¹ et intervalle moyen de retour du feu = 6 ans. Photo P.F.





Photo 2 :

Auto-extinction d'un feu
dans un peuplement
de *Betula alba*,
nord-ouest du Portugal.
Photo P.F.

ment limitée. Des recommandations pertinentes de gestion sont plus susceptibles d'être déduites des modèles de forêts résistantes au feu, c'est-à-dire de peuplements où la mortalité d'arbres induite par le feu ou la sévérité du feu sont limitées. Une documentation abondante existe sur l'interaction entre la sévérité des incendies et la structure du peuplement en Amérique du Nord et en forêt résineuse méditerranéenne (ex. AGEE & SKINNER 2005), et des schémas similaires semblent se produire dans la péninsule ibérique, où des populations matures et d'âges variés de *Pinus nigra* (FULÉ *et al.* 2008) et de *P. pinaster* (VEGA 2000) persistent sous un régime d'incendies de sévérité faible à modérée. Des lots résilients au feu de *P. pinaster*, au nord du Portugal (Cf. Photo 1), sont ouverts, verticalement discontinus, et coïncident avec des incendies fréquents mais de faible intensité (VEGA *et al.* 2010).

Les études expérimentales du comportement et des effets du feu en lien avec le traitement du combustible ont été extrêmement rares dans le monde. Dans le sud-ouest de l'Australie, GOULD *et al.* (2007) ont relié le comportement du feu dans les forêts d'eucalyptus avec le temps écoulé depuis un brûlage dirigé. Au Portugal, un changement drastique dans le comportement du feu — de l'incendie de canopée jusqu'au feu léger au sol — a été constaté quand un feu d'été expérimental passait d'un peuplement non traité de 28 ans, vers une parcelle traitée par brûlage dirigé 2 ou 3 ans auparavant (FERNANDES *et al.* 2004). Des différences dans les caractéristiques du feu entre des combus-

tibles âgés respectivement de 13 et 28 ans ne pourraient pas être prouvées, mais dans une étude sur ce sujet (FERNANDES 2009a), l'intensité du feu de surface a été moindre dans les parcelles traitées par brûlage dirigé, au moins 10 années après ce traitement.

Comment les différents types de forêts brûlent et récupèrent après un incendie

Les forêts se démarquant par leur composition spécifique peuvent représenter des potentiels de feu distincts, du fait des différences dans la nature, la quantité et la disposition des combustibles qui déterminent la logique pour la conversion du type de couverture. Le bon sens commun suppose que certains types de forêts, à savoir celles constituées de feuillus caducifoliés, sont efficaces pour modifier le comportement du feu et interrompre sa propagation dans le paysage. Les études sur la modélisation du feu (FERNANDES 2009b) et sur la sélectivité du feu (MOREIRA *et al.* 2009) confirment cette hypothèse. Dans le nord-est de l'Espagne, DÍAZ-DELGADO *et al.* (2004) montrent une moindre incidence du feu depuis les forêts de pins jusqu'aux forêts de feuillus à feuilles persistantes ou caduques, et GONZÁLEZ *et al.* (2006) ont trouvé que les bois durs (*Quercus robur*, *Q. ilex*) et les pins de montagne à aiguilles courtes étaient moins sensibles au feu que les espèces de pin plus inflammables. Le gradient de comportement du feu, correspondant au passage d'un type de végétation à un autre, par exemple, d'une végétation arbustive à une végétation à *Quercus rotundifolia* (AZEVEDO *et al.* 2009) peut être modélisé en prenant en compte la variation spatiale des combustibles et la structure des peuplements. Les conditions météorologiques locales (humidité du combustible, vitesse du vent) et la complexité des combustibles sont toutes deux affectées par la structure des peuplements. Par conséquent, les caractéristiques des peuplements peuvent réduire ou compenser les effets du type de couverture, comme dans l'étude de FERNANDES (2009b), où les niveaux de risques d'incendie étaient similaires entre les différents types de forêts et en leur sein-même.

Les conséquences de la sévérité du feu sur les changements de type de couverture sont supposées être corrélées avec l'incidence du

feu, mais elles ont été faiblement quantifiées. Au nord du Portugal, FERNANDES *et al.* (2010b) ont comparé la sévérité du feu entre des peuplements adjacents de *P. pinaster* et d'autres espèces (feuillus sempervirents et caducifoliés et conifères à aiguilles courtes). L'intensité du feu était supérieure dans les *P. pinaster*, suivis par les feuillus caducifoliés, puis par les conifères à aiguilles courtes. En plus du type de couverture, la sévérité du feu s'expliquait par les caractéristiques du peuplement (hauteur, densité, surface terrière), l'aspect du terrain, les modes de propagation du feu, et la distance à la bordure entre *P. pinaster* et les types de couverture contigus. Un déclin plus rapide de la sévérité des feux a été observé dans les feuillus caducifoliés (Cf. Photo 2), et la sévérité des feux tend à décroître avec la maturité des peuplements et en zone plus humide. Ces résultats suggèrent que des couvertures de divers types ne différeront pas uniquement par la composition des combustibles. Des mesures simultanées des variables micro-météorologiques et de l'humidité du combustible devraient mettre en lumière des différences liées à la météorologie dans l'environnement du feu entre les types de forêts, à condition que les peuplements soient contigus et homogènes en termes d'aspect et de pente.

La résilience au feu est déterminée par les interactions entre la sévérité du feu et les traits des espèces en lien avec leur réaction au feu. Par conséquent, la recherche sur les schémas de mortalité des arbres après incendie est un complément important à l'étude de la sévérité du feu. La description et la prévision de la mortalité des espèces arborescentes du sud de l'Europe due au feu, se sont récemment accélérées, couvrant tout le domaine de la sévérité des feux, concernant à la fois les conifères (*P. pinaster*, *P. nigra*) et les feuillus (*Quercus* spp., *Castanea sativa*, *Eucalyptus globulus*) (MOREIRA *et al.* 2007, FERNANDES *et al.* 2008, CATRY *et al.* 2010, VEGA *et al.* 2010). Les types les plus résilients au feu sont ceux qui récupèrent rapidement suite à un incendie de grande intensité — espèces capables de repousser à partir du houppier, telles que *Quercus suber* (Cf. Photo 3) et *Pinus canariensis* — et ceux associés à un environnement de faible inflammabilité (feuillus caduques et conifères de montagne), à conditions que leur résistance au feu (à savoir l'épaisseur de l'écorce) soit suffisamment développée pour assurer la survie de l'arbre.



Conclusion

Les politiques des pays méditerranéens relatives aux incendies de forêts sont focalisées sur la lutte, ce qui les rend non durables et souvent contreproductives. La gestion du combustible, comprenant l'utilisation contrôlée du feu, mériterait un rôle plus important dans la gestion des incendies. D'autre part, et alors que le milieu méditerranéen devient de plus en plus sensible au feu, la gestion des feux sauvages devra être considérée, notamment dans les zones reculées, et de façon complémentaire par des combustibles à traiter et un processus écologique à comprendre.

Des paysages résistants au feu sont obtenus par le traitement du combustible sur de grandes surfaces et par la modification des types de combustibles, plutôt que par des méthodes d'isolement. Les aspects superficiels de la gestion du combustible sont cruciaux, car les scénarios aléatoires peuvent atténuer localement les effets du feu, mais n'ont pas d'influence sur sa propagation. Une gestion active devrait se concentrer sur l'extension des types de forêts peu inflammables (i), et des types de végétation plus résilients quelle que soit leur inflammabilité (ii), la seconde option étant privilégiée dans un contexte de changement climatique (STEPHENS *et al.* 2010). Toutes deux requièrent un traitement minime, contrairement aux plantations forestières hautement inflammables dans des régions propices aux

Photo 3 :

Inflammable mais résilient au feu : boisement de *Quercus suber*, 11 ans après un incendie à Romeu, nord-est du Portugal
Photo P.F.

Paulo M. FERNANDES
Centre de Recherche
et de Technologies
Agro-
Environnementales et
Biologiques (CITAB)
Universidade de Trás-os-
Montes e Alto Douro
Apartado 1013, 5001-
801, Portugal
Tél. : +351 259 350885
Fax : +351 259 350480
E-mail: pfern@utad.pt

incendies où des traitements coûteux du combustible s'avèrent indispensables. Cependant, il est important de noter que le changement climatique réduira probablement les espoirs de conversion vers des types de forêts plus mésiques, et favorisera des forêts ouvertes et sèches, où la résistance et la résilience au feu pourra être mise en pratique via des traitements peu coûteux des combustibles.

P. M.F.

Références

Agee, J., & C. Skinner. 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management*, 211, 83-96.

Azevedo, J., A. Possacos, R. Dias, A. Saraiva, C. Loureiro, & P. Fernandes. 2009. Survival of holm oak woodlands in fire prone landscapes in northeastern Portugal. In Proc. Latin American IALE Conference, Campos do Jordão, Brasil.

Catry, F., F. Rego, F. Moreira, P. Fernandes, & J. Pausas. 2010. Post-fire tree mortality in mixed forests of central Portugal. *Forest Ecology and Management* (in press).

Cruz, M., & M. Alexander. 2010. Assessing crown fire potential in coniferous forests of western North America: a critique of current approaches and recent simulation studies. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 377-398.

Cruz, M., M. Alexander, & P. Fernandes. 2008. Development of a model system to predict wildfire behaviour in pine plantations. *Australian Forestry*, 71, 113-121.

EFI. 2010. A Mediterranean Forest Research Agenda – MFRA. European Forest Institute, Joensuu.

Fernandes, P. 2009a. Examining fuel treatment longevity through experimental and simulated surface fire behaviour: a maritime pine case study. *Canadian Journal of Forest Research*, 39, 2529-2535.

Fernandes, P. 2009b. Combining forest structure data and fuel modelling to assess fire hazard in Portugal. *Annals of Forest Science*, 66, 415p1-415p9.

Fernandes, P., C. Loureiro, & H. Botelho. 2004. Fire behaviour and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. *Annals of Forest Science*, 61, 537-544.

Fernandes, P., J. Vega, E. Jiménez, & E. Rigolot. 2008. Fire resistance of European pines. *Forest Ecology and Management*, 256, 246-255.

Fernandes, P., C. Loureiro, M. Magalhães & P. Ferreira. 2010a. Testing the fire paradox: is fire incidence in Portugal affected by fuel age? In Proc. IUFRO Landscape Ecology International Conference, Bragança, Portugal (in press).

Fernandes, P., A. Luz & C. Loureiro. 2010b. Changes in wildfire severity from maritime pine woodland to contiguous forest types in the mountains of northwestern Portugal. *Forest Ecology and Management*, 260, 883-892.

Fulé, P., M. Ribas, E. Gutiérrez, R. Vallejo & M. Kaye. 2008. Forest structure and fire history in an old *Pinus nigra* forest, eastern Spain. *Forest Ecology and Management*, 255, 1234-1242.

González, J., M. Palahi, A. Trasobares & T. Pukalla. 2006. A fire probability model for forest stands in Catalonia (north-east Spain). *Annals of Forest Science*, 63, 169-176.

González, J., O. Kolehmainen & T. Pukalla. 2007. Using expert knowledge to model forest stand vulnerability to fire. *Computers and Electronics in Agriculture*, 55, 107-114.

Gould, J., L. McCaw, P. Cheney, P. Ellis, I. Knight & A. Sullivan. 2007. Project Vesta – Fire in dry eucalypt forest: fuel structure, fuel dynamics and fire behaviour.

Ensis-CSIRO and Department of Environment and Conservation, Canberra, ACT, and Perth, WA.

Graham, R., S. McCaffrey & T. Jain (tech. eds.). 2004. Science Basis for Changing Forest Structure to Modify Wildfire Behavior and Severity. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-120. Fort Collins: USDA Forest Service.

Hirsch, K., V. Kafka & B. Todd. 2004. Using forest management techniques to alter forest fuels and reduce wildfire size: an exploratory analysis. Pp. 175-184 In R.T. Engstrom, K.E.M. Galley & W.J. de Groot (eds.). Proceedings of the 22nd Tall Timbers Fire Ecology Conference: Fire in Temperate, Boreal, and Montane Ecosystems. Tall Timbers Research Station, Tallahassee, FL.

Keeley, J. & P. Zedler. 2009. Large, high-intensity fire events in southern California shrublands: debunking the fine-grain age patch model. *Ecological Applications*, 19, 69-94.

Loureiro, C., P. Fernandes, H. Botelho & P. Mateus. 2006. A simulation-based test of a landscape fuel management project in the Marão range of northern Portugal. In D.X. Viegas (ed.). Proc. 5th Int. Conf. Forest Fire Research, Elsevier B.V., Amsterdam. CD-ROM.

McArthur, A. 1962. Fire behaviour characteristics of the Longford fire. Leaflet No. 91, O.D.C. 43, Forestry and Timber Bureau, Department of National Development, Commonwealth of Australia.

Moreira, F., L. Duarte, F. Catry & V. Acácio. 2007. Cork extraction as a key factor determining post-fire cork oak survival in a mountain region of southern Portugal. *Forest Ecology and Management*, 253, 30-37.

Moreira, F., P. Vaz, F. Catry & J. Silva. 2009. Regional variations in wildfire susceptibility of land-cover types in Portugal: implications for landscape management to minimize fire hazard. *International Journal of Wildland Fire*, 18, 563-574.

Parry, M., O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden & C. Hanson. (eds). 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Perchat, S. & E. Rigolot. 2005. Comportement au feu et utilisation par les forces de lutte des coupures de combustible touchées par les grands incendies de la saison 2003. Morières: Ed. De la Cardère Morières.

Pyne, S., P. Andrews & R. Laven. 1996. Introduction to Wildland Fire. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.

Reinhardt, E., R. Kean, D. Calkin & J. Cohen. 2008. Objectives and considerations for wildland fuel treatment in forested ecosystems of the interior western United States. *Forest Ecology and Management*, 256, 1997-2006.

Ruiz, A. 2007. Efecto de las claras sobre la humedad de los combustibles muertos. In Proc. Wildfire 2007 - 4th International Wildland Fire Conference, 13-17 May, Seville, Spain.

Thonicke, K., A. Rammig & M. Gumpenberger. 2010. Changes in managed fires and wildfires under climate and land use change and the role of prescribed burning to reduce fire hazard under future climate conditions. Deliverable D4.2-1c / D4.2-4 of the Integrated project "Fire Paradox", Project no. FP6-018505, European Commission.

Vega, J. 2000. Resistencia vegetativa ante el fuego a través de la historia de los incendios. Pp. 4.66-4.85 In La Defensa Contra Incendios Forestales: Fundamentos y Experiencias, McGraw-Hill, Madrid.

Vega, J., P. Fernandes, G. Defossé, M. Conedera, S. Bravo, N. Cassagne, J.-L. Dupuy, M. Fernandes, E. Jiménez, L. Lucini, M., Leiva, E. Rigolot, C. Loureiro, C. Kunst, J.-C. Valette, G. Pezzatti, H. Botelho, D. Portier, J. Pérez, P. Petit, R. Ledesma, J. Maréchal, J. Godoy, F. Pimont & V. Navarrete. 2010. Tree resistance to fire: final results. Deliverable D3.2-6 of the Integrated project "Fire Paradox", Project no. FP6-018505, European Commission.

Stephens, S., C. Millar & B. Collins. 2010. Operational approaches to managing forests of the future in Mediterranean regions within a context of changing climates. *Environmental Research Letters*, 5, 024003.

