

sommaire

Numéro spécial "Changements climatiques et forêt méditerranéenne"

Denise AFXANTIDIS

Editorial
p. 100

Michel VAUZELLE

Discours d'ouverture
p. 101

Jacky GERARD

Discours
p. 103

Michel BARITEAU

Présentation générale des journées
p. 105

1 – Etat des connaissances : situation et perspectives

Valérie JACQ

Les modèles de prévision météorologique en région méditerranéenne
p. 107

Pascal ACOT

L'histoire du climat : de la découverte de l'effet de serre au réchauffement actuel
p. 113

Jacques BLONDEL

Les changements globaux
p. 119

Bernard SEGUIN

Impact du changement climatique sur les écosystèmes naturels et cultivés
p. 127

Serge RAMBAL

Vulnérabilité des arbres, des écosystèmes et des paysages méditerranéens
aux changements climatiques - *Résumé*
p. 137

Jacques-Louis de BEAULIEU et Valérie ANDRIEU-PONEL

Forêt méditerranéenne et changement climatique : le regard du passé
p. 139

Jean-Noël CANDAU

Impacts du changement climatique sur les insectes ravageurs
des forêts méditerranéennes
p. 145

Isabelle CHUINE

Quelles seront les conséquences des perturbations des cycles naturels ? - *Résumé*
p. 155

François LEFEVRE

Quels paysages pour demain ? - *Résumé*
p. 157

Frédéric MEDAIL

De nouvelles espèces vont-elles envahir le milieu méditerranéen ? - *Résumé*
p. 159

Bruno VILA et Michel VENNETIER

Les changements globaux ont-ils déjà induits des changements de croissance en forêt méditerranéenne ? Le cas du pin d'Alep et du pin sylvestre de la Sainte-Baume (Var) ?
p. 161

Eric RIGOLOT

Impact du changement climatique sur les feux de forêt
p. 167

2 - Conséquences des changements climatiques sur la gestion des peuplements forestiers et premières recommandations

Les effets du changement climatique sur la forêt méditerranéenne : les acteurs locaux témoignent

Patrick LE MEIGNEN et Lilian MICAS

Bilan des dépérissements forestiers dans les Alpes-de-Haute-Provence
p. 177

Joseph GARRIGUE, Jean-André MAGDALOU et Christophe HURSON

Les effets de la canicule et de la sécheresse sur la forêt de la Massane (Pyrénées-Orientales)
p. 183

Dominique MICAUX

Le dépérissement du sapin sur le plateau de Sault (Aude)
p. 189

Frédéric DENTAND

Dépérissements forestiers dans les Alpes-Maritimes
Actions déjà entreprises par les communes forestières et l'Office national des forêts
p. 195

Témoignages d'ailleurs : ce qui se passe dans les autres pays méditerranéens

Carlos GRACIA

Les conséquences du changement climatique sur les espaces forestiers en Espagne - *Résumé*
p. 201

Abdallah BENTOUATI
La situation du cèdre de l'Atlas en Algérie
p. 203

Maria-Carolina VARELA
Dépérissement des peuplements de chêne-liège et changement climatique
p. 209

**Quelle gestion forestière dans la perspective du changement climatique ?
observer, s'adapter, anticiper**

Bernard BOUTTE
Observer
p. 213

Myriam LEGAY et Jean LADIER
La gestion forestière face aux changements climatiques :
premières orientations d'adaptation en forêt publique
Le cas des forêts méditerranéennes
p. 221

Christian GAUBERVILLE
Forêts et changement climatique : les attentes des sylviculteurs privés
p. 235

François LEFEVRE et Eric COLLIN (CRGF)
Changement climatique, diversité génétique et adaptation des forêts
p. 243

Bruno FADY et Frédéric MEDAIL
Pour une gestion évolutive des forêts méditerranéennes
face aux changements climatiques
p. 247

Olivier CHANDIOUX
Synthèse sur les études relatives à la mortalité du pin sylvestre dans le Valais Suisse
p. 249

Synthèse et conclusion
p. 255

Liste des participants
p. 257

éditorial

Le temps incompressible du faire savoir

“Plus que jamais, il est nécessaire de communiquer ses connaissances...” Cette phrase nous l’avons souvent entendue et, au sein de forêt méditerranéenne, nous l’avons bien souvent utilisée.

Les changements climatiques en cours actuellement sont une source importante de questions et d’inquiétudes dans de nombreux domaines et, pour ce qui est de notre objet, pour les propriétaires et gestionnaires de forêt méditerranéenne.

C’est pourquoi au cours de l’année 2007, nous avons organisé deux journées de visites sur le terrain, dans les départements du Var et de l’Hérault, et deux journées de colloque à Marseille sur le thème “Changements climatiques et forêt méditerranéenne”, dont ce numéro rend compte.