Creating fire-smart forests and landscapes

by Paulo M. FERNANDES

Introduction

Land use mosaics and the intensity of biomass use in the Mediterranean Basin have constrained fire incidence in the past. Forests have expanded in the last decades and in parallel their management has generally decreased, increasing stand-level fuel accumulation and landscape-scale fuel connectivity. Contemporary fire management policies rely heavily on fire suppression and do not sufficiently address the root of the problem, i.e. the socio-economical and land management issues behind the inception and spread of fires. The effectiveness of fire fighting operations is greatly reduced when unfavourable weather conditions coincide with fuel accumulation (Figure 1). In fact, because successful fire suppression implies fuel build up, it can contribute to larger and more severe fires in the future.

It is now recognized that short-term and reactive fire control policies should be replaced by “longer-term policies aimed at acting on the structural causes of fires and integrating fire and forest management strategies” (EFI 2010). In order to support integrated fire management, a stronger research effort is required in regards to landscape-scale fire spread, mitigation of immediate fire effects (fire severity) in forest stands, and the resilience of different forest types in relation to variation in the fire regime. Climate change projections make these topics even more relevant, because the expected increase in fire danger will raise burned area and CO₂ emissions (THONICKE *et al.* 2010).

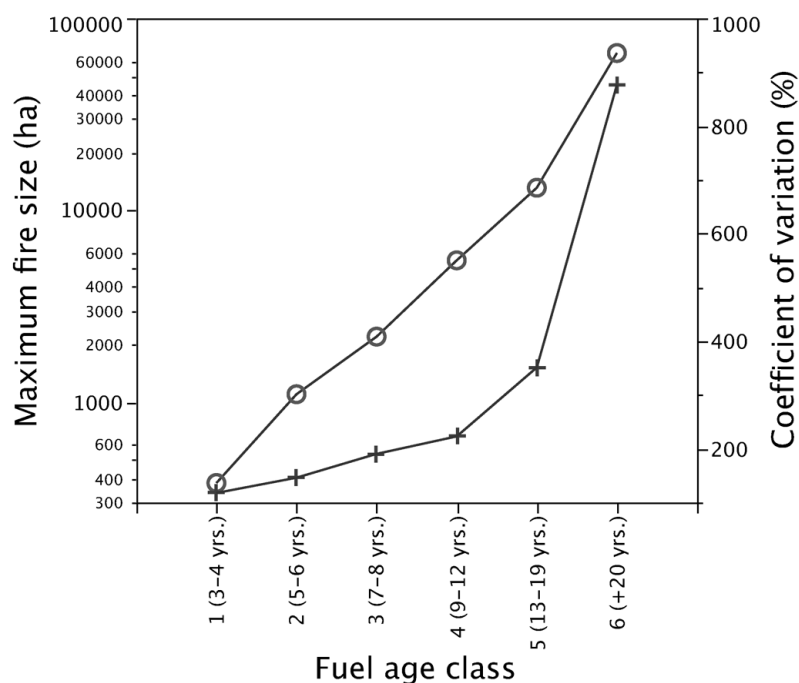


Fig. 1:

Size of burn patches in Portugal (1998-2008) as a function of the fuel age mosaic: maximum observed (circles) and coefficient of variation (crosses).

Drawn from data in FERNANDES *et al.* (2010a).

Mediterranean forests will adapt to climate change with difficulty and their protection from wildfire will be important, including large-scale fuel management through prescribed burning (PARRY *et al.* 2007).

Proactive forest management towards higher resistance to fire spread and increased fire resilience, i.e. the achievement of fire-smart forests and landscapes (HIRSCH *et al.* 2004), comprehends two complementary approaches, respectively the treatment of fuels in fire prone vegetation types and vegetation type conversion. This paper overviews the state of the art on these subjects as it relates to Mediterranean Europe.

Goals, strategies and know-how

The ultimate goal of fire management is to modify the fire regime, which results from the interaction between ignitions and the fire environment, i.e. topography, weather and fuels. By modifying fuels, fire-smart forest management is ultimately expected to delay fire spread and expand the weather scenarios under which wildfire control is possible, hence leading to less area burned. An additional goal – often more relevant or realistic (REINHARDT *et al.* 2008) – is to increase tree resistance to fire and decrease fire severity, thus diminishing damage and

increasing the ability to recover from the disturbance. Differentiation between fuel management strategies considers fuel isolation (fuel-breaks), fuel modification and fuel type conversion (PYNE *et al.* 1996). Fuel isolation and fuel modification can be viewed respectively as linear and area-wide options for treating fuels and presuppose different expectations, respectively fire containment and fire modification. Consequently, linear treatments will be of limited (or null) value if they fail to hinder fire spread, whereas area treatments will be beneficial as long as fire severity mitigation is apparent.

Current guidelines and practices to manage stands to decrease fire hazard – usually termed “preventive silviculture” – are quantitatively incipient. Some published recommendations even oppose empirical evidence and inference from fire behaviour models, especially in regards to stand density. Learning with wildfires, experimenting with fire or using simulation tools are the three basic approaches that are available to refine fire-smart prescriptions. However, the capacity to develop sound prescriptions remains limited: wildfire case studies are scarce and provide anecdotal data, fire experimentation involving modification of the tree canopy is practically non-existent, and fire modelling is not reliable enough, e.g. CRUZ & ALEXANDER (2010).

Assessing the effectiveness of fuel treatments

The relative role of fuel and weather in shaping the fire regime differs by vegetation type. If the role of fuel in controlling wildfire incidence is minor then the rationale for investing in fuel management programs is weak. Weather is generally viewed as the prevailing driver of the high-intensity fire regimes that characterize Mediterranean environments (e.g. KEELEY & ZEDLER 2009). Fire frequency analysis for Portugal (FERNANDES *et al.* 2010a) indicates a relatively short fire-free interval (12-16 years) but fire hazard, the probability of reburn, grows exponentially with time since fire, as the aging of fuels results in fuel accumulation and higher flammability. Furthermore it seems that this time-dependency of fire incidence is only marginally affected by extreme

weather, increasing the likelihood of effective fuel treatment performance under unfavourable weather scenarios. Fire size and maximum fire size tend respectively to be more variable and higher in older fuels (Fig. 1). Hence, the control of fuels over landscape fire spread occurs on a relatively short-term scale but is effective, which lends support to a prominent role of fuel treatments in fire management. The more fragmented and human-influenced landscape might be involved in explaining the more pronounced role of fuel in burn probability in comparison with other shrub-dominated Mediterranean regions.

Linear fuel treatments are the most common option in Mediterranean Europe, but their performance in the face of fire is uncertain. In their analysis of the 2003 wildfires in southern France, PERCHAT & RIGOLOT (2005) found out that most fuel breaks were crossed or transposed by high-intensity fire. Still, they note that headfire growth was delayed and that lateral (flank) fire spread was generally restrained. The width, placement and maintenance of fuel breaks, together with the potential for spotting and the resources available for fire fighting are critical factors in the success of a fuel management strategy based on isolation.

Fire-smart silviculture modifies the fire environment in ways that can frustrate the treatment objective (GRAHAM *et al.* 2004). Removing or modifying the fuels resulting from pruning and thinning is mandatory, or the decrease in crown fire potential will be outweighed by the increase in surface fire intensity. Although research in this topic is surprisingly scarce, raising the tree canopy and decreasing its density creates a drier and windier environment. In NW Spain, RUIZ (2007) measured a 2-3% absolute decrease in dead fuel moisture content when comparing unthinned ($36 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) and thinned ($22 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) *Pinus pinaster* stands.

Fire modelling allows simulation of fire characteristics for different fuel and stand management scenarios (e.g. CRUZ *et al.* 2008), as well as landscape-level analysis of fire-spread potential in response to variation in fuels and other factors (e.g. LOUREIRO *et al.* 2006). Expert knowledge can be analyzed to relate fire hazard with stand and fuel structure (GONZALES *et al.* 2007). However, evidence of differences in fire behaviour and severity between alternative fuel treatments

or in treated versus untreated stands can be obtained only by actually observing fires and their effects. Although valuable — e.g. McARTHUR (1962) reported a decrease by a factor of 3 in fire spread rate from unpruned *Pinus radiata* to pruned *P. pinaster* stands — the conclusions that can be drawn from wildfire data are usually limited in scope. Sound guidelines for treatments are more likely to be inferred from fire-resistant forest stands, i.e. where fire-induced tree mortality or fire severity is mitigated to some degree. Abundant documentation exists on the interaction between fire severity and stand structure in North-American continental and mediterranean conifer forests (e.g. AGEE & SKINNER 2005), and similar patterns seem to occur in the Iberian Peninsula, where mature and uneven-aged *Pinus nigra* (FULÉ *et al.* 2008) and *P. pinaster* (VEGA 2000) stands persist under a regime of low to moderate fire severity. Fire-resilient *P. pinaster* patches in northern Portugal (Picture 1) are open, vertically discontinuous and coincide with frequent low-intensity fires (VEGA *et al.* 2010).

Experimental studies of fire behaviour and effects in relation to fuel treatments have been extremely scarce worldwide. In SW Australia, GOULD *et al.* (2007) related fire behaviour in eucalypt forest with time since prescribed burning. In Portugal, a drastic change in fire behaviour — from crowning to relatively mild surface fire — was observed

Picture 1:

Fire-resistant *Pinus pinaster* stand near Murça, NE Portugal. Tree density = 250 ha^{-1} , basal area = $11 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ and median fire return interval = 6 years
Photo P.F.





Picture 2:
Fire self-extinction
in a *Betula alba* stand,
Mezio, NW Portugal.
Photo P.F.

when an experimental summer fire moved from an untreated 28-year old stand to areas that had been prescribed burnt 2-3 years before (FERNANDES *et al.* 2004). Differences in fire characteristics between 13- and 28-year old fuels could not be proven, but in a related study (FERNANDES 2009a) surface fire intensity was lower in prescribed burnt plots for at least 10 years after treatment.

Assessing how different forest types burn and recover from fire

Forests that differ in their specific composition can represent distinct fire potentials, due to differences in the nature, quantity and arrangement of fuels, which provides the rationale for cover type conversion. Conventional wisdom assumes that some forest types, namely deciduous broadleaves, are effective at modifying fire behaviour and disrupting landscape fire spread. Fire modelling (FERNANDES 2009b) and fire selectivity (MOREIRA *et al.* 2009) studies support such hypothesis. In NE Spain, DIAZ-DELGADO *et al.* (2004) report less fire incidence from pine to evergreen broadleaved to deciduous broadleaved forests, and GONZALES *et al.* (2006) found that hardwoods (*Quercus robur*,

Q. ilex) and short-needled mountain pines were less fire prone than the more flammable pine species. The fire behaviour gradient corresponding to the transition of one vegetation type to another, e.g. from shrubland to *Quercus rotundifolia* (AZEVEDO *et al.* 2009), can be modelled by taking into account the spatial variation in fuels and stand structure. Local weather (fuel moisture, wind speed) and the fuel-complex are both affected by stand structure. Consequently, stand characteristics can minimize or offset the cover type effect, as in the simulation study of FERNANDES (2009b), where the range in fire hazard was similar between and within forest types.

The fire severity implications of changes in cover type are expected to correlate with fire incidence but have been poorly quantified. In northern Portugal, FERNANDES *et al.* (2010b) compared fire severity between adjacent stands of *P. pinaster* and of other species (deciduous and evergreen broadleaves and short-needled conifers). Fire intensity was highest in *P. pinaster*, followed by deciduous broadleaved and short-needled conifer forest. In addition to cover type, fire severity was explained by stand characteristics (height, density, basal area), terrain aspect, fire spread pattern and distance to the edge between *P. pinaster* and the contiguous cover type. A faster decline in fire severity was observed in deciduous broadleaves (Picture 2), and fire severity tended to decrease with stand maturity and in moister aspects. Implicit in these results is the fact that different cover types will not be different just in their fuel complexes. Simultaneous measurements of micrometeorological variables and fuel moisture contents should highlight weather-related differences in the fire environment between forest types, provided that the stands are contiguous and do not differ in aspect and slope.

Fire resilience is determined by the interaction between fire severity and species traits related with post fire response. Consequently, research on post fire tree mortality patterns is an important supplement to fire severity studies. The description and prediction of fire-induced mortality to southern Europe tree species has recently gained momentum, covering the entire fire severity range and addressing both conifers (*P. pinaster*, *P. nigra*) and broadleaves (*Quercus* spp., *Castanea sativa*, *Eucalyptus globulus*) (MOREIRA *et al.* 2007, FERNANDES *et al.* 2008,

CATRY *et al.* 2010, VEGA *et al.* 2010). The most fire-resilient types are those that recover quickly from high-intensity fire — species able to sprout from the crown, i.e. *Quercus suber* (Picture 3) and *Pinus canariensis* — and those associated to low flammability environments (deciduous broadleaves and mountain conifers), provided that their fire-resistance traits (namely bark thickness) are sufficiently developed to assure tree survival.

Conclusion

Fire policies in Mediterranean countries are centred on fire suppression, which makes them unsustainable and often counterproductive. Fuel management, including the planned use of fire, deserves a more prominent role in fire management. Furthermore, and as the Mediterranean environment becomes more fire prone, the management of unplanned fires will have to be considered, especially in more remote areas, and both as a fuel treatment and an ecological process.

Fire-smart landscapes are obtained by area-wide fuel treatments and by fuel type conversion, rather than by fuel isolation. The spatial features of fuel management are critical, as random patterns can locally mitigate the effects of wildfire but have no impact on its growth. Proactive management should concentrate on expanding (i) less flammable forest types, and (ii) vegetation types that are resilient regardless of flammability, the later being the preferred option in a climate change context (STEPHENS *et al.* 2010). Both will require minimal treatment, in contrast to highly flammable forest plantations in fire-prone regions where costly fuel treatments are mandatory. However, it is important to note that climate change will likely reduce the prospects for type conversion into more mesic forests, and will favour open dry forests, where resistance and resilience to fire can be promoted through relatively undemanding fuel modifications.

P. M.F.



References

- Agee, J., & C. Skinner. 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management*, 211, 83-96.
- Azevedo, J., A. Possacos, R. Dias, A. Saraiva, C. Loureiro, & P. Fernandes. 2009. Survival of holm oak woodlands in fire prone landscapes in north-eastern Portugal. In Proc. Latin American IALE Conference, Campos do Jordão, Brasil.
- Catry, F., F. Rego, F. Moreira, P. Fernandes, & J. Pausas. 2010. Post-fire tree mortality in mixed forests of central Portugal. *Forest Ecology and Management* (in press).
- Cruz, M., & M. Alexander. 2010. Assessing crown fire potential in coniferous forests of western North America: a critique of current approaches and recent simulation studies. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 377-398.
- Cruz, M., M. Alexander, & P. Fernandes. 2008. Development of a model system to predict wild-fire behaviour in pine plantations. *Australian Forestry*, 71, 113-121.
- EFI. 2010. A Mediterranean Forest Research Agenda – MFRA. European Forest Institute, Joensuu.
- Fernandes, P. 2009a. Examining fuel treatment longevity through experimental and simulated surface fire behaviour: a maritime pine case study. *Canadian Journal of Forest Research*, 39, 2529-2535.
- Fernandes, P. 2009b. Combining forest structure data and fuel modelling to assess fire hazard in Portugal. *Annals of Forest Science*, 66, 415p1-415p9.
- Fernandes, P., C. Loureiro, & H. Botelho. 2004. Fire behaviour and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. *Annals of Forest Science*, 61, 537-544.

Picture 3:

Flammable but fire-resilient: *Quercus suber* woodland 11 years post fire in Romeu, NE Portugal.
Photo P.F.