Les deux journées de visite nous ont permis de prendre la mesure des conséquences déjà perceptibles sur le terrain et des moyens mis en œuvre par la recherche pour mener les expérimentations adéquates. Les deux journées de colloque ont fait le point sur les connaissances actuelles sur le sujet, sur les conséquences des changements climatiques sur la gestion des peuplements forestiers et ont permis d’émettre les premières recommandations.

Le succès de ces journées — près de 400 participants issus de différentes catégories professionnelles et d’origine géographique variée — montre à quel point le partage des connaissances est un besoin et une nécessité.

Or, si nous avons pu mobiliser au cours de ces journées, une trentaine d’intervenants (chercheurs, techniciens et ingénieurs), c’est qu’ils ont bien voulu accepter de nous consacrer un peu de leur temps, et nous les en remercions vivement une fois de plus.

Si leur savoir a profité aux 400 présents, il va également, à travers cet exemplaire de notre revue, profiter aux autres : lecteurs habituels ou occasionnels de notre revue ou encore “photocopilleurs” bien amicalement tolérés !

Cependant aujourd’hui, les contraintes (de temps, de budget, de résultats, administratives...) que chacun subit dans son travail quotidien, ont atteint une telle ampleur, qu’elles font passer de plus en plus souvent au second plan le temps nécessaire du faire savoir et de la transmission des connaissances acquises. Ainsi nous manque-t-il quelques “papiers” pour rendre compte de façon complète des excellentes contributions faites au cours des manifestations de 2007.

Or, s’il est un temps qui doit rester incompressible, c’est bien celui de la transmission des savoirs.

C’est pourquoi nous insisterons, encore, toujours, lourdement et amicalement, afin que vous transmettiez vos résultats et que vous publiiez dans notre revue.

Nous remercions chaleureusement les contributeurs à ce nouveau numéro de *Forêt Méditerranéenne* et nous vous invitons tous à participer à nos prochaines rencontres Foresterranée 2008, où nous nous pencherons, entre autres, sur la question du transfert des connaissances, de la recherche vers la gestion.

Denise AFXANTIDIS
Forêt Méditerranéenne

Discours d'ouverture de Michel Vauzelle

Président de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

“Mesdames, Messieurs,

Avec près de 1 400 000 ha, la forêt couvre plus de 40% du territoire régional. A des fonctions écologiques, pour la préservation de la biodiversité, le maintien des sols, la régulation hydrologique, s'ajoutent des fonctions économiques et sociales tout aussi fondamentales : source d'énergie, source d'activité économique avec plusieurs milliers d'emplois dans la filière bois, la forêt est devenue un espace de loisir apprécié de nos concitoyens et les paysages qu'elle offre sont un atout certain pour l'activité touristique.

La forêt régionale, ou peut-être devrait-on dire les forêts régionales, sont ainsi un élément fondamental de l'aménagement du territoire.

Ces quelques rappels témoignent du rôle fondamental de la forêt dans l'aménagement du territoire, et de l'attention dont doivent faire l'objet nos espaces forestiers. Depuis de nombreuses années, la Région s'est engagée pour la préservation, la valorisation et l'aménagement de nos forêts, dans un partenariat que nous avons souhaité exemplaire avec l'ensemble des acteurs concernés : propriétaires publics ou privés, gestionnaires, organismes de recherche, professionnels de la filière bois, associations, usagers.

C'est dans cet esprit de partage de la connaissance et de solidarité que nous avons noué une relation toute particulière avec l'association Forêt Méditerranéenne, dont je suis honoré qu'elle ait choisi l'Hôtel de Région pour y tenir ce colloque sur les changements climatiques et la forêt méditerranéenne.

Depuis sa création, en 1978, l'association que vous présidez, œuvre pour « faciliter les échanges d'information entre les personnes concernées par les forêts méditerranéennes ». A ce titre, vous avez organisé de très nombreuses journées à thème, séminaires, colloques et surtout les « Etats généraux de la forêt méditerranéenne » qui ont rassemblé, au cours de l'année 2005, plus de 300 personnes et ont conduit à un constat, partagé par tous, de la situation de la forêt de Provence-Alpes-Côte d'Azur.



Photos 1 et 2 :

La salle de l'Hémicycle de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur a accueilli plus de 300 participants lors du colloque "Changements climatiques et forêt méditerranéenne".
Photos DA

Conscients que les spécificités de la forêt méditerranéenne dépassaient largement les frontières régionale et nationale, vous n'avez pas hésité à élargir votre réflexion à l'échelle du bassin méditerranéen, en créant l'Association Internationale Forêts Méditerranéennes présidée par Mohamed Larbi Chakroun et à qui je vous serais reconnaissant de bien vouloir transmettre mes amitiés.

Comme dans le domaine de l'eau, où la Région a obtenu que les spécificités méditerranéennes soient reconnues dans la Directive Cadre européenne, l'espace méditerranéen apparaît comme un espace particulier où les problématiques sont souvent



plus accentuées qu'ailleurs. La question du réchauffement climatique en est une illustration parfaite. Ce sujet de l'impact du changement climatique sur l'évolution de la forêt méditerranéenne et les feux de forêt a fait l'objet de communications lors du forum de l'OCR Incendi, organisé par la Région, chef de file du programme, les 4 et 5 octobre derniers : « La forêt méditerranéenne du XXI^e siècle : un défi écologique, économique et social ». Il y a quelques jours, Lucien Chabason, Président du Plan Bleu, le Programme des Nations-Unies pour la Méditerranée nous rappelait ici-même, à l'Hôtel de Région, comment le réchauffement climatique, associé à un accroissement démographique toujours important, allait exercer une pression terrible sur nos ressources naturelles en Méditerranée.

Les visites de terrain vous ont permis de constater de visu les premiers effets concrets du réchauffement climatique sur nos forêts. Migration vers le nord et en altitude de certaines essences méditerranéennes, multiplication des maladies des plantes, impact sur le dépérissement des arbres, fragilité accrue des essences, les premiers signes des effets du réchauffement climatique se font à présent sentir. Par ailleurs, les forêts peuvent jouer un rôle actif de puits de carbone dans la lutte contre le réchauffement climatique. Ces journées de synthèse doivent nous permettre de tracer les premières perspectives d'évolution tendancielle, mais aussi et surtout nous éclairer sur les actions à mettre en œuvre pour, à la fois, nous adapter aux effets du réchauffement climatique, mais aussi contribuer à la réduction des gaz à effet de serre, en tenant compte de cette spécificité méditerranéenne trop souvent ignorée dans un pays trop centralisé qui a tendance à traiter la forêt provençale comme la forêt des Vosges.

La Région, qui n'a, bien heureusement, pas attendu le Grenelle de l'Environnement pour s'engager dans des politiques offensives en faveur de la préservation des ressources naturelles ou de la lutte contre le réchauffement climatique est attentive aux conclusions qui pourront émerger de ces rencontres pour adapter ses politiques publiques dans cet esprit de démocratie participative qui nous est cher.

Je vous remercie."

M.V.

Discours de Jacky Gérard

Vice-président du Conseil général
des Bouches-du-Rhône
Président de l'Entente interdépartementale

“Mesdames et Messieurs,

Je suis très heureux d'être ici aujourd'hui car, avec l'association Forêt Méditerranéenne, nous avons des rapports de travail très étroits depuis de nombreuses années, aussi bien dans le cadre de ma délégation au Conseil général des Bouches-du-Rhône, qu'au titre de l'Entente interdépartementale en vue de la protection de la forêt méditerranéenne, dont j'ai l'honneur d'assurer la présidence.

Nous travaillons aussi très étroitement, cher Michel Vauzelle, avec le Conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, aussi bien sur le département dans des financements complémentaires, qu'avec l'Entente interdépartementale où je l'espère nous retrouverons bientôt la Région PACA à nos côtés, ainsi que les autres régions, puisque nous élargissons cet établissement vers les SDIS, mais aussi vers les Conseils régionaux.

Nous nous préoccupons depuis pas mal de temps de ces problèmes climatiques. J'ai participé personnellement à plusieurs groupes de travail, notamment il y a quelques années, à un groupe de travail interdisciplinaire du Sénat. Il y a eu une prise de conscience qui a peut-être été lente à venir, mais qui aujourd'hui me paraît collective et intéressante. Mais je crois, qu'au delà de la prise de conscience, il faut qu'aujourd'hui nous passions à des actions concrètes, parce qu'il y a danger. Il y a danger, parce que tous les efforts que nous faisons depuis

des années, que ce soit au travers des collectivités et du monde associatif, que ce soit avec tous nos partenaires publics ou privés, avec qui nous avons effectivement mis en œuvre un certain nombre d'actions de préservation de la forêt méditerranéenne, risquent d'être mis à mal. Ces dernières décennies, la forêt méditerranéenne a progressé du fait de l'évolution naturelle. Cette augmentation de surface risque d'être enrayée par la sécheresse. Aujourd'hui, nous percevons les premiers effets des changements climatiques, mais ces effets risquent d'être plus perceptibles à moyen terme et, le Président Bariteau l'a dit, le retard dans les précipitations va sûrement provoquer dans quelques années un changement très net de notre forêt méditerranéenne, au niveau des essences et de nos paysages. Je crois que c'est un phénomène irréversible dont il faut se préoccuper, parce que tous les efforts qui sont mis à mal par ce changement, peuvent décourager les meilleures volontés.

Au niveau du Conseil général, au travers de nos propriétés départementales qui sont importantes, notamment les massifs forestiers, nous essayons d'œuvrer. Nous travaillons aussi sur les questions d'hydraulique. Il est important, en effet, d'arriver à compenser sur certains secteurs et, notamment sur les interfaces, le manque d'eau.