Paulo M. FERNANDES
Centro de
Investigação e de
Tecnologias Agro-
Ambientais e
Biológicas (CITAB)
Universidade de Trás-
os-Montes e Alto
Douro
Apartado 1013, 5001-
801, Portugal
Tel.: +351 259 350885
Fax: +351 259 350480.
E-mail: pfern@utad.pt

- Fernandes, P., J. Vega, E. Jiménez, & E. Rigolot. 2008. Fire resistance of European pines. *Forest Ecology and Management*, 256, 246-255.
- Fernandes, P., C. Loureiro, M. Magalhães & P. Ferreira. 2010a. Testing the fire paradox: is fire incidence in Portugal affected by fuel age? In Proc. IUFRO Landscape Ecology International Conference, Bragança, Portugal (in press).
- Fernandes, P., A. Luz & C. Loureiro. 2010b. Changes in wildfire severity from maritime pine woodland to contiguous forest types in the mountains of northwestern Portugal. *Forest Ecology and Management*, 260, 883-892.
- Fulé, P., M. Ribas, E. Gutiérrez, R. Vallejo & M. Kaye. 2008. Forest structure and fire history in an old *Pinus nigra* forest, eastern Spain. *Forest Ecology and Management*, 255, 1234-1242.
- González, J., M. Palahi, A. Trasobares & T. Pukalla. 2006. A fire probability model for forest stands in Catalonia (north-east Spain). *Annals of Forest Science*, 63, 169-176.
- González, J., O. Kolehmainen & T. Pukalla. 2007. Using expert knowledge to model forest stand vulnerability to fire. *Computers and Electronics in Agriculture*, 55, 107-114.
- Gould, J., L. McCaw, P. Cheney, P. Ellis, I. Knight & A. Sullivan. 2007. Project Vesta – Fire in dry eucalypt forest: fuel structure, fuel dynamics and fire behaviour. Ensis-CSIRO and Department of Environment and Conservation, Canberra, ACT, and Perth, WA.
- Graham, R., S. McCaffrey & T. Jain (tech. eds.). 2004. Science Basis for Changing Forest Structure to Modify Wildfire Behavior and Severity. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-120. Fort Collins: USDA Forest Service.
- Hirsch, K., V. Kafka & B. Todd. 2004. Using forest management techniques to alter forest fuels and reduce wildfire size: an exploratory analysis. Pp. 175–184 In R.T. Engstrom, K.E.M. Galley & W.J. de Groot (eds.). Proceedings of the 22nd Tall Timbers Fire Ecology Conference: Fire in Temperate, Boreal, and Montane Ecosystems. Tall Timbers Research Station, Tallahassee, FL.
- Keeley, J. & P. Zedler. 2009. Large, high-intensity fire events in southern California shrublands: debunking the fine-grain age patch model. *Ecological Applications*, 19, 69-94.
- Loureiro, C., P. Fernandes, H. Botelho & P. Mateus. 2006. A simulation-based test of a landscape fuel management project in the Marão range of northern Portugal. In D.X. Viegas (ed.). Proc. 5th Int. Conf. Forest Fire Research, Elsevier B.V., Amsterdam. CD-ROM.
- McArthur, A. 1962. Fire behaviour characteristics of the Longford fire. Leaflet No. 91, O.D.C. 43, Forestry and Timber Bureau, Department of National Development, Commonwealth of Australia.
- Moreira, F., L. Duarte, F. Catry & V. Acácio. 2007. Cork extraction as a key factor determining post-fire cork oak survival in a mountain region of southern Portugal. *Forest Ecology and Management*, 253, 30-37.
- Moreira, F., P. Vaz, F. Catry & J. Silva. 2009. Regional variations in wildfire susceptibility of land-cover types in Portugal: implications for landscape management to minimize fire hazard. *International Journal of Wildland Fire*, 18, 563–574.
- Parry, M., O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden & C. Hanson. (eds). 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Perchat, S. & E. Rigolot. 2005. Comportement au feu et utilisation par les forces de lutte des coupures de combustible touchées par les grands incendies de la saison 2003. Morières: Ed. De la Cardère Morières.
- Pyne, S., P. Andrews & R. Laven. 1996. Introduction to Wildland Fire. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Reinhardt, E., R. Kean, D. Calkin & J. Cohen. 2008. Objectives and considerations for wildland fuel treatment in forested ecosystems of the interior western United States. *Forest Ecology and Management*, 256, 1997-2006.
- Ruiz, A. 2007. Efecto de las claras sobre la humedad de los combustibles muertos. In Proc. Wildfire 2007 - 4th International Wildland Fire Conference, 13-17 May, Seville, Spain.
- Thonicke, K., A. Rammig & M. Gumpenberger. 2010. Changes in managed fires and wildfires under climate and land use change and the role of prescribed burning to reduce fire hazard under future climate conditions. Deliverable D4.2-1c / D4.2-4 of the Integrated project "Fire Paradox", Project no. FP6-018505, European Commission.
- Vega, J. 2000. Resistencia vegetativa ante el fuego a través de la historia de los incendios. Pp. 4.66-4.85 In La Defensa Contra Incendios Forestales: Fundamentos y Experiencias, McGraw-Hill, Madrid.
- Vega, J., P. Fernandes, G. Defossé, M. Conedera, S. Bravo, N. Cassagne, J-L. Dupuy, M. Fernandes, E. Jiménez, L. Lucini, M., Leiva, E. Rigolot, C. Loureiro, C. Kunst, J-C. Valette, G. Pezzatti, H. Botelho, D. Portier, J. Pérez, P. Petit, R. Ledesma, J. Maréchal, J. Godoy, F. Pimont & V. Navarrete. 2010. Tree resistance to fire: final results. Deliverable D3.2-6 of the Integrated project "Fire Paradox", Project no. FP6-018505, European Commission.
- Stephens, S., C. Millar & B. Collins. 2010. Operational approaches to managing forests of the future in Mediterranean regions within a context of changing climates. *Environmental Research Letters*, 5, 024003.

Intégrer le risque dans la gestion et la politique : défis et vision économique

par Bo Jellesmark THORSEN

Introduction

La perspective du changement climatique et les incertitudes qui l'entourent nous appellent à reconsidérer notre manière d'évaluer et d'entreprendre certains types de décisions et d'alternatives aux décisions. Alors que cela pourrait être vrai pour beaucoup de choses dans la vie de tous les jours susceptibles d'être affectées par le changement climatique, cela se révèle particulièrement vrai et important pour des décisions ayant une portée à long terme. Ce type de décisions est fréquent dans beaucoup de domaines en lien avec la gestion forestière. Des décisions de très long terme sont prises concernant la sélection d'espèces et de caractères génétiques à favoriser dans les phases de reboisement, le choix des régimes de coupe du bois, la densité de peuplement (modalités d'éclaircies) ou l'âge et le diamètre des arbres matures. De plus, les forêts couvrent des surfaces importantes et, outre le bois et autres biens marchands, elles fournissent bon nombre de services environnementaux. Beaucoup de décisions prises volontairement — ou volontairement non prises — par les gestionnaires ont un impact non seulement sur la production de biens marchands, mais aussi sur la sensibilité des forêts aux risques et aléas induits par le changement climatique, sur leur productivité et leur stabilité, et sur beaucoup de services environnementaux dispensés par la forêt, à l'échelle du peuplement comme à l'échelle du paysage.

Les incertitudes liées au changement climatique peuvent affecter les choix de décision auxquels font face les gestionnaires d'espaces forestiers, publics et privés. Il faut insister sur le fait que les risques et les incertitudes arrivent de différentes façons, amènent différents ques-

tionnements, et peuvent ne pas être perçus de la même manière par les propriétaires privés et par la société civile. Ne serait-ce que pour cette raison, la gestion par les propriétaires forestiers, du fait de leurs décisions, des incertitudes et des risques liés au changement climatique, pourrait ne pas coïncider avec les attentes de la société civile. Cette divergence pourrait, par la suite, être accrue par le fait que les objectifs des propriétaires privés ne sont en général pas les mêmes que ceux de la société. Pour le propriétaire, beaucoup de services et richesses attribués à la forêt, positifs ou négatifs, sont extérieures à sa propriété et aux richesses qu'elle lui apporte, mais pas forcément à ses décisions. Le changement climatique pourrait aussi affecter la capacité de la forêt à rendre des services environnementaux cruciaux pour la société, à fournir des externalités positives et les risques conduisant à des externalités négatives sur son environnement, comme par exemple les incendies de forêt et les coûts environnementaux qu'ils impliquent.

Le propriétaire foncier, la société et la maîtrise des risques connus

Du point de vue du propriétaire, plusieurs richesses sont sujettes au risque et à l'incertitude. Il y a d'abord, bien sûr, la valeur de la production de bois, mais aussi la perte de capital et de patrimoine (autre que le bois), par exemple les bâtiments ou les voies d'accès, dans des situations de feux de forêt, de tempêtes, de glissements de terrain, etc. Mais si les forêts sont menacées au niveau de la performance des écosystèmes par des changements de grande échelle spatiale, les biens marchands et services récréatifs (tels que la chasse, la cueillette de champignons, etc.) pourraient entrer en ligne de compte pour le propriétaire. Ainsi, les coûts potentiels des dommages "externes" peuvent être considérés, si le propriétaire est mis à contribution.

Les analyses de gestion forestière face au risque nous ont longuement renseignés sur les effets des risques sur les mesures de gestion traditionnelle des forêts, par exemple le choix de l'âge de révolution depuis le magistral travail de REED (1984) et de ses col-

lègues de travail, par exemple REED et ERRICO (1985, 1986). Les conclusions de REED (1984), sont brièvement illustrées dans la figure 1. Par la suite, ces modèles ont été développés pour prendre en compte les risques endogènes par THORSEN & HELLES (1998), MEILBY *et al.* (2001, 2003) et GONZALEZ *et al.* (2005a, b, 2008) par exemple.

Moins de travaux ont été réalisés sur les possibles divergences de point de vue entre les propriétaires forestiers et la société sur la gestion du risque. La société partage évidemment les préoccupations des propriétaires par rapport aux dégâts liés au risque, y compris le risque potentiellement accru du fait du changement climatique. Cependant, la société pourrait être davantage préoccupée que les propriétaires forestiers, car les tempêtes et les incendies sont rarement des événements localisés et induisent parfois un risque sur des richesses échappant au contrôle du propriétaire forestier. D'autre part, des dommages à grande échelle peuvent causer la perte d'externalités positives et augmenter certaines externalités négatives, qui sont, elles, de faible importance pour le propriétaire. Les politiques appropriées pour contrecarrer une telle divergence d'intérêts existent et incluent, par exemple, des mesures incitant les propriétaires à diminuer les risques d'incendies, à contracter une assurance contre les pertes matérielles et les charges liées à de tels événements, ou encore, au Danemark, par exemple, où des dispositions contractuelles spécifiques visant à reboiser avec des essences moins sensibles aux tempêtes existent.

La diversification comme un moyen de compensation des incertitudes liées au changement climatique

Le changement climatique affectera la productivité des forêts actuelles, les espèces composant ces forêts et les systèmes de gestion des forêts de façon inconnue, ou, au mieux, de façon partiellement prévisible. Pour contrecarrer la dynamique accrue de risque et d'incertitudes sur ses effets, l'instrument de diversification des risques pourrait avoir beaucoup d'importance pour le propriétaire forestier. Le propriétaire pourrait

diversifier les risques en combinant sa gestion forestière avec d'autres patrimoines (cf. WASHBURN & BINKLEY, 1993 ; LUNDGREN, 2005), ou bien appliquer diverses mesures de gestion pour diversifier le risque dans la gestion forestière elle-même. Par exemple, il pourrait reboiser avec une plus grande diversité d'espèces pour contrecarrer les possibles incertitudes quant aux performances de chaque espèce dans les conditions climatiques futures.

La société pourrait ne pas se soucier autant du risque. Mais néanmoins, elle a probablement un fort intérêt quant au choix de diversification des propriétaires forestiers. Supposons, par exemple, que dans une parcelle forestière récemment coupée, deux espèces principales soient retenues pour le reboisement, chacune faisant l'objet d'une attente différente en termes de réaction aux changements modélisés (mais incertains quant à leur forme). Le propriétaire pourrait prendre un risque raisonnable en plantant une des deux espèces sur un lot étendu d'une parcelle, et l'autre espèce sur le lot étendu restant. De telle sorte que, si le changement climatique provoque des pertes importantes sur une des deux parties, le propriétaire pourra toujours y gagner sur l'autre. La société, quant à elle, pourrait s'inquiéter davantage de la mauvaise santé des forêts sur de grandes surfaces continues, car cela peut augmenter le risque d'externalités négatives comme les incendies, détruisant les nutriments et provoquant des pertes d'aménités et de valeur. Ainsi, elle pourrait préférer que le propriétaire mélange les deux espèces sur des lots plus petits pour réduire les impacts à l'échelle du paysage. Cette méthode pourrait impliquer un coût supplémentaire pour le propriétaire. À partir de là, un mécanisme incitatif serait nécessaire pour aligner les objectifs du propriétaire avec les intérêts de la société. À ma connaissance, très peu de recherches ont été menées sur ces questions.

Gestion adaptative de la dynamique de risque

D'un point de vue de la prise de décision, l'incertitude et les risques ne posent pas seulement la question de la diversification, mais aussi celle du pas de temps de la décision. Les décisions en matière de gestion forestière ont souvent un impact sur le long terme, et tendent parfois à être irréversibles. En économie forestière, la question de la prise de décision, en particulier le pas de temps, a été explorée avec une focalisation particulière sur la décision finale de récolte en situation d'incertitude par rapport au prix. Les articles incluent BRAZEE et MENDELSON (1988), mais aussi le travail de LOHMANDER (1987), et l'approche a été étendue pour englober la question des taxes (THORSEN, 1999a) ainsi que les mesures de reboisement (ZHOU, 1999). La littérature sur les prix de réserve est essentiellement un élément spécial de travail au sein du champ plus large des options réelles (PLANTINGA, 1998 ; THORSEN, 1999a). Les économistes forestiers ont aussi exploré la question des options réelles, notamment en lien avec la décision de boisement (THORSEN, 1999b), la décision de la régénération (JACOBSEN, 2007), le problème adjacent de la coupe (MALCHOW-MØLLER *et al.*, 2004) et les investissements forestiers en général (YIN & NEWMAN, 1996).

S'agissant de la question de la gestion adaptative des forêts, et hypothétiquement en lien avec le changement climatique, il est clair qu'une grande partie des incertitudes provient du manque d'information claire sur la manière dont le changement climatique va s'opérer et la nature de ses impacts. Avec le temps, certaines de ces incertitudes seront résolues et alimenteront progressivement la connaissance et l'expérience. Cela procure, dans un contexte d'incertitude inhérente au

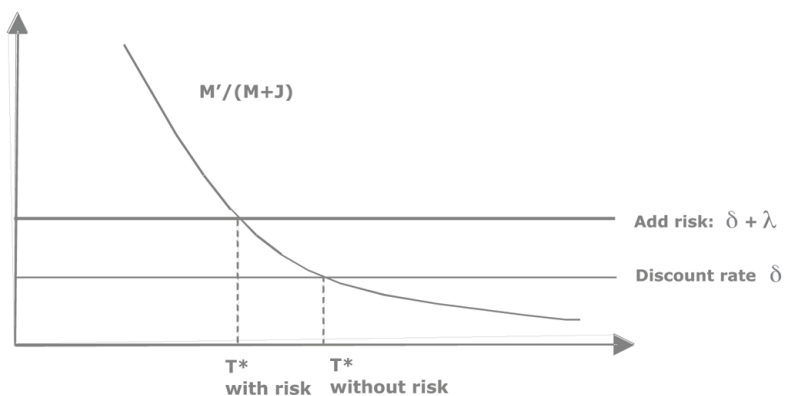


Fig. 1 :

L'effet d'un risque d'incendie sur l'âge de révolution optimal, T^* , dans la solution de Faustmann, d'après REED (1984). Ici, $M(t)$ est la valeur du peuplement, t son âge et $J(T)$ est la valeur espérée du sol. Le taux abaissé est δ et le risque de feu est λ .

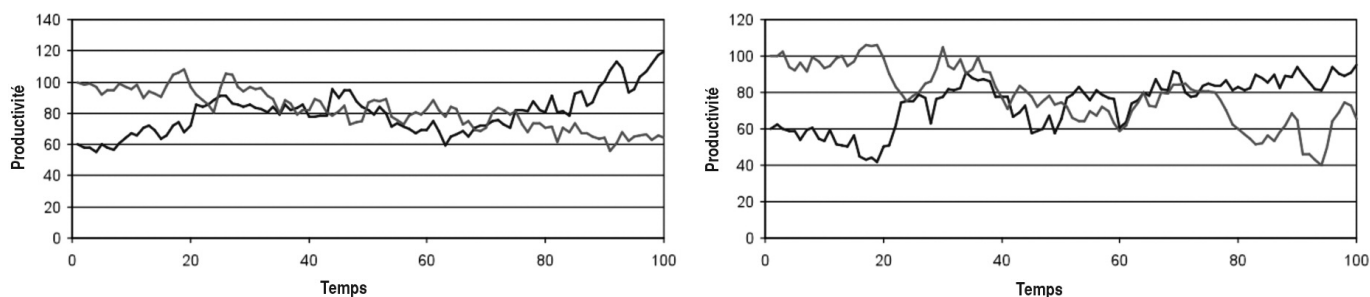
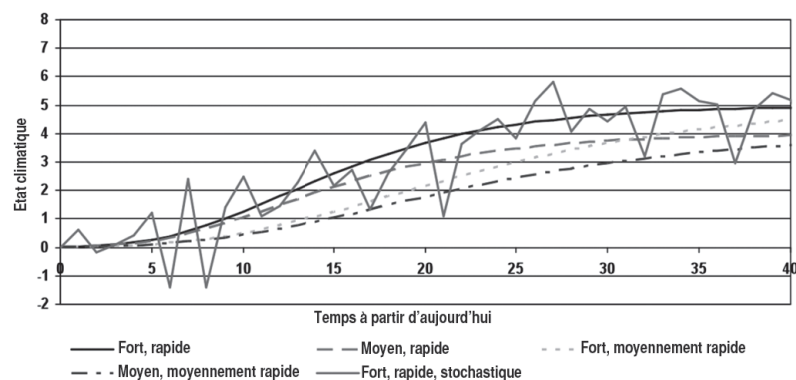


Fig. 2 :
Simulation des mesures de productivité pour 2 espèces différentes sous 2 scénarios hypothétiques d'évolution du climat. Cela illustre la difficulté de prédire exactement quand le niveau de productivité risque de changer.

changement climatique, une importante plus-value à l'attente et aux orientations vers des stratégies de gestion adaptatives. Très peu d'articles ont déjà signalé cela, mais un ouvrage de JACOBSEN & THORSEN (2003) en est une exception. Il démontre qu'il y a une perspective significative dans le mélange d'essences au sein d'un même peuplement, si celles-ci présentent des capacités de réaction différentes au changement climatique. S'il est, a priori, impossible de prédire quelles espèces vont bénéficier ou souffrir du changement climatique, les mélanges offriront la possibilité, par des éclaircies successives, de sélectionner les essences les plus performantes dans les nouvelles conditions.

Il faut noter, cependant, que même s'il s'agit d'un mode de gestion plus élaboré des incertitudes liées au changement climatique, de nombreuses incertitudes demeurent pour caractériser et modéliser les possibles impacts et dynamiques du changement climatique. Ces hypothèses ne sont pas toujours valables lorsque le changement climatique se déclare.

Fig. 3 :
Illustration conceptuelle de la difficulté de dire quelle sera la voie du changement climatique pour le futur



Considérations générales sur la prise de décision et la (l'im)prévisibilité du changement climatique

La science prévoit la manifestation d'un changement climatique significatif pour le prochain siècle comme un auto-ajustement des équilibres climatiques en réponse à l'accroissement de la proportion de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cependant, les modalités du processus, de même que les niveaux futurs d'équilibre climatique, sont d'autant plus incertains que la vitesse d'ajustement dépend de l'action des politiques et autres décideurs, aujourd'hui et dans les années à venir.

Du point de vue de la prise de décision, il demeure tentant de considérer qu'il reste toujours très difficile de prévoir le changement climatique d'autant plus que les probabilités attribuées aux différents scénarios potentiels vont évoluer avec le temps et les événements futurs, et influençant ces mêmes probabilités. Du fait des variations naturelles du changement climatique, il devrait s'écouler plusieurs années, voire plusieurs décennies avant de pouvoir établir des prévisions précises d'un nouvel équilibre climatique (Cf. Fig. 3). Cela s'explique par le fait que les modèles de prise de décision ne pourront pas facilement reposer sur des approches de programmations dynamiques aléatoires, mais devront plutôt se tourner vers des simulations et des méthodes d'analyses de type Bayésiennes.

Néanmoins, la question des stratégies flexibles de gestion est importante pour le propriétaire privé et la société, bien que les

stratégies et les décisions actuelles puissent encore différer. Pour eux, des mesures d'adaptation, prises au bon moment, sont cruciales. Pour cette raison, une question importante pour la recherche est de savoir si les propriétaires forestiers ont des attentes qui soient systématiquement différentes de celles de la société. Si c'est le cas, les propriétaires pourraient s'adapter trop vite ou trop lentement du point de vue de la société, et la société a besoin d'étapes pour aligner progressivement ses propres attentes. Des mesures politiques pertinentes doivent inclure notamment la diffusion de l'état des connaissances scientifiques le plus complet possible aux propriétaires forestiers. De plus, les politiciens et autres décideurs clés devraient signaler clairement les objectifs de leurs politiques (même s'il s'agit du scénario de 4° de hausse des températures) et agir en toute cohérence. Cela réduira les incertitudes, alignera les attentes, et assurera une meilleure adaptation de la société comme des propriétaires forestiers.

B.J.T.

References

- Brazee, R. and Mendelsohn, R. 1988. Timber Harvesting with Fluctuating Prices. *Forest Science*, 34: 359-372.
- González, J.R., Palahí, M. and Pukkala, T. 2005a. Integrating fire risk considerations in forest management planning in Spain – a landscape level perspective. *Landscape Ecology*, 20, 957-970.
- González, J.R., Pukkala, T. and Palahí, M. 2005b. Optimising the management of *Pinus sylvestris* L. stand under risk of fire in Catalonia (north-east of Spain). *Annals of Forest Science*, 62, 491-501.
- González-Olabarria, J.R., Palahí, M., Pukkala, T. and Trasobares, A. 2008. Optimising the management of *Pinus nigra* Arn. Stands under endogenous risk of fire in Catalonia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 17(1), 10-17.
- Jacobsen, J.B. 2007. The regeneration decision: a sequential two-option approach. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 439-448.
- Jacobsen, J.B. and Thorsen, B.J. 2003. A Danish example of optimal thinning strategies in mixed-species forest under changing growth conditions caused by climate change. *Forest Ecology and Management*, 180, 375-388.
- Lohmander, P. 1987. The economics of forest management under risk. PhD Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences. University of Umea. 311 pp.
- Lundgren, T. 2005: Assessing the Investment Performance of Swedish Timberland: A Capital Asset Pricing Model Approach. *Land Economics*, 81: 353-362.
- Malchow-Møller, N., Strange, N. and Thorsen, B.J. 2004. Real-options aspects of adjacency constraints. *Forest Policy and Economics*, 6, 261-270.
- Meilby, H.; Strange, N. and Thorsen, B.J. 2001. Optimal spatial harvest planning under risk of windthrow. *Forest Ecology and Management* 149: 15-31.
- Meilby, H. Thorsen, B.J. and Strange, N. 2003. Adaptive spatial harvest planning under risk of windthrow. Helles, F; N. Strange and L. Wichmann (eds.): Recent Accomplishments in Applied Forest Economics Research. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 49-61. ISBN 1-4020-1127-X.
- Plantinga, A.J. 1998. The optimal timber rotation: An option value approach. *Forest Science*, 44 (2): 192-202.
- Reed, W.J. 1984. The effects of the risk of fire on the optimal rotation of a forest. *Journal of Environmental Economics and Management*, 11: 180-190.
- Reed, W.J. and Errico, D. 1985. Assessing the long-run yield of a forest stand subject to the risk of fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 15: 680-687.
- Reed, W.J. and Errico, D. 1986. Optimal forest scheduling at the forest level in the presence of the risk of fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 16: 266-278.
- Thorsen, B.J., and Helles, F. 1998. Optimal stand management with endogenous risk of sudden destruction. *Forest Ecology and Management*, 108: 287-299.
- Thorsen, B.J. 1999a: Progressive Income Taxes and Option Values: The case of a Farmer who Owns a Forest, *Journal of Forest Economics*, 5, 217 -234.
- Thorsen, B.J. 1999b. Afforestation as a real option: some policy implications. *Forest Science* 45: 171-178.
- Washburn, C.L. and Binkley, C.S. 1993: Do Forest Assets Hedge Inflation. *Land Economics*, 69, 215-224.
- Yin, R. and Newman, D.H. 1996. The Effect of Catastrophic Risk on Forest Investment Decisions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 31, 186-197.
- Zhou, W. 1999. Risk-based selection of forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management*, 115, 85-92.

Bo Jellesmark
THORSEN
Université de
Copenhague
Rolighedsvej 23, DK-
1958 Frederiksberg C,
Danemark
E-mail: bjt@life.ku.dk

Integrating risks into management and policy: challenges and economic insights

by Bo Jellesmark THORSEN

Introduction

The prospects of climate change and the inherent uncertainty surrounding it, calls for us to reconsider the way we evaluate and undertake many types of decisions and decision alternatives. While this could be said to be true for so many things in the everyday life to be affected by climate change, it is likely to be particular true and important for decisions with a long time-horizon. Such decisions are in plenty in many aspects of forest management. Forest management embed truly long-term decision on selection of species and genetic traits to favour in the reforestation phases of forestry, the choice of harvest regimes, both thinning of stands and final harvest ages or diameters for mature trees. Forests also cover larger land areas and apart from the roundwood and other marketed goods supply a number of forest environmental services. Many of the decisions actively made — or actively not made — by forest managers have an impact not only on the production of marketed goods, but also on the forests sensitivity climate change induced patterns of risks and hazards that will affect the forests, their productivity and stability, and on the many environmental services that forest provide, from stand level to landscape level.

Uncertainties related to climate change may affect the decision problems faced by forest managers – private and public. It should be stressed that risks and uncertainties come in different forms, raise different issues and may not be perceived in the same way by private forest owners as by society. Already for this reason, the forest owners' handling – through decision making - of climate change induced uncertainties and risk may not coincide with what society would ideally prefer the forest owner to do. This discrepancy may be further enhanced, by the fact that the objective of private forest owners cannot in general be expected to coincide with the objectives of society. For the forest owner, several forest services and values, positive or negative, are external to his ownership and the values it embeds for him, but not necessarily to his decisions. Climate change may affect also the forests' ability to provide crucial environmental services for the benefit of society, positive externalities, and also the risk of forests inflicting negative externalities on its surrounding, e.g. through fire hazard and related environmental costs.

The forest owner, society and the handling of known risks

From the forest owner's point of view several values are subject to risk and uncertainty. Prominently is of course the value of the wood production, including the loss of capital and assets (other than the roundwood) due to forest fires, windthrows, landslides etc, e. g. buildings or roads. But if forests are threatened by large spatial scale changes in ecosystem performance, also the value of marketed recreational goods and services, like hunting, trekking, mushroom picking etc, may come into focus of the forest owner. Finally, the potential costs of damages to externals can be a concern, if the forest owner can be held liable.

The analyses of forest management under risk have investigated at length the effects of risks on standard forest management measures, e.g. the choice of rotation age, since the seminal paper by REED (1984) and his co-workers, e.g. REED and ERRICO (1985, 1986). The classical result of Reed (1984) is briefly illustrated in Figure 1. Later, these models

have been further developed to take into account endogenous risk, e.g. THORSEN and HELLES (1998), MEILBY *et al* (2001, 2003) and GONZALEZ *et al* (2005a, b, 2008).

Less work has been made on possible discrepancies between the views of the forest owner and society in handling risk. Society of course shares the concerns of the forest owner regarding damages from risk, including the potentially increased risk under climate change. However, society may be more concerned than the forest owner, because windthrow and fire storms are seldom local events and may imply a risk to values outside the forest owner's control. Also large scale damages may cause a loss of positive externalities and enhance negative externalities, of little concern to the owner. The appropriate policies to counteract such a discrepancy exist and include, e.g. policy measures to induce owners to minimize risk of fires, to take out insurance against the material losses and liabilities from such events and e.g. in Denmark special transfers exist for contracts ensuring reforestation with species less susceptible to windthrow.

Diversification as a means to balance unknown climate change uncertainties

Climate change will affect the productivity of current forests, forest tree species and forest management systems in unknown, though perhaps not entirely unpredictable ways. To counteract the increased dynamic risk and uncertainties from this effect, the instrument of risk diversification may have much importance for the individual forest owner. The forest owner may diversify any kind of risk by combining his forest management activities with other assets (e.g. WASHBURN and BINKLEY 1993; LUNDGREN 2005), or he may apply various forest management measures to diversify risk in forest management itself. For example, he may reforest with a greater diversity of species to counteract possible uncertainty about which species will perform the better under future climate changes. Society may not care as much about risk as such, as the forest owner, but nevertheless, they may have a strong interest in how forest owners choose to implement diversification measures. Suppose for

example, that at a larger, newly harvested forest area two species may be relevant for reforestation, each believed to react differently to possible, but uncertain, forecasted climate changes. The forest owner may get the same degree of risk diversification from planting one large part with one species and the other large part with the second species. Then, if climate change causes losses on the one species, he may win some on the other. Society, however, may worry more about forests being unhealthy in larger, contiguous forest areas as this may increase the risk of negative externalities like fire risk, leaching of nutrients and loss of amenity values. Thus, they may prefer the forest owner to mix his two species in smaller lots, to reduce landscape level impacts. It may imply a cost for the forest owner to do so and hence an incentive mechanism is called for to align forest owner objectives with social objectives. To my knowledge, little research has been devoted to these issues so far.

Adaptive, dynamic risk handling

From a decision making point of view, uncertainty and risks not only raises the issue of risk diversification, but also further stresses the issue of decision timing. Decisions of the type considered in forest management often have a long time-horizon and tend to be irreversible. In forest economics the issue of decision making, notably timing, has been research at length with a significant focus on the final harvest decision under price uncertainty. Seminal papers include BRAZEE and MENDELSON (1988), but also the work of LOHMANDER (1987) and the approach have been extended to include also

tax issues (THORSEN 1999a) as well as reforestation measures (ZHOU 1999). The literature on reservation prices is essentially a special strand of work within the larger field of real options (PLANTINGA 1998; THORSEN 1999a). Forest economists have also explored real option issues, e.g. related to the afforestation decision (THORSEN 1999b), the regeneration decision (JACOBSEN 2007), the adjacent harvesting problem (MALCHOW-MØLLER *et al* 2004) and forest investments in general (YIN and NEWMAN 1996).

Turning to the issue of adaptive forest management and uncertainty related to climate change, it is a clear that a great deal of the uncertainty concerns the lack of good information of how climate change will develop and with what impacts. As time unfolds, some of this uncertainty will be resolved and turn in to knowledge and experience. This provides an important additional value to waiting and points towards adaptive forest management strategies, when facing the uncertainty of climate change. Very few papers have yet addressed this, but JACOBSEN and THORSEN (2003) represent one important exception to this rule, they show that there is a significant option value to the mixing of species in the same stand if these may react differently to climate change. If it is a priori impossible to say which species will benefit or lose from climate changes, then mixing them will provide an option to favour, through selective thinning, the one that perform the best as climate change unfolds.