Je crois que tout cela contribuera à améliorer la situation, mais nous avons aussi une réflexion collective à mener et, je le dis toujours en matière de préservation de la forêt méditerranéenne, il faut que nous travaillions tous en partenariat, car seuls nous ne pouvons rien faire.

L'intérêt de ce colloque est de mobiliser tous les acteurs et de voir quelles solutions nous pouvons mettre en œuvre rapidement. Je vous remercie en tout cas de cette initiative, à laquelle nous adhérons totalement."

J.G.

Discours d'introduction du Colloque

par Michel BARITEAU

“M. le Président, Mesdames et Messieurs les élus, chère(s) ami(e)s de Forêt Méditerranéenne,

Je tiens à débiter cette brève introduction en remerciant tous ceux qui ont permis la tenue de ce séminaire, non seulement les amis et les bénévoles de l'association, mais aussi ceux qui soutiennent financièrement nos activités. J'en profite pour saluer très chaleureusement M. Michel Vauzelle, Président de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, dont le soutien indéfectible nous permet, année après année, d'apporter nos contributions à la désormais fameuse DFCD, Défense des Forêts Contre l'Indifférence. Je tiens également à remercier les autres soutiens de cette manifestation :

- la Région Languedoc-Roussillon ;
- les Conseils généraux des Bouches-du-Rhône et du Var ;
- le WWF ;
- le ministère de l'Agriculture – DRAF du Languedoc-Roussillon ;
- le ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables.

Visiblement, mettre le changement climatique à l'ordre du jour de nos travaux de cette année était une bonne idée. En témoignent les participations aux deux premières journées de terrain des 25 septembre dans le Var (plus de 100 personnes) et du 9 octobre dans l'Hérault (plus de 60 personnes), ainsi que l'audience qui peut être constatée aujourd'hui. Pourtant les manifestations autour du changement climatique ne manquent pas. Alors que vient dire notre association de plus dans ce concert ? Nous sommes partis de l'idée que, non seulement le climat allait changer très profondément à l'horizon de ce siècle, mais aussi qu'il avait déjà évolué et que l'impact s'en fait déjà sentir sur nos écosystèmes, aussi bien en Provence, en Languedoc-Roussillon, en Corse ou encore dans la partie méditerranéenne de Rhône-Alpes. Ainsi, depuis 2003, la Provence et l'arrière-pays souffrent d'un déficit pluviométrique chronique avec des périodes de sécheresse estivale qui se rallongent. C'est environ une année de pluie qui manque depuis 5 ans ! Nous avons pu en constater les conséquences lors de nos tournées de terrain. Mais certains me diront : « j'ai déjà vu ça étant plus jeune » ou « mon grand-père m'a parlé de telle ou telle année où les arbres dépérissaient pour les mêmes raisons ». Nous faisons l'hypothèse, avec l'appui des données scientifiques, que nous sommes entrés dans une nouvelle époque où les aléas climatiques ne seront plus l'exception, mais la règle. Nous verrons ce matin avec les chercheurs spécialistes des différents domaines, comment les modèles peu-

vent prédire la tendance générale, ainsi que les impacts probables sur nos sociétés et sur nos agro-écosystèmes.

Ce que l'association apporte dans ce paysage très préoccupant, c'est un lieu de débat où le devenir de notre forêt méditerranéenne est pris en compte, non seulement au travers des acquis de la Science, mais aussi par la préoccupation des acteurs de terrain, gestionnaires, propriétaires, élus, chasseurs, touristes, éleveurs... bref, l'ensemble du public qui fréquente notre association et qui, dans l'idéal, est une représentation de celui qui fréquente et gère nos forêts. Nous voulons également alerter l'opinion sur le fait que le changement est déjà à l'œuvre et qu'il convient de l'observer et de l'anticiper de façon à pouvoir aider les écosystèmes à s'adapter. Il faudra agir chaque fois que cela est possible, pour accompagner le changement dans un sens qui conviendra à notre société.

Alors vous allez me dire : vous êtes bien fataliste ! N'y a-t-il pas d'autres voies que celle des actions palliatives ou d'accompagnement ? On ne peut pas aborder ce sujet sans ouvrir plus largement le débat sur notre modèle de société et les causes anthropiques du changement climatique, désormais attestées par le groupe d'experts du GIEC. Nous pourrions passer deux jours, et ils ne seraient même pas suffisants, à nous disputer gentiment sur les effets plus ou moins avérés de nos modes de consommation, sur la nécessité d'en changer, sur les possibilités de refixer le carbone relâché dans l'atmosphère par la combustion de carburants fossiles, de l'utilité de telle ou telle mesure, de l'arrogance de nos sociétés dites développées à l'égard de celles qui souhaitent le développement et à qui on oserait le refuser. La plupart de ces débats ont lieu partout sur la planète.