Note, however, that even if this is a more advanced way to handle climate change uncertainty, it makes important assumptions about the ability to span and model possible climate change outcomes a priori as well as dynamics. This is not necessarily a valid assumption when it comes to climate change development.

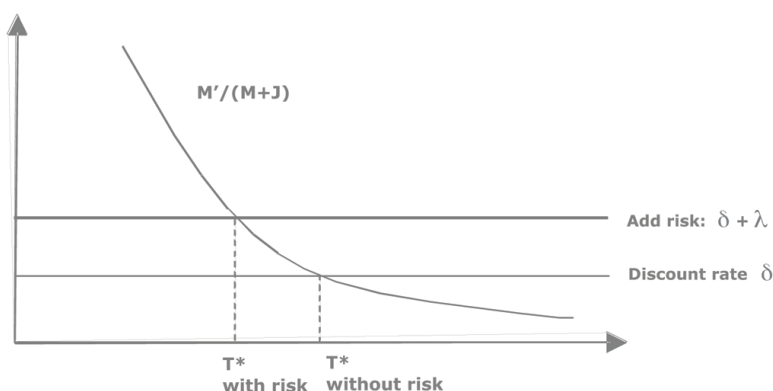
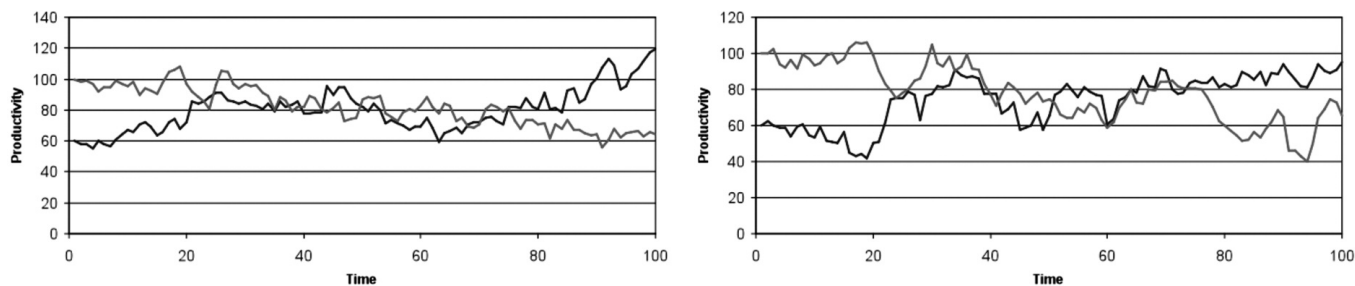


Figure 1:

The effect of a risk of fire on the optimal rotation age, T^* , in the Faustmann solution, after Reed (1984). Here $M(t)$ is value of the stand, t is age, and $J(T)$, is the soil expectation value. The discount rate is δ and the risk of fire is λ .



A concluding remark on decision making and the (in)predictability of climate change

Science predicts significant climate change over the next century as climate equilibrium adjusts it self in response to the increased content of greenhouse gasses in the atmosphere. However, the development is as yet highly uncertain and furthermore, future equilibrium climate levels as well as the speed of adjustment depends also on the actions of politicians and decision makers today and in the years to come.

From a decision making point of view, this could be said to leave the future climate change hard to predict and certainly that the probabilities assigned to any specific potential scenario will change as time passes and future events unfold and change these probabilities. Due to natural climate change variation it may be several years or decades before fairly firm predictions of the new climate equilibrium can be reliably predicted, see Figure 3 for an illustration. The implication is, that decision making models cannot easily rely on e.g. stochastic dynamic programming approaches, but may in stead turn to simulations and Bayesian methods for analyses.

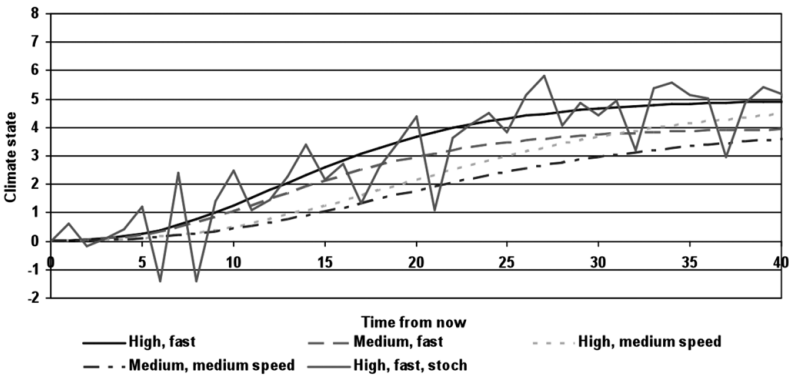
Nevertheless, the issue of flexible management strategies is relevant for the private forest owner and society both; though of course the actual strategies and decision may again differ. For society and the forest owner both, timely adaptation measures are crucial. For that reason, one important research question is if forest owners form

expectations about the future that are systematically different from those of society? If ‘yes’, forest owners may adapt too quickly or too slow from the view point of society, and society needs to take steps to align expectations. Relevant policy measures include dissemination of the best state-of-the-art research to forest owners. Furthermore, politicians and other key decision makers should signal clearly their policy goals and act accordingly — even if it is to aim for the 4° –scenario. This will reduce uncertainty, align expectations and ensure a better adaptation for society and the forest owners as well.

Figure 2: Hypothetic simulated productivity measures for two different species under two hypothetical climate developments. Illustrating that it may be difficult to predict when productivity ranking will in fact have changed.

B.J.T.

Figure 3: Conceptual illustration of the difficulty in telling which future climate change path we are on.



Bo Jellesmark
THORSEN
University of
Copenhagen
Rolighedsvej 23, DK-
1958 Frederiksberg C,
Denmark
E-mail: bjt@life.ku.dk

References

- Brazee, R. and Mendelsohn, R. 1988. Timber Harvesting with Fluctuating Prices. *Forest Science*, 34: 359-372.
- González, J.R., Palahí, M. and Pukkala, T. 2005a. Integrating fire risk considerations in forest management planning in Spain – a landscape level perspective. *Landscape Ecology*, 20, 957-970.
- González, J.R., Pukkala, T. and Palahí, M. 2005b. Optimising the management of *Pinus sylvestris* L. stand under risk of fire in Catalonia (north-east of Spain). *Annals of Forest Science*, 62, 491-501.
- González-Olabarria, J.R., Palahí, M., Pukkala, T. and Trasobares, A. 2008. Optimising the management of *Pinus nigra* Arn. Stands under endogenous risk of fire in Catalonia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 17(1), 10-17.
- Jacobsen, J.B. 2007. The regeneration decision: a sequential two-option approach. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 439-448.
- Jacobsen, J.B. and Thorsen, B.J. 2003. A Danish example of optimal thinning strategies in mixed-species forest under changing growth conditions caused by climate change. *Forest Ecology and Management*, 180, 375-388.
- Lohmander, P. 1987. The economics of forest management under risk. PhD Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences. University of Umea. 311 pp.
- Lundgren, T. 2005: Assessing the Investment Performance of Swedish Timberland: A Capital Asset Pricing Model Approach. *Land Economics*, 81: 353-362.
- Malchow-Møller, N., Strange, N. and Thorsen, B.J. 2004. Real-options aspects of adjacency constraints. *Forest Policy and Economics*, 6, 261-270.
- Meilby, H.; Strange, N. and Thorsen, B.J. 2001. Optimal spatial harvest planning under risk of windthrow. *Forest Ecology and Management* 149: 15-31.
- Meilby, H. Thorsen, B.J. and Strange, N. 2003. Adaptive spatial harvest planning under risk of windthrow. Helles, F; N. Strange and L. Wichmann (eds.): Recent Accomplishments in Applied Forest Economics Research. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 49-61. ISBN 1-4020-1127-X.
- Plantinga, A.J. 1998. The optimal timber rotation: An option value approach. *Forest Science*, 44 (2): 192-202.
- Reed, W.J. 1984. The effects of the risk of fire on the optimal rotation of a forest. *Journal of Environmental Economics and Management*, 11: 180-190.
- Reed, W.J. and Errico, D. 1985. Assessing the long-run yield of a forest stand subject to the risk of fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 15: 680-687.
- Reed, W.J. and Errico, D. 1986. Optimal forest scheduling at the forest level in the presence of the risk of fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 16: 266-278.
- Thorsen, B.J., and Helles, F. 1998. Optimal stand management with endogenous risk of sudden destruction. *Forest Ecology and Management*, 108: 287-299.
- Thorsen, B.J. 1999a: Progressive Income Taxes and Option Values: The case of a Farmer who Owns a Forest, *Journal of Forest Economics*, 5, 217 -234.
- Thorsen, B.J. 1999b. Afforestation as a real option: some policy implications. *Forest Science* 45: 171-178.
- Washburn, C.L. and Binkley, C.S. 1993: Do Forest Assets Hedge Inflation. *Land Economics*, 69, 215-224.
- Yin, R. and Newman, D.H. 1996. The Effect of Catastrophic Risk on Forest Investment Decisions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 31, 186-197.
- Zhou, W. 1999. Risk-based selection of forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management*, 115, 85-92.

Liste des participants

List of participants

- ABASSI Mejda - INRGREF Tunisia
mej_abassi@yahoo.fr
- ABBES Chaabane - Institut Sylvo-Pastoral
de Tabarka Tunisia
abbes.chaabane@iresa.agrinet.tn
- ACAR Melek - Turkey
- AFXANTIDIS Denise - Forêt
Méditerranéenne France
denise.afxantidis@
foret-mediterraneenne.org
- AKYUZ Mustafa - Turkey
- ALAN Murat - Forest Tree Seeds and Tree
Breeding Research Directorate Turkey
muratalan@yahoo.com
- ALLEN Craig - U.S. Geological Survey USA
craig_allen@usgs.gov
- AMMARI Youssef - INRGREF Tunisia
Ammari_youssef@yahoo.fr
- ARSLAN Mustafa - Western Blacksea
Forestry Research Institution Turkey
marsforen@yahoo.com
- ATAS Emine - General Directorate of
Forestry Turkey
emineatasgm.gov.tr
- AY Zerrin - SAFRI Turkey
zerrin.ay@hotmail.com
- AYDIN Abdurrahim - Western Black Sea
Forestry Research Institute Turkey
aaydin@istanbul.edu.tr
- BARBAS GONZALEZ - Julio MICINN Spain
julio.barbas@micinn.es
- BASARAN Mehmet Ali - SAFRI Turkey
malibasaran2000@yahoo.com
- BASARAN Saime - SAFRI Turkey
basaransaim@hotmail.com
- BASKENT Emin - Karadeniz Technical
University Turkey
baskent@ktu.edu.tr
- BATTISTI Andrea - University of Padova
Italy andrea.battisti@unipd.it
- BENKO Miroslav - Croatian Forest
Research Institute Croatia
benkom@sumins.hr
- BERRAHMOUNI Nora - FAO
Nora.Berrahmouni@fao.org
- BESACIER Christophe - FAO
Christophe.Besacier@fao.org
- BILGILI Ertrugul - Karadeniz Technical
University Turkey
bilgili@ktu.edu.tr
- BILGIN Serap - Aegean Forestry Research
Institute Turkey
serfiz00@yahoo.com
- BIROT Yves - EFIMED
yves.biro@wanadoo.fr
- BLANCH ROURE Josep Salvador -
Generalitat de Catalunya Spain
js.blanchr@gencat.cat
- BOGLIO Denis - CTFC/ARCMED Spain
Denis.Boglio@ctfc.es
- BONET Jose Antonio - CTFC Spain
jantonio.bonet@ctfc.es
- BONNIER Jean - AIFM France
jean.bonnier@aifm.org
- BOTEQUIM Brigitte - ISA Portugal
bbotequim@isa.utl.pt
- BOYDAK Melih - Istanbul University
Turkey
boydakm@istanbul.edu.tr
- ÇALIKOGLU Mehmet - SAFRI Turkey
calikoglumehmet@hotmail.com
- CELIKOL Turgut - Turkey
- CENGEL Burcu - Forest Tree Seeds and
Tree Breeding Research Directorate
Turkey cengel.burcu@gmail.com
- CESARO Luca - National Institute of
Agricultural Economics Italy
luca.cesaro@unipd.it
- CHAKROUN Mohamed Larbi - AIFM
Tunisia
l.chakroun@gnet.tn
- CHAUDRON Alain - Ministry of Food,
Agriculture and Fisheries France
alain.chaudron@agriculture.gouv.fr
- CLOPES ALEMANY Xavier - Generalitat de
Catalunya Spain
axcloal@gencat.cat

COSGUN Selma - SAFRI Turkey
selma-cosgun@rocketmail.com

COSGUN Ufuk - SAFRI Turkey
ufukcosgun@gmail.com

DAGDAS Said - State Planning
Organization Turkey
sdagdas@dpt.gov.tr

DALY-HASSEN Hamed - INRGREF Tunisia
dalyhassen.hamed@iresa.agrinet.tn

DE MONTGOLFIER Jean - AIFM France
jean@montgolfier.info

DUCCI Fulvio - Instituto Sperimentale per
la Selvicoltura Italy
fulvio.ducci@entecra.it

DUPUY Jean-Luc - INRA France
dupuy@avignon.inra.fr

ERDEM Mahir - Western Blacksea Forestry
Research Institute Turkey
serinmetin@hotmail.com

ERİÇ Selahatin - Turkey

ERKAN Nesat - SAFRI Turkey
nesaterkan@yahoo.com

FERNANDES Paulo - University Trás-os-
Montes e Alto Douro Portugal
pfern@utad.pt

FIDAN Cemal - Poplar and Fast Growing
Forest Trees Research Institute Turkey
Cemalf4@gmail.com

FLORIAN Diego - University of Padova Italy
diego.florian@unipd.it

GASC David - AIFM France
david.gasc@aifm.org

GÖKDEMİR Sükran - Ministry of
Environment and Forestry Turkey
s-gokdemir@hotmail.com

GONZALEZ Santiago - CIFOR-INIA Spain
santiago.c.gonzalez.martinez@gmail.com

GORRIZ Elena - EFIMED
elena.gorriz@efi.int

GRACIA Carlos - CREAM Spain
cgracia@ub.edu

GUEHL Jean-Marc - INRA France
guehl@nancy.inra.fr

GÜRLEVIK Nevsat - Suleyman Demirel
University Turkey
gurlevik@orman.sdu.edu.tr

HASNAOUI Brahim - Institut Sylvo-
Pastoral de Tabarka Tunisia
hasnaoui_1952@yahoo.fr

HAUTAKANGAS Juha - IUFRO
hautakangas@iufro.org

HIRSCH Franziska - UNECE
Franziska.Hirsch@unece.org

HOUMY Abderrahim - HCEFLCD Morocco
houmy@eauxetforets.gov.ma

JACTEL Hervé - INRA France
herve.jactel@pierroton.inra.fr

KAHRAMAN Teoman - Turkey

KALEM Sedat - WWF Mediterranean
Programme Office Turkey
skalem@wwf.org.tr

KARADAG Metin - Turkey

KASAR Rejeb - Turkey

KAVGACI Ali - SAFRI Turkey
alikavgaci1977@yahoo.com

KEENAN Trevor - CREAM/Harvard
University USA
keenan_trevor@yahoo.ie

KILIÇ Kenan - General Directorate of
Forestry Turkey
kenankilic@ogm.gov.tr

KISA Ahmet - Turkey

KLEINSCHMIT Andreas - FTP Belgium
kvl@forestplatform.org

KOCYIGIT Mehmet - Turkey

KORAKAKI Evangelia - WWF Greece
e.korakaki@wwf.gr

KORSO Lamia - University of Tlemcen
Algeria lamiakorso@yahoo.fr

KURTULMUSLU Mustafa - General
Directorate of Forestry Turkey
mustafakutulumslu@ogm.gov.tr