Marseille va être le lieu au cours de ces deux jours, où l'on concentrera la réflexion sur le devenir des forêts méditerranéennes, en région méditerranéenne. Pour autant, nous laisserons un large espace de discussion pour tous les sujets y compris ceux qui concernent le carbone, sa fixation, ou son utilisation durable dans le cadre des nouvelles bioénergies, au cours de la table ronde finale. J'espère que vous aurez à cœur dans les débats de respecter l'esprit de ce séminaire, dont l'objectif essentiel est de ne pas laisser les acteurs de la forêt méditerranéenne sans réponse ou tout au moins sans interlocuteur

lorsqu'ils se posent cette question bien concrète : que va-t-il advenir de ma forêt et que puis-je faire à mon niveau ? Il ne faut plus se contenter de penser globalement et agir localement, mais il faut s'autoriser aussi à penser localement ; c'est ce que revendique l'association avec enthousiasme depuis bientôt 30 ans !

Aujourd'hui, nous ferons le point sur l'état des connaissances avec la participation de scientifiques qui font référence dans le domaine. Certains font partie du GIEC et sont donc, à ce titre, lauréats du prix Nobel de la Paix 2007, conjointement à Al Gore.

Ces exposés seront poursuivis par une table ronde qui permettra d'approfondir dix questions visant spécifiquement nos forêts méditerranéennes. Dix scientifiques viendront répondre brièvement, ce qui permettra d'introduire une large discussion avec la salle.

En soirée, vous pourrez assister, grâce à l'ADEME et au GERES, et si vous le souhaitez, à la projection du film d'Al Gore « *Une vérité qui dérange* », suivie d'un débat.

Demain, nous aborderons les conséquences du changement climatique sur la gestion des peuplements forestiers et nous émettrons tous ensemble des recommandations.

Nous débiterons par la projection d'un reportage sur les deux journées de visite qui ont préparé ce séminaire. Puis nous entendrons les témoignages d'acteurs locaux, gestionnaires de forêts et de réserves naturelles. Enfin, des collègues venus d'autres pays méditerranéens viendront nous dire ce qui s'observe actuellement en Espagne, en Algérie, au Maroc et au Portugal, et comment cette problématique du changement climatique impacte la gestion forestière dans leur pays.

Pour terminer la manifestation, nous essaierons de voir ensemble comment observer et anticiper de façon à ne pas subir le changement, mais à s'y adapter, le limiter, l'observer, bref comment « faire avec », du mieux possible puisque de toute façon, même en étant convaincus qu'il faut tout faire pour stopper son évolution, il est déjà en marche.

Souhaitons que nous puissions aller en fin de séminaire vers des recommandations constructives et, surtout, que celles-ci seront relayées et mises en œuvre par les acteurs et les décideurs de la forêt méditerranéenne."

M.B.

Michel BARITEAU
Président de Forêt
Méditerranéenne
14 rue Louis Astouin
13002 Marseille
Tél. : 04 91 56 06 91
Fax : 04 91 91 93 97
Mél : contact@foret-mediterraneenne.org

Les modèles de prévision climatique en région méditerranéenne

par Valérie JACQ

Depuis les derniers rapports du GIEC, le réchauffement climatique de la planète est sans équivoque. Mais que prévoient les modèles de prévision climatique pour la région méditerranéenne ?

Valérie Jacq nous expose ici les prévisions dont on dispose pour notre région, mais aussi le travail actuel de Météo-France sur la régionalisation des modèles climatiques de prévision, notamment pour la Méditerranée.

Créé par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) en 1988, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, IPCC en anglais) a publié en 1990, 1995 et 2001, trois rapports :

- 1990 : constat d'un réchauffement global ;
- 1995 : ce réchauffement pourrait être imputé aux activités humaines (utilisation des énergies fossiles, aménagement du territoire...);
- 2001 : la majeure partie du réchauffement des 50 dernières années est clairement due à l'Homme et devrait s'inscrire dans la durée, avec une fourchette de températures de 1,4°C à 5,8°C selon les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre.

En 2007, le GIEC publie son quatrième rapport, construit sur la base de ses rapports précédents et enrichi des nouveaux résultats de six années de recherche.

Le GIEC comporte trois groupes qui ont publié séparément leurs rapports.

Le groupe 1 fait le point sur l'état de la recherche scientifique en matière de système et d'évolution climatique. Le groupe 2 traite des impacts des changements climatiques et des possibilités de s'y adapter. Le groupe 3 examine les moyens de réduction des gaz à effet de serre et d'atténuation du changement climatique en général.

Fig. 1 (ci-contre) :
Modification
de température,
de niveau de la mer et de
couverture neigeuse.
Source : GIEC, 2007

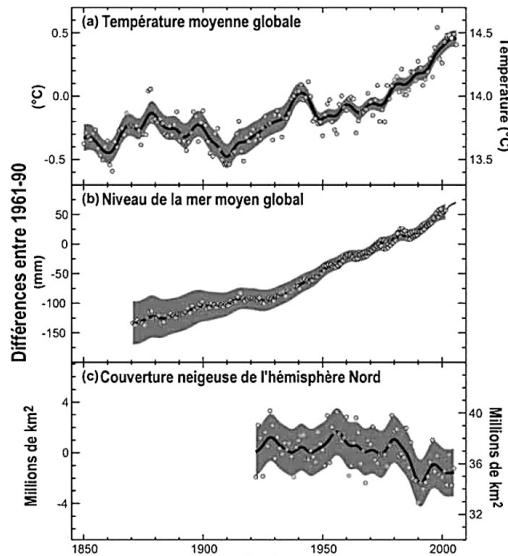
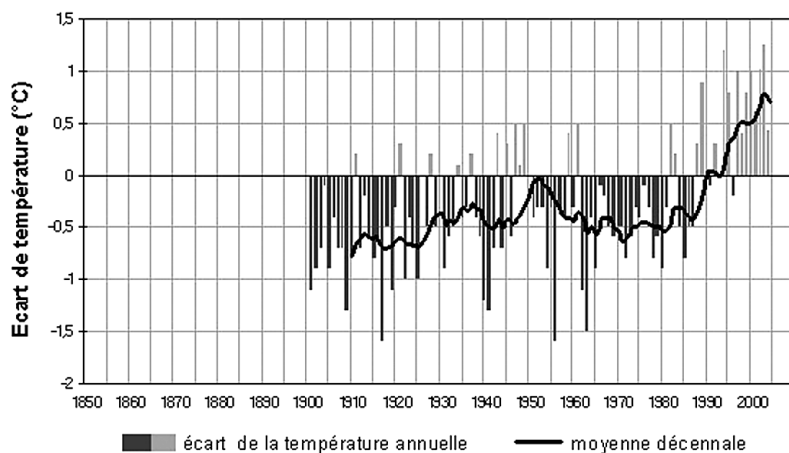
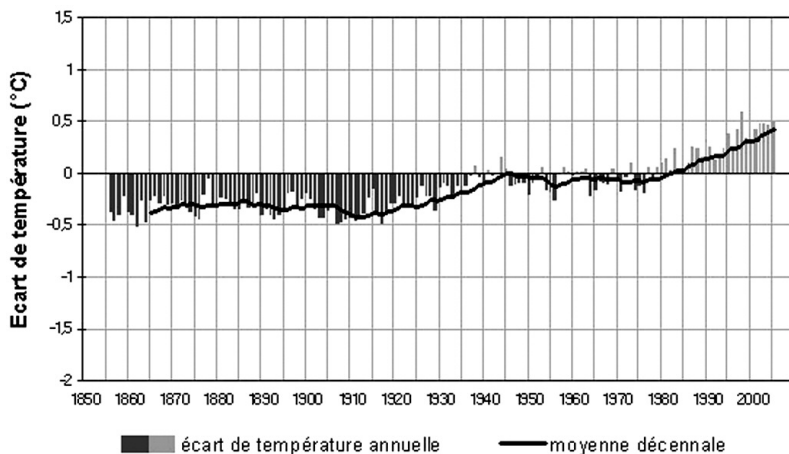


Fig. 2a (ci-dessous) :
Evolution
des températures
moyennes mondiales
de 1856 à 2005
Source Climate Research
Unit (CRU)

Fig. 2b (en bas) :
Evolution
des températures
moyennes en France
métropolitaine
depuis 1901
Source Météo-France



Les résumés des trois rapports, ainsi que le rapport de synthèse, publié à Valence le 16 novembre 2007, sont accessibles sur le site de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique :
ONERC, rubrique GIEC :
<http://www.ecologie.gouv.fr/-ONERC-.html>

Les principaux apports des travaux du groupe 1 sont :

- une compréhension scientifique des causes humaines et naturelles des changements climatiques actuels et futurs ;
- une amélioration dans la compréhension des processus et dans leur simulation par des modèles ;
- une exploitation plus complète des fourchettes d'incertitude.

Les résultats publiés par le GIEC en 2007

Pour la première fois, dans les rapports des trois groupes, les degrés d'incertitude sont exprimés dans les mêmes termes (Cf. Tableau ci-dessous).