LEFEVRE François - INRA France
francois.lefevre@avignon.inra.fr

Photo 1 :

Les participants
de la première
Semaine forestière
méditerranéenne lors
de la visite sur le terrain

*The participants of the
first Mediterranean Forest
Week during the field trip*

Photo DA



MAGNANI Federico - University of Bologna
Italy federico.magnani@unibo.it

MARTIN PINTO Pablo - University of
Valladolid Spain
pmpinto@pvs.uva.es

MAVSAR Robert - EFIMED
robert.mavsar@efi.int

MIKKOLA Eero - IUFRO
mikkola@iufro.org

MINE Kara - Turkey

MOUNIR Fouad - ENFI Morocco
mounirf65@yahoo.fr

NUNES Leónia - Agrarian School of Viseu
Portugal
lnunes@esav.ipv.pt

OK Kenan - Turkey

ORTEL Erdal - SAFRI Turkey
eortel@yahoo.com

ÖZAY Faruk Şakir - Poplar and Fast
Growing Forest Trees Research Institute
Turkey faruk@kavak.gov.tr

OZER Seref - Turkey

ÖZER Mustafa - Ministry of Environment
and Forestry Turkey
ozermk@yahoo.com

PÄIVINEN Risto - EFI
risto.paivinen@efi.int

PALAHÍ Marc - EFIMED
marc.palahi@efi.int

PEÑUELAS Josep - University Autònoma de
Barcelona Spain
josep.penuelas@uab.cat

PETTENELLA Davide - University of
Padova Italy
davide.pettenella@unipd.it

PLAZA Plácido - CIHEAM France
plaza@ciheam.org

PRADO Jose Antonio - FAO
JoseAntonio.Prado@fao.org

REINHARD Alexander Kastl - GTZ
Germany Reinhard.Kastl@gtz.de

ROIS Mercedes - EFIMED
mercedes.rois@efi.int

ROVIRA I CIURO Joan - ARCMED Spain
joan.rovira@forestal.cat

SABIR Mohamed - ENFI Morocco
miloudsaadia@hotmail.com

SAHIN Melahat - SAFRI Turkey
melahat_sahin@hotmail.com

SAIDI Youssef - Institut Sylvo-Pastoral de
Tabarka Tunisia
saidi_youssef@yahoo.fr



SAIZ CALAHORRA Juan Carlos - MICINN
Spain
juancarlos.saiz@micinn.es

SANLI Bahadır - Central Anatolia Forestry
Research Institute Turkey
sanlibahadir@yahoo.com

SEBEI Houcine - Ecole Supérieure
d'Agriculture de Mograne Tunisia
sebei.houcine@iresa.agrinet.tn

SELEK Fazıl - Poplar Research Institute
Turkey
kavakxx@gmail.com

SEMERCI Hacer - Forest Tree Seeds and
Tree Breeding Research Directorate
Turkey
hacersemerci@hotmail.com

SEMERCI Akkin - Central Anatolia Forestry
Research Institute Turkey
aksemerci@yahoo.com

SEMIZER-CUMING Devrim - Aegean
Forestry Research Institute Turkey
devrims77@hotmail.com

SENYAZ Ahmet - Ministry of Environment
and Forestry Turkey
asenyaz@cob.gov.tr

SIKLAR Sadi - Turkey

TARASCONI Lorenzo - University of Padova
Italy
lorenzo.tarasconi@unipd.it

TAVSANOGU Cagatay - Central Anatolia
Forest Research Directorate Turkey
ctavsan@hacettepe.edu.tr

TAYANC Yasemin - Forest Tree Seeds and
Tree Breeding Research Directorate
Turkey
yasemintayanc@hotmail.com

Photo 2 :

Les participants
de la première
Semaine forestière
méditerranéenne lors de
la visite sur le terrain
(Forêt de Duzlercamı)

*The participants of the
first Mediterranean Forest
Week during the field trip
(Duzlercamı Forest)*

Photo DA



Photo 3 :

Le théâtre antique de
Termessos visité lors de la
journée sur le terrain
The Antique theater of
Termessos visited during
the field trip
Photo DA

TEMERIT Ali - Turkey

THORSEN Bo Jellesmark - University of
Copenhagen Denmark
bjt@life.ku.dk

TODOROV Spas - Ministry of Agriculture
and Foods Bulgaria
spacetodorov@yahoo.com

TOKCAN Mehmet - Western Blacksea
Forestry Research Institute Turkey
tokcanm52@yahoo.com

TÜREYEN Suat - General Directorate of
Forestry Turkey
suattureyen@hotmail.com

TURKKAN Mehmet - SAFRI Turkey
mturkkan@hotmail.com

VANCLAY Jerry - Southern Cross
University Australia
jerry.vanclay@scu.edu.au

VARELA Maria-Carolina - INRB Portugal
mariacarolinavarela@gmail.com

YEGUL Serdar - Ministry of Environment
and Forestry Turkey
syegul@cevreorman.gov.tr

YILMAZ Ersin - Eastern Mediterranean
Forestry Research Institute Turkey
yilmazersin@hotmail.com

ZEKRI Nadia - University of Tlemcen
Algeria Nadia_z1978@yahoo.fr

ISIK Kani - Akdeniz University Turkey
kani@akdeniz.edu.tr

***La première Semaine forestière méditerranéenne d'Antalya, Turquie,
a été organisée par :***
***The first Mediterranean Forest Week of Antalya, Turkey,
was organized by:***



EUROPEAN FOREST INSTITUTE
MEDITERRANEAN REGIONAL OFFICE - EFIMED



ASSOCIATION
INTERNATIONALE
FORETS
MEDITERRANEENNES



VIVEXPO 2010

Colloque International : « Chêne-liège et changement climatique »

par Renaud PIAZZETTA

Le colloque Vivexpo, organisé en juin 2010, avait pour thème "Chêne-liège et changement climatique". Il nous a paru intéressant de publier, dans ce numéro spécial, le compte rendu de ce colloque qui illustre très clairement les préoccupations des exploitants des suberaies vis-à-vis du changement climatique. Mais où l'on voit aussi que, finalement, pour eux, ce n'est peut-être pas le facteur le plus redouté.

Les 17 et 18 juin 2010, les experts du monde du liège se sont retrouvés à Vivès (Pyrénées-Orientales) à l'occasion de la 10^e édition de la traditionnelle biennale VIVEXPO, pour un colloque intitulé « Chêne-liège et changement climatique. » Une occasion pour les représentants des différents pays producteurs, d'échanger leur expérience sur cette problématique d'actualité, dont les effets sont, d'ores et déjà, observables dans les régions méditerranéennes. Et les suberaies sont en première ligne.

Le changement climatique, au-delà des controverses quant à ses causes, est un phénomène avéré, qui soulève de nombreuses interrogations et bien peu de certitudes pour les forestiers. La forêt étant par définition « statique », elle est le témoin (d'autres diront la proie) des aléas du climat, et n'a d'autre choix que celui de s'en accommoder, quand elle le peut... Quant au forestier méditerranéen, il a dans sa vision à long terme le besoin de disposer d'outils lui permettant d'anticiper au mieux ces changements, lors du choix d'une essence de reboisement par exemple. Pathologie, qualité du liège, subéiculture, feux de forêts... voici quelques-uns des thèmes traités lors de ces deux jours de débats et d'échanges, que ce soit entre spécialistes lors de la table-ronde du jeudi, ainsi qu'avec le public présent à la conférence du vendredi matin.

Vers quelle forêt allons-nous ?

Le changement climatique est un phénomène global et inégal selon les parties du globe. Qu'en est-il du pourtour méditerranéen ? C'est ce que Bernard Boutte, ingénieur au Département Santé des Forêts

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

d'Avignon, nous rapporte dans son exposé, s'appuyant pour cela sur les conclusions du GIEC¹ : « *Il fera plus chaud en été, avec une pluviométrie stable, mais concentrée en hiver et au printemps. Plus chaud en été, cela se traduit par une évapotranspiration supérieure, des déficits hydriques et des stress hydriques, notamment dans la région.* » Données météorologiques à l'appui, il nous montre par exemple que le secteur de Perpignan, au cœur du Roussillon, se trouve en situation de déficit hydrique constant depuis 10 ans, si on compare cette période aux trois décennies précédentes.

L'effet de ces changements est d'ailleurs déjà observable sur plusieurs essences forestières. Éric Rigolot, directeur adjoint de l'unité de recherche Écologie de la forêt méditerranéenne de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) d'Avignon, cite l'exemple du hêtre (*Fagus sylvatica*) qui est remonté de 50 m en altitude dans le massif du Montseny, en Catalogne. Des bouleversements selon une échelle de temps tellement courte, qu'il est peu probable que la végétation puisse s'y adapter naturellement.

En ce qui concerne l'évolution des températures et des précipitations, Enrique Torres, enseignant-chercheur à l'Université de Huelva, précise que le changement climatique peut se matérialiser par une modification de leurs valeurs moyennes, mais aussi par une modification de leur variabilité (écart-type). Du côté du chêne-liège, cela pourrait se traduire par des problèmes de relocalisation de l'espèce étant donné les difficultés de sa dissémination naturelle par les glands : « *On assisterait à un déplacement des aires potentielles de reboisement en chêne-liège vers le nord et vers des altitudes plus élevées.* » C'est ce que confirment les tra-

voux de modélisation informatique réalisés à l'Université d'Estrémadure par Angel María Felicísimo, et présentés lors de Vivexpo par Ramón Santiago, ingénieur du Service des ressources naturelles renouvelables de l'Institut espagnol IPROCOR : « *Il y a plusieurs scénarios selon les modèles utilisés, le pire allant jusqu'à prévoir une quasi disparition des zones favorables au chêne-liège dans le sud-ouest de l'Espagne* », région où il est pourtant aujourd'hui majoritairement présent, avec en contrepartie « *l'ouverture de nouveaux territoires subéricoles dans le nord du pays.* » En toute logique donc, si le chêne-liège venait à désertir les régions climatiquement les plus défavorables, il pourrait néanmoins, à l'avenir, étendre sa zone de répartition vers le nord. Mais ce n'est bien entendu pas le cas au Maghreb, ainsi que le montrent les travaux de modélisations menés par Gazi Gader, expert tunisien intervenu dans le cadre d'un projet de coopération tuniso-allemand sur le changement climatique : « *Il n'y a pas de possibilité d'évolution et d'extension de la suberaie en Tunisie.* » En effet, si le changement climatique se poursuit : « *Il y aura une réduction drastique des zones présentant des conditions favorables au chêne-liège en Tunisie, avec globalement une fragmentation des habitats.* » Mais, tient-il à préciser, il est important de saisir et de comprendre qu'une « *réduction des zones présentant des conditions favorables au chêne-liège* » ne veut pas forcément dire que ce dernier va disparaître complètement de ces zones. En effet, les modèles climatiques utilisés prédisent l'évolution de la température et de la pluviométrie, mais ils ne peuvent en revanche pas prendre en compte les capacités adaptatives des écosystèmes forestiers. Ramón Santiago tient ainsi à souligner que « *la suberaie est une forêt très bien adaptée à la chaleur, même à des variations énormes de température et à des épisodes de sécheresse* », alors qu'il résiste à l'inverse aussi très bien au froid, comme dans la région de Salamanque, où « *le chêne-liège supporte sans problème chaque hiver des températures allant jusqu'à -12°C.* »

Autre exemple venu d'Algérie, en Oranie plus précisément, un secteur étudié depuis 11 ans par Rachid Tarik Bouhraoua, enseignant-chercheur au département de foresterie de l'université de Tlemcen, où la forêt de chêne-liège de Nesmoth, près de Mascara, a dû affronter sur cette période plusieurs années à moins de 400 mm de précipitations, et même seulement 136 mm (!) sur l'ensem-

Photo 1 :

Discours d'ouverture
de la conférence
du 18 juin
par Jacques Arnaudès,
président de l'IML
Photo IML



ble de l'année 2000. Et pourtant, malgré cela, d'après Bouhraoua : « *On assiste à une certaine résistance ou une adaptation des arbres à la sécheresse.* » Ainsi, en cas d'épisode climatique extrêmement chaud et sec, des arbres peuvent perdre intégralement leur feuillage en fin d'été, puis le reconstituer au printemps suivant, bien qu'il ait pu constater que « *les hautes températures printanières peuvent faire des dégâts sur les jeunes reboisements dans les zones semi-arides.* » Et à l'inverse, dans cette même région, une amélioration pluviométrique n'a pas été forcément synonyme d'une amélioration sanitaire immédiate.

Cette plasticité remarquable, surtout s'agissant d'un arbre dont l'écorce est prélevée à intervalle régulier, nous permet de rester optimistes quant au devenir de la suberaie, qui reste un des principaux remparts contre la désertification dans bien des régions du pourtour méditerranéen, ainsi qu'un habitat d'une exceptionnelle diversité sous nos latitudes.

Situation sanitaire contrastée, mais pas alarmante

Les changements climatiques vont avoir un impact sur la physiologie des arbres, mais également sur l'ensemble de la faune de la suberaie, et notamment sur les pathogènes. En effet, pour Mohamed Lahbib Ben Jamâa, chercheur à l'INRGREF de Tunisie : « *Les insectes sont de bons indicateurs des changements climatiques, car leur cycle biologique est court.* » Mais plus que l'augmentation des températures moyennes, c'est l'augmentation des extrêmes climatiques qui influe encore plus fortement sur les insectes. C'est ainsi qu'en Tunisie, le bombyx disparate (*Lymantria dispar*), qui est le ravageur primaire le plus fréquent, voit son cycle perturbé par des températures extrêmes supérieures à 45°C, alors qu'au contraire on assiste à l'émergence d'espèces au cycle biologique plus précoce, telles que la tordeuse verte du chêne (*Tortrix viridana*) ou l'hiberne défeuillante (*Erranis defoliaria*). Pour la France, Bernard Boutte prend à témoin la progression constante de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) vers le nord, comme preuve du réchauffement climatique. Quant à parler du dépérissement, il se veut mesuré sur son ampleur :

« *On observe des dépérissements forestiers après chaque crise climatique ; que ce soit le chêne-liège ou d'autres essences méditerranéennes, toutes sont affectées, avec des niveaux différents mais toujours pour l'instant à des endroits très localisés.* »

La situation sanitaire des suberaies varoises est suivie de près par Louis Amandier, ingénieur au Centre régional de la propriété forestière (CRPF) Provence-Alpes-Côte-d'Azur, qui, alerté par les mortalités anormales constatées dès la fin des années 1990, a constitué un réseau d'observations installé finalement en 2003. Le suivi de ces placettes a notamment permis d'établir clairement un lien entre la présence de platype (*Platypus cylindrus*) et la santé des arbres, bien que, précise-t-il : « *Le dépérissement [soit] toujours multifactoriel.* »

Les effets biologiques d'un réchauffement climatique sont pourtant a priori plutôt positifs pour les végétaux. Ils se traduisent généralement par un allongement de la saison de végétation (auquel s'ajoute cependant en contrepartie des risques accrus de gelées précoces ou tardives), ainsi que par une augmentation de la productivité forestières due à l'augmentation du taux de CO₂ dans l'air. Ce que confirme Agostino Pintus, directeur du département de recherche sur le liège et la sylviculture d'AGRIS Sardegna, en apportant cependant une nuance : sous l'effet de ces changements climatiques, des pathogènes jusqu'ici marginaux pourraient devenir dangereux. Ce serait le cas notamment de *Phytophthora cinammomi* (champignon racinaire responsable de la maladie de l'encre) ou encore de *Biscogniauxia mediterranea* (agent responsable de la maladie du charbon de la mère). Pour Mohamed Ben Jamâa, il pourrait également y avoir une évolution dans la pathogénicité des champignons associés au platype. Tout en sachant que les essences forestières, même très proches, ne sont pas toutes égales face à un même pathogène. Ainsi, « *le chêne-liège résiste sept fois mieux au Phytophthora cinammomi que le chêne vert* » nous indique Ramón Santiago.