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque (Cf. Fig. 1), car il est maintenant évident dans :

- les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan. La courbe du haut montre l'évolution de la température moyenne à la surface de la Terre depuis le

Vraisemblance

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| - pratiquement certain | > 99% de probabilité |
| - extrêmement probable | > 95% |
| - très probable | > 90% |
| - probable | > 66% |
| - plus probable que non | > 50% |
| - très peu probable | < 10% |
| - extrêmement peu probable | < 5% |

Confiance

- | | |
|-------------------------|---|
| - très grande confiance | au moins 9 chances sur 10 d'être exacte |
| - grande confiance | 8 chances sur 10 |
| - confiance moyenne | 5 chances sur 10 |
| - faible confiance | 2 chances sur 10 |
| - très faible confiance | moins d'une chance sur 10 |

début des mesures instrumentales. Au cours du XX^e siècle, la température moyenne du globe a augmenté de plus de 0,7 °C. Depuis 1975, le réchauffement est très net et s'accélère. Les températures moyennes de l'hémisphère Nord au cours des 50 dernières années sont vraisemblablement les plus élevées depuis au moins 1300 ans ;

- l'élévation du niveau moyen mondial de la mer (l'élévation moyenne totale du niveau de la mer au XX^e siècle (1961-2003) est comprise entre 12 et 22 cm) ;

- la fonte généralisée de la neige et de la glace.

Au XX^e siècle, la terre s'est réchauffée en moyenne de 0,74 (0,56 à 0,92)°C (Cf. Fig. 2a).

En France métropolitaine, ce réchauffement est voisin de 1°C (Cf. Fig. 2b).

Grâce à un travail de saisies de données anciennes entrepris depuis plusieurs années à Météo-France, de nombreuses séries climatiques de 100, voire 150 ans, sont à présent disponibles.

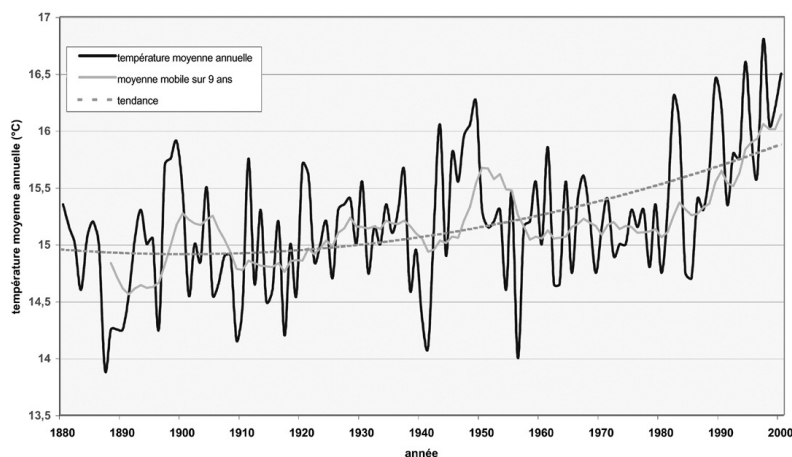
Ces séries subissent des traitements statistiques afin de les rendre homogènes. Elles permettent de quantifier le réchauffement climatique sur notre territoire.

Sur la figure 3 est représentée l'évolution des températures moyennes annuelles sur la ville de Marseille depuis la fin du XIX^e siècle.

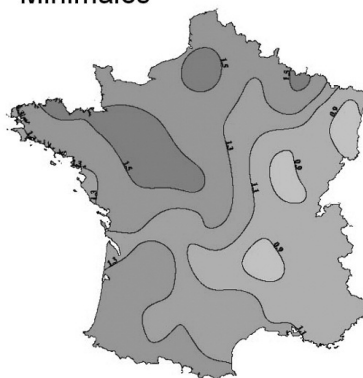
Ce réchauffement n'est pas uniforme spatialement.

De plus, il est plus marqué sur les minimales que sur les maximales (Cf. Fig. 4).

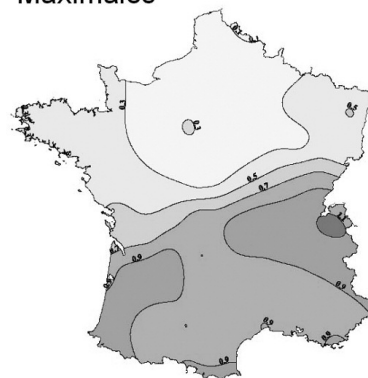
En ce qui concerne les phénomènes extrêmes (tempêtes ou pluies diluviennes), il n'a pas été constaté d'augmentation significative au cours du XX^e siècle en France métropolitaine (Cf. Fig. 5).