Pour Rachid Tarik Bouhraoua, ce sont les peuplements de chêne-liège enrésinés qui présentent le plus mauvais état phytosanitaire : « *Les dépérissements observés en Algérie ne sont pas dus au changement climatique, mais plutôt à l'enrésinement avec le pin d'Alep et aux incendies. [...] Le changement climatique a un impact très négligeable.* »

Plus chaud = plus de feux

Eric Rigolot travaille depuis plusieurs années sur les feux de forêts à l'INRA d'Avignon. Ses travaux montrent une augmentation de l'indice de risque incendie depuis une cinquantaine d'années, liée à une augmentation des fortes chaleurs (type 2003), ainsi qu'à une baisse du nombre de dépressions et des vents associés : « *On a vu des températures qui déjà augmentent en France : 0,3°C par décennie sur les 50 dernières années.* » En conséquent, alors que 33 % des forêts françaises sont sensibles aux feux de forêts en 2010, elles seront 58 % à être dans ce cas en 2060. Cependant, malgré cette hausse globale du risque incendie, les surfaces incendiées diminuent en France. Mais, ajoute-t-il : « *Dans d'autres pays plus exposés, comme l'Espagne ou la Grèce, on a déjà une corrélation entre feux de forêts et changement climatique.* » Sur la base de ce constat, il est illusoire de penser que la puissance publique pourra investir dans la lutte à la hauteur des nouvelles surfaces concernées : « *Les saisons de feux seront plus longues, avec des moyens de lutte qui vont s'user, et des feux peut-être plus étendus. On a un des systèmes de prévention et de lutte qui fait partie des plus performants au monde, mais qui atteint ses limites lors d'années exceptionnelles, comme en 2003 ; or on ne pourra pas avoir sans cesse plus de pompiers, plus de camions...* » Il faut donc plutôt s'orienter sur une sylviculture qui permette à la forêt de « s'autoprotéger », car comme l'a rappelé très justement Eric Rigolot : « *Une*

Photo 2 :
Table-ronde
du jeudi 17 juin,
à l'Institut méditerranéen
du Liège.
Photo IML



forêt exploitée et entretenue est protégée. » D'autant plus que la présence du chêne-liège peut s'avérer intéressante dans les zones d'aménagement DFCI. En effet, pour Daniel Bourgouin, responsable de l'Unité forêt au sein de la DDTM² des Pyrénées-Orientales : « *Le chêne-liège est un des rares enjeux économique qu'on puisse trouver au niveau forestier en région méditerranéenne.* » Les interventions ciblées sur les zones à vocation subéricole permettent ainsi de combiner plusieurs intérêts : protection contre les incendies et production de liège, voire sylvopastoralisme. Mais la résistance du chêne-liège au feu est à la fois une force et une faiblesse, car certes l'arbre survit à l'incendie, mais il en ressort affaibli ; or les formations dépérissantes génèrent plus de biomasse combustible.

Au Maghreb, la situation est sensiblement différente étant donné la composante sociologique de ces territoires, comme nous l'expose Mohamed Ben Jamâa : « *Il y a peu de feux de forêts de grande envergure en Tunisie, car la forêt est densément habitée et ainsi les populations locales peuvent intervenir rapidement, et aussi car le surpâturage empêche le développement d'un sous-bois combustible.* » Ou comment le surpâturage, néfaste à la conservation des sols et à la régénération naturelle, devient un atout dans la lutte contre les incendies. Équation difficile à résoudre pour le forestier...

Changer de subériculture

Revenons en Provence, où le constat de Louis Amandier est sans nuance : « *La suberaie des Maures est dans un triste état depuis les années 50-60, suite à l'abandon de la récolte du liège et de la filière liège. [...] Or le chêne-liège est un arbre qui a vraiment besoin de l'action de l'homme. [...] Quand on abandonne la suberaie, elle se porte mal, elle ne se régénère pas.* » Les inventaires réalisés notamment lors de la réalisation de la typologie des suberaies varoises montrent en effet que les populations de chênes-lièges dans le Var ont une démographie déséquilibrée, avec beaucoup d'arbres vieillissants et peu de jeunes tiges d'avenir. Il y a donc une impérieuse nécessité d'engager des travaux de rénovation, d'autant plus que l'on constate un manque de brassage génétique, dû à la faiblesse de la reproduction sexuée, au détriment de la reproduction végétative

par rejets ou drageons. Ce qui fait dire à Maria Carolina Varela, chercheur à l'Institut National des Ressources Biologiques du Portugal, mais également responsable du groupe de travail Chêne-liège au sein de Silva Mediterranea : « *Il faut étudier la variabilité génétique du chêne-liège et améliorer génétiquement la qualité du liège.* » Un souhait repris par les professionnels de la filière présents dans la salle, dont Dominique Tournieux, PDG de la société Diam Bouchage (ex-Oeneo Bouchage), qui se dit même prêt à soutenir les initiatives allant dans ce sens.

Il faut également tenir compte de la pluviométrie dans la gestion forestière, qui comme le fait très justement remarquer Agostino Pintus, est toujours le facteur limitant l'accroissement en région méditerranéenne : « *Il faut adopter des mesures sylvicoles pour réguler le régime de l'eau. [...] Il faut éviter d'introduire des espèces grandes consommatrices d'eau [...] et ne pas faire de travaux qui perturbent le sol et la litière.* » Maria Carolina Varela confirme que le bilan hydrique est très positif pour le chêne-liège en comparaison d'autres essences telles que l'eucalyptus : « *Il existe des synergies entre les espèces forestières et celles du sous-bois, mais aussi avec les champignons, pour la recherche des nutriments et de l'eau.* » Elle va encore plus loin : « *La gestion de l'eau doit être intégrée dans les systèmes de financement de l'Union Européenne, alors qu'actuellement, au contraire, les subventions de l'Europe en faveur du bétail aggravent les problèmes de surpâturage.* » Plutôt que d'inventer de nouvelles pratiques subéroides, il s'agirait donc de mieux orienter les moyens financiers mis à disposition à l'échelon communautaire, car du point de vue des connaissances, de l'avis de Gregorio Montero, chercheur en sylviculture à l'Institut national espagnol de recherche agraire et président de la Société espagnole des sciences forestières : « *Il existe des outils de gestion forestière pour s'adapter au changement climatique.* » Ce que vient compléter son compatriote Enrique Torres : « *L'aménagement pour s'adapter au changement climatique passe par une diversification des espèces, une diversification génétique et une diversification de la structure des peuplements.* » Ainsi, pour mettre toutes les chances de réussite de son côté pour les futurs reboisements, il faudra s'orienter vers l'utilisation de matériel forestier de reproduction de premier choix, ce qui passe par la

sélection de peuplements porte-graines de qualité.

Pour ce qui est de la séquestration du carbone, argument écologique en faveur des productions sylvicoles, Agostino Pintus précise que le chêne-liège en fixe relativement peu comparativement à d'autres essences forestières : « *Environ 1 tonne par hectare et par an, contre 3 tonnes pour le peuplier par exemple.* » Mais il possède en revanche une longévité bien meilleure, puisqu'il continuera à fixer du carbone tout au long de son cycle d'exploitation, soit pendant près de deux siècles, contre seulement quelques décennies pour des essences à croissance rapide, au bilan hydrique bien moins favorable.

Vers un liège de meilleure qualité ?

La qualité du liège est l'aspect qui préoccupe en premier lieu les industriels du bouchon. Car même si le chêne-liège et les subéroides peuvent s'accommoder d'une évolution du climat vers plus de sécheresse, comment se comportera la croissance de son écorce ? Le phénomène est suivi depuis une douzaine d'années dans l'Ouest algérien par Rachid Tarik Bouhraoua. Il a pu observer que le liège provenant d'un même arbre gardait la même porosité qu'il soit déperissant ou non, mais qu'il poussait par contre moins vite : « *Un arbre déperissant perd 30 % de croissance en épaisseur [...], on observe donc une relation étroite entre la santé du peuplement et sa productivité, caractérisée par la vitesse d'accroissement du liège.* »

Une diminution de la qualité de la station peut donc avoir un effet sur l'épaisseur du liège. Les observations d'Enrique Torres vont dans le même sens, ce qui nécessitera certainement des évolutions dans les rotations d'écorçage selon les régions concernées : « *Il faudra peut-être augmenter la périodicité des récoltes, en passant de 9 ans à 11 ou 12 ans.* » Quant à la porosité, critère essentiel pour la qualité des futurs bouchons : « *Le nombre de lenticelles ne va pas diminuer, mais leur diamètre peut-être, ce qui est plutôt positif pour la qualité du liège.* » La saison d'écorçage sera certainement aussi affectée. Déjà, lors d'étés particulièrement secs, le liège ne lève presque plus dès la mi-juillet, alors qu'habituellement la saison ne se termine qu'un mois plus tard : « *La récolte pourra être déca-*

lée, c'est à dire commencer plus tôt dans l'année, et finir également plus tôt, mais il faudra pour cela adapter la législation. »

Le changement climatique nous amène à aborder la question plus large de la prise en compte de la problématique environnementale dans le marché du bouchage. Pour Ramón Santiago, des signes forts sont en voie d'être donnés au niveau de la filière : *« La Confédération européenne du liège est en train de faire évoluer le Code international des pratiques bouchonnières dans le sens de demander aux industriels d'acheter une partie de leur matière première dans des zones bénéficiant de garanties de gestion durable, comme dans le cas des forêts certifiées par un organisme indépendant. »* La certification forestière est également pour Agostino Pintus la meilleure manière pour les propriétaires de mettre en valeur leur bonne gestion forestière, pas forcément par la valeur ajoutée qu'elle est susceptible d'apporter au produit liège, mais surtout parce qu'elle impose au gestionnaire une autre vision de la forêt, plus multifonctionnelle, plus globale : *« La certification forestière donne une philosophie différente pour voir la forêt, car elle implique notamment la préexistence d'un plan de gestion forestière. »* Le nombre d'entreprises disposant d'une chaîne de contrôle appropriée, tout comme les superficies de suberaies certifiées, ne cessent d'ailleurs de progresser.

Relancer Silva Mediterranea

Christophe Besacier travaille auprès de l'Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation – la FAO – à Rome. Il est venu à Vivès nous présenter Silva Mediterranea, une plate-forme d'échange visant à encourager les opportunités de coopérations entre les différents pays du pourtour méditerranéen : *« La FAO a en charge l'animation de la coopération régionale. [...] Un comité des forêts se réunit tous les 2 ans, et il y a un comité des forêts méditerranéennes – Silva Mediterranea – qui existe depuis 1948. Depuis 2009, il y a une volonté de relancer cette dynamique, de renforcer la coopération régionale, en particulier car il y a une urgence en région méditerranéenne à s'adapter au changement climatique. La région méditerranéenne sera un point chaud du changement climatique sur la planète. »* Regroupant des représentants de 26 pays, Silva Mediterranea se divise en 5 groupes de

travail, dont un consacré au chêne-liège qui est piloté par Maria Carolina Varela, assistée depuis peu par Ramón Santiago. Des délégués sont nommés par chacun des États concernés, dont Daniel Bourgouin pour la France. Outre Christophe Besacier, le secrétariat de Silva Mediterranea compte également dans ses rangs une connaissance du monde du liège en la personne de Nora Berrahmouni, qui avait participé à l'édition 2008 de Vivexpo alors qu'elle était chargée à l'époque du programme du WWF sur la sauvegarde des suberaies. De quoi assurer que le chêne-liège ne sera pas oublié par les instances officielles. Il fut d'ailleurs au centre d'une exposition sur la suberaie sarde, organisée en octobre 2010 à Rome, en marge du Comité des Forêts de la FAO.

Pour conclure, peut-on affirmer que la situation est préoccupante ? Certainement plus pour les pays du Maghreb, en première ligne en cas de réchauffement, que pour les pays de la rive Nord de la Méditerranée, qui disposent de zones de replis pour les suberaies. Le glissement des aires favorables au chêne-liège devra alors être accompagné par les subériculteurs, tant au niveau de la sylviculture pour maintenir les peuplements existants, que dans celui des nouvelles plantations, pour lesquelles le chêne-liège devra être envisagé sérieusement comme essence de reboisement dans des régions où il n'est aujourd'hui présent que de façon marginale. Ainsi, il verra certainement en France des zones favorables à sa culture s'ouvrir à lui. Certains prédisent bien que dans un siècle on fera du bordeaux dans le sud-ouest de l'Angleterre, alors pourquoi ne pas imaginer faire du liège dans le Médoc ! Mais plutôt que spéculer sur des scénarios qui restent somme toute très hypothétiques, il ne faut pas oublier qu'à l'heure actuelle, c'est bien plus la situation économique de la filière qui suscite des craintes à moyen terme. C'est d'ailleurs le message que voudra passer Maria Carolina Varela, à qui nous laissons le mot de la fin : *« La plasticité du chêne-liège nous donne beaucoup d'espoir ; c'est plutôt le dépérissement économique qui est le plus grave. »*

R.P.

Renaud PIAZZETTA
Institut Méditerranéen
du Liège
23, route du Liège
66490 Vivès
Tél. :
+33 (0)4 68 83 39 83
Fax :
+33 (0)4 68 83 40 83
Courriel : contact@
institutduliege.com

VIVEXPO 2010

International Symposium: « Cork oak and climate change »

by Renaud PIAZZETTA

The Vivexpo Symposium, held in June 2010, was devoted to "Cork Oak and Climate Change". Included in this special issue is an account of the proceedings that we feel throws a clear light on the preoccupations of cork oak producers faced with climate change. But we learn, too, that in the final analysis this is not the most worrying factor for them.

Last June 17 and 18, experts of the cork world gathered together at Vivès in France's Mediterranean Pyrenees (Pyrénées-Orientales) for the 10th biannual VIVEXPO symposium entitled "Cork oak and climate change". An occasion for representatives from the various cork-producing countries to exchange their experiences on this current issue whose impact is already making itself felt around the Mediterranean Rim. Cork oak stands are indeed in the front line.

Climate change, whatever the controversies about its origins, has become a recognised phenomenon generating numerous questions and very little certitude for forestry professionals. Because forests are by definition "static", they are witnesses (some would say prey) to the random hazards of climate about which they have no other choice than to make adjustments... if they can. As to the Mediterranean forester, he needs tools suited to his long-term perspective that will enable him to anticipate these changes as best he can, for example when choosing a species for replanting. Pathology, cork quality, cultivating cork stands, forest fires... these are just some of the topics considered during the two days of debate and exchange, both by specialists during Thursday's round-table discussions and with the general public attending the lecture on Friday morning.

What kind of forest are we moving towards?

Climate change is a worldwide phenomenon but varying in its impact depending on the region. What is the situation around the Mediterranean? Bernard Boutte, an engineer with the Forest Health

Service in Avignon, gave us an answer in his presentation, basing his remarks on the conclusion of the IPCC¹: “*It will be hotter in summer, with rainfall stable but concentrated in the winter and spring. Hotter in summer will mean greater evapotranspiration, lack of water and drought stress, particularly in our region.*” Backing up his remarks with meteorological data, he demonstrated that the area around Perpignan, in the heart of the Roussillon region, has displayed a lack of water over the last ten years in comparison to the previous three decades.

The effects of such changes on various forest species are already observable. Eric Rigolot, assistant director of the Avignon – based INRA (French national agricultural research institute) research unit on the ecology of Mediterranean forests, cited the case of the beech (*Fagus sylvatica*) which has moved 50 m higher up in the Montseny mountains of Spanish Catalonia. This upset has occurred over such a short lapse of time that it seems very unlikely that the vegetation will be able to adapt naturally.

Concerning the evolution of rainfall and temperature, Enrique Torres, a research scientist and teacher on the staff of the University of Huelva (Spain), pointed out that climate change can manifest itself through a change in averages but, also, by a change in variability (standard variations). In relation to cork oak, climate change may reveal itself through problems linked to relocalisation of the species due to the difficulty it has in spreading naturally via acorns: “*There will be a displacement of potential areas for planting cork oak towards the north and to higher altitudes.*” This statement has been confirmed by computer modelling carried out at the University of Estramadura

(Spain) by Angel María Felísimo and presented at Vivexpo by Ramón Santiago, engineer with the Renewable Natural Resources Service of the Spanish institute IPROCOR: “*Several scenarios are possible depending on the model used, the worst case forecasting the almost complete disappearance of areas favourable for cork oak in South-West Spain*”, a region where it is currently the major species, while in contrast “*new cork oak territory will emerge in the north of the country.*” Logically, therefore, if the cork oaks disappear from areas whose climate is the least favourable, the species may nevertheless spread northwards in the future. Yet this is not the case in North Africa, as shown by the modelling done by Gazi Gader, a Tunisian expert involved in a joint Tunisian-German project on climate change: “*There is no possibility for the evolution and extension of cork oak forests in Tunisia.*” In fact, if climate change goes on as now: “*There will be a drastic decline in areas in Tunisia offering favourable conditions for the cork oak, with an overall fragmentation of habitats.*” Even so, he emphasised that it is important to understand that “*a reduction in the areas providing favourable conditions*” does not necessarily mean that the cork oak is bound to disappear completely from such areas. In fact, though climate models in current use forecast changes in temperature and rainfall, they cannot take into account the capacity of forest ecosystems to adapt. Ramón Santiago also stressed that “*cork oak forests are very well adapted to heat, and even to enormous variations in temperature and periods of drought*” and, in contrast, can also resist cold very well, as in the region around Salamanca where “*every winter the cork oak has no trouble surviving temperatures that drop to as low as -12°C.*”

Another example came to us from Algeria, specifically from the Oran region where Rachid Tarik Bouhraoua, research scientist and teacher in the Department of Forestry of the University of Tlemcen, has carried out studies for the past 11 years, recording that the cork oak forest at Nesmoth near Mascara has been faced during this time with several years when rainfall was less than 400 mm and for the whole of 2000 was as little as 136 mm (!). Yet despite this, according to Bouhraoua: “*One can see a certain resistance or adaptation to the drought.*” Thus, in the event of an extremely hot or dry episode in the climate, trees may lose the totality of their leaves at the end of the summer then

Picture 1:

Jacques Arnaudès,
president of the
Mediterranean Cork
Oak Institute, gives the
opening speech at the
June 18 lecture
© IML



renew them completely in the following spring, even though he has noted that “*high spring temperatures can cause damage on young plantations in semi-arid areas.*” On the other hand, in the same region an increase in rainfall is not necessarily synonymous with an immediate improvement in plant health.

This remarkable flexibility, particularly in a tree whose bark is removed at regular intervals, is grounds for remaining optimistic about the future of cork oak forests which continue to be one of the main ramparts against desertification in many places around the Mediterranean Rim as well as forming a habitat of an exceptional diversity at our latitudes.

Contrasting, but not alarming, states of health

Climatic changes will have an effect on the physiology of trees but, also, on the whole range of animal life in cork oak stands, notably on pathogens. So, in the opinion of Mohamed Lahbib Ben Jamâa, a research scientist with the INGREF in Tunisia: “*Insects are good indicators of climate change because their life cycles are short.*” But more than the impact of the rise in average temperatures, it is the increase in climatic extremes that affects insects even more. Thus, in Tunisia, the gypsy moth (*Lymantria dispar*), which is the most common primary pest, experiences disturbance to its life cycle in extremely high temperatures above 45°C while, in contrast, earlier-maturing species have emerged, for example the green leaf-roll moth (*Tortrix viridana*) or the great winter moth (*Erranis defoliaria*). In France, Bernard Boutte pointed out as evidence of climate warming the constant progression northwards of the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*). As to deterioration, he rather tempered his position: “*Deterioration can be observed after every climatic crisis; whether it be the cork oak or other Mediterranean species, all are affected to different degrees but for the moment always in very localised areas.*”

The state of health of the cork oaks in the Var region (S.-E. France) has been closely monitored by Louis Amandier, engineer with the Provence-Alpes-Côte d’Azur CRPF (private forest owners association) who, after first being alarmed by abnormal mortality at

the end of the 1990s, eventually set up a monitoring network in 2003. The observations on the plots have enabled a clear connection to be established between the presence of *Platypus cylindrus* and the health of the trees even though, as he remarks: “*The deterioration [is] always due to multiple causes.*”

The biological effects of climate warming are in theory normally beneficial to plants. They generally include a longer growing period (though attendant risks are of early and late frost) along with a rise in forest productivity due to the increase in atmospheric CO₂. This was confirmed, though with a rider, by Agostino Pintus, director of the department of research on cork and silviculture of AGRIS Sardegna (Italy): through the effect of climate change, pathogens which up to now have been marginal could become dangerous. This is notably the case with *Phytophthora cinammomi* (a root rot fungus) or with *Biscogniauxia mediterranea* (responsible for Charcoal Canker). In the Mohamed Ben Jamaâ’s view, there could well be an evolution in the pathogenic nature of fungi associated with *Platypus cylindrus*. Though not to forget that forest tree species, even when close cousins, are not all equal when confronted with the same pathogen. Thus, Ramón Santiago indicated that “*the cork oak resists Phytophthora cinammomi seven times better than the holm oak.*”

In Rachid Tarik Bouhraoua’s view, the cork oak stands displaying the poorest state of health are those infested with conifers: “*The deterioration observed in Algeria is not due to climate change but rather to the encroachment of the Aleppo pine and to wild-fire. [...] Climate change has a very negligible impact.*”

More heat = more fires

Eric Rigolot has been working for several years at INRA-Avignon on forest fire. His work shows a rise in the index for the risk of wildfire over the last fifty or so years, linked to an increase in heat waves (as seen in 2003) along with a drop in the number of depressions and their related winds: “*We have seen temperatures already rising in France: 0.3°C per decade over the last 50 years.*” As a consequence, where in 2010 33% of French forests were at risk from wildfire, in 2060 58% will be in this situation.

Nevertheless, despite the overall increase in the threat from wildfire, in France the area burned out is decreasing. However, he adds: *"In other more highly exposed countries such as Spain or Greece, there is already a link between forest fires and climate change."* On the basis of this observation, it would be an illusion to think the public authorities will be able to invest in firefighting at the level required by the new areas involved: *"The wildfire season will get longer, while the means available will show signs of wear, and the fires will perhaps be more extensive. We have one of the best –performing fire prevention and firefighting systems in the world but which shows its limits in exceptional years such as 2003. We cannot unfailingly have more firemen, more trucks..."* We must therefore direct our efforts towards a type of silviculture that will enable the forests to become "self-protective" for, as Eric Rigolot reminded us: *"A forest that is exploited and maintained is protected."* And what is more, the presence of cork oak can be an advantage in forested areas adapted for fire prevention. As was remarked by Daniel Bourguin, head of the Forests Unit at the DDTM², the land use body of the government council of the Pyrénées-Orientales département: *"The cork oak constitutes one of the rare economically viable stakes to be found in forests in the Mediterranean region."* Well-designed intervention in areas given over to cork oaks can in fact combine several aims: protection against wildfire, production of cork, indeed silvopastoral grazing. But the cork oak's resistance to fire is at one and the same time both strength

and weakness because though the tree can survive a forest fire, it comes out weakened and deteriorating stands generate additional inflammable biomass.

In North Africa, the situation is considerably different on account of the sociological structure in this area, as outlined by Mohamed Ben Jamâa: *"There are few fires of any great size in Tunisia because the forests are densely populated and people can intervene very quickly; also, overgrazing prevents the development of inflammable undergrowth."* In other words, how overgrazing, damaging for soil conservation and natural self-seeding, becomes a positive element against forest fire. A difficult equation for a forester to resolve...

Changing the cultivation of cork oak stands

Let's return to Provence, in S.-E. France, where Louis Amandier does not beat about the bush: *"The cork oak stands in the Maures Mountains have been in a sad state since the 1950-60s as a result of the abandonment of cork harvesting and the related cork industry. [...] But the cork oak is a tree that really needs human intervention. [...] When a cork oak forest is abandoned, it goes downhill, it doesn't renew itself."* Inventories carried out above all when a typology was being established for the cork oak forests in the Var département show that the cork oaks in the Var display a demographic imbalance, with a lot of ageing trees and few young saplings with a future. There is thus an urgent necessity to undertake the work of renovation, so much more so in that there is a clear lack of genetic input due to the poor level of sexual reproduction and to the detriment of asexual reproduction via suckers and shoots. This has caused Maria Carolina Varela, a researcher at Portugal's National Institute for Biological Resources but also head of Silva Mediterranea's Cork Oak Work Group, to observe: *"We must study the genetic variability of the cork oak and genetically improve the quality of cork."* This desire met with the approval of the cork industry professionals attending the symposium, including Dominique Tournéix, president and managing director of Diam Bouchage (ex-Oeno Bouchage) who went so far as to say he was prepared to back initiatives in this direction.

Picture 2:

Round-table discussion
on Thursday June 17
at the Mediterranean
Cork Oak Institute
© IML



It is also necessary in forest management to take into account rainfall which, as Agostino Pintus so rightly said, is always the limiting factor for growth in Mediterranean regions: *"We must adopt silvicultural measures to regulate the water resource. [...] We must avoid the introduction of species requiring great quantities of water [...] and not carry out work that disturbs the soil or forest litter."* Maria Carolina Varela confirmed that the water requirement of the cork oak was very positive in comparison to that of other species such as the eucalyptus: *"Synergy exists between forest tree species and those of the undergrowth, and also with fungi, in their quest for nutrients and water."* She went further, saying: *"The management of water should be integrated into the funding systems of the European Union whereas at present European subsidies for livestock are aggravating the problems linked to overgrazing."* Rather than inventing new cultivation practices for cork oaks, it would appear more opportune to better employ the finances available at the European level insofar as, in the opinion of Gregorio Montero, research scientist in silviculture at Spain's National Agricultural Research Institute and president of the Spanish Association for Forestry Science: *"Forest management tools exist for adapting to climate change."* Which was confirmed by his compatriot Enrique Torres: *"Development for adapting to climate change involves diversifying the species involved, genetic diversification and diversification in the structure of stands."* Hence, in order to stand the best chance for the success of future plantations, it will be necessary to move towards using forest plant reproduction material of the highest quality, which entails sourcing seeds from selected quality stands.

Concerning carbon capture -an ecological argument in favour of silvicultural production- Agostino Pintus pointed out that the cork oak fixes relatively small amounts of carbon in comparison to other forest tree species: *"Around 1 tonne per hectare compared, for example, to 3 for the poplar."* On the other hand, it has a much longer life expectancy and will continue to fix carbon throughout its useful life which is nearly two centuries, as opposed to the few decades of faster-growing species whose water requirement is very much greater.

Toward better quality cork?

The quality of the cork is the major preoccupation of the professionals in the bottle cork industry. For even if the cork oak and its stands can put up with a climatic evolution towards even drier conditions, how will cork growth be affected? The phenomenon has been under observation in Western Algeria by Rachid Tarik Bouhraoua for some twelve years. He has observed that the cork coming from a given tree maintained the same porosity whatever its state of decline but the cork itself grew less quickly: *"A tree in decline loses 30% of its growth in thickness [...], one can thus observe a close relationship between the health of a stand and its productivity characterised by the cork's speed of growth."*

Hence, a decline in the quality of a plot or stand can impact on the thickness of its cork. Observations by Enrique Torres tend to the same conclusion which will certainly imply modifying the harvesting rotations in the regions involved: *"It will perhaps be necessary to lengthen the periods between harvesting from 9 to 11 or 12 years."* As to porosity, the essential criterion for the quality of future cork stoppers: *"The number of cells will not decrease but their diameter may, which is positive for the quality of the cork."* The season for harvesting will also no doubt be affected: already, in particularly dry summers the cork will hardly come off from mid-July whereas harvesting usually goes on until a month later: *"The harvest will be brought forward, beginning earlier in the year but also finishing earlier, though this will require adapting legislation."*

Climate change leads us on to the wider question of taking into account environmental issues in the cork market. In Ramón Santiago's view, strong signs are already perceptible in the cork and related industries: *"The European Cork Confederation is in the process of influencing the International Code of Cork-making Practices by asking manufacturers to buy some part of their raw material from areas benefiting from guarantees of sustainable development such as forests certified by an independent body."* Agostino Pintus also considers that forest certification is the best way for owners to get the most out of their good forest management, not necessarily from the added value such management may bring to the cork as a product but above all because it requires of the manager a different perspective on

forests, more multifunctional, more global: *"Forest certification induces a different outlook on forests because it implies notably a pre-existing forest management plan."* The number of companies with a suitable monitoring scheme as well as the certified surface area under cork oak are both constantly increasing.

Revitalising Silva Mediterranea

Christophe Besacier works for the United Nations Organisation for Food and Agriculture – FAO – in Rome. He came to Vivès to introduce us to Silva Mediterranea, a forum for exchange that aims to encourage opportunities for cooperation between the different countries around the Mediterranean Rim: *"The FAO is responsible for fostering regional cooperation. [...] A committee on forests meets every two years while a committee on Mediterranean forests -Silva Mediterranea - has been in existence since 1948. Since 2009, there has been greater will to revitalise the committee's dynamic, and especially to reinforce regional cooperation, because it has become urgent in the Mediterranean area to adapt to climate change. The Mediterranean Rim will be one of the world's hotspots for climate change."* Grouping representatives from 26 countries, Silva Mediterranea is divided into five work groups, one of which, devoted to the cork oak, is headed by Maria Carolina Varela who has recently been joined by Ramón Santiago as her assistant. Delegates are appointed by each country involved, Daniel Bourgouin is France's delegate. As well as Christophe Besacier, the Silva Mediterranea secretariat includes in its ranks a person well-known in the world of cork, Nora Berrahmouni, who

took part in the 2008 edition of Vivexpo at a time when she was in charge of the WWF's cork oak conservation programme. This is sure evidence that the cork oak will not be overlooked by official authorities. Indeed, the tree was at the centre of an exhibition on Sardinian cork oak forests organised in Rome in October 2010 in conjunction with the meeting of the FAO's Committee on Forests.

In conclusion, can we say that the situation is cause for worry? Certainly more so in North African countries where they will be the earliest affected by any warming, whereas areas around the northern Rim offer a place for the cork oak to fall back on. This trend towards more favourable zones must be fostered by cork oak farmers, both by cultivation practices for the upkeep of present stands and by planting in new areas where the cork oak, presently still only a marginal species, should henceforth be seriously considered as a valid species for reforestation. In France it will definitely find areas for future implantation. If there are people claiming that in a hundred years' time there will be bordeaux-type wine made in South-West England, why shouldn't there be cork oak in the Médoc! Yet rather than speculate on the basis of what can only be hypothetical scenarios, let's not forget that at the present time the real cause for concern is the economic situation threatening the cork oak and related industries with crisis in the medium term. This is indeed the message from Maria Carolina Varela whose words offer a good summing: *"The flexibility of the cork oak gives us reason to hope; it's the economic decline that is really serious."*

R.P.

Renaud PIAZZETTA
Institut Méditerranéen
du Liège
23, route du Liège
66490 Vivès
Tél. :
+33 (0)4 68 83 39 83
Fax :
+33 (0)4 68 83 40 83
Courriel : contact@
institutduliege.com