Minimales



Maximales



De haut en bas :

Fig. 3 :

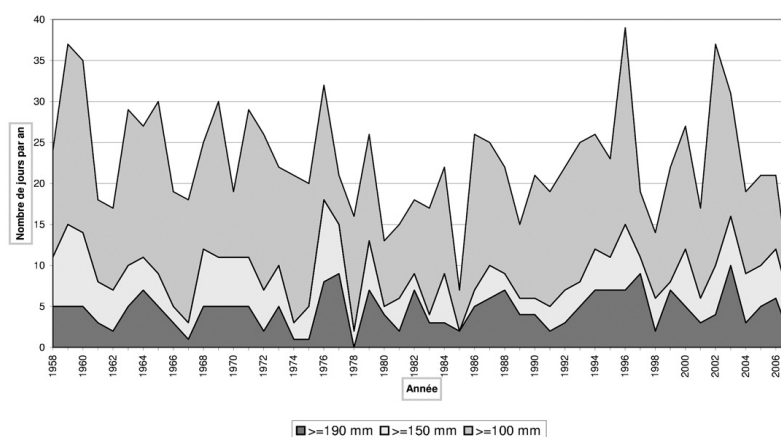
Evolution de la température moyenne annuelle à Marseille depuis 1880

Fig. 4 :

Tendance des températures maximales et minimales, 1901 - 2000, en °C par siècle

Fig. 5 :

Evolution du nombre annuel de jours de pluies ≥ 100 , 150 ou 190 mm sur les régions méditerranéennes de la France de 1958 à 2007



Source Météo-France

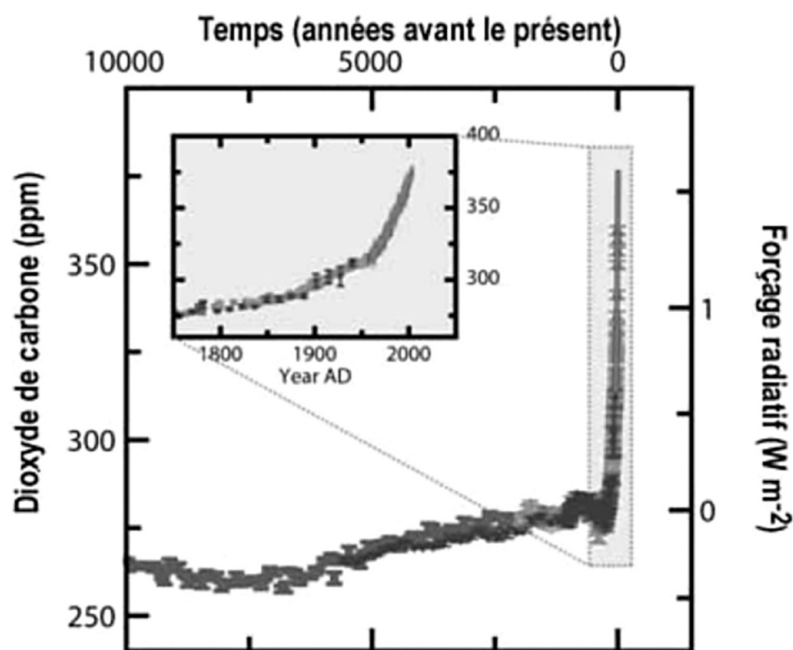


Fig. 6 :
Evolution des concentrations de CO₂ depuis 100 000 ans
Source GIEC

L'essentiel de ce réchauffement est très vraisemblablement (probabilité > 90 %) dû à l'augmentation des gaz à effet de serre anthropiques.

La concentration du CO₂ dans l'atmosphère est à son plus haut niveau depuis 650 000 ans. Elle atteignait 379 parties par millions en 2005 contre 280 ppm environ à l'ère préindustrielle (Cf. Fig. 6).

Modélisation du climat

Comment les scientifiques affirment que l'effet de serre additionnel est la cause du réchauffement récent du climat ?

Pour connaître les effets des gaz à effet de serre, les scientifiques simulent le comportement du système terrestre à l'aide de modèles climatiques fonctionnant sur d'énormes calculateurs. C'est en effet le seul moyen dont ils disposent pour comprendre et reproduire la complexité du système terrestre et les multiples interactions entre ses composantes : l'atmosphère, l'océan, les glaces, les sols et la végétation.

Les modèles climatiques les plus complexes ont une résolution spatiale (la maille du modèle) variant de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres.

Les modèles décrivant l'évolution du climat sur plus d'un siècle sont couplés à des modèles décrivant l'évolution de l'océan, de la banquise...

La modélisation du système climatique et de son évolution au cours du XX^e siècle en réponse aux modifications des sources de variabilité climatique, est utilisée pour déterminer l'origine des évolutions climatiques récentes...

Certes, il existe des facteurs naturels susceptibles de faire varier la température à la surface de la Terre : la variabilité intrinsèque du climat, les variations du rayonnement solaire arrivant sur la Terre, les variations orbitales terrestres, les cycles solaires, l'activité volcanique... mais elles ne suffisent pas à expliquer le réchauffement observé (Cf. Fig. 7, à gauche).

Le seul facteur capable d'expliquer l'amplitude et les caractéristiques de ce réchauffement est l'émission de gaz à effet de serre (Cf. Fig. 7, à droite).

Simulations avec forçages naturels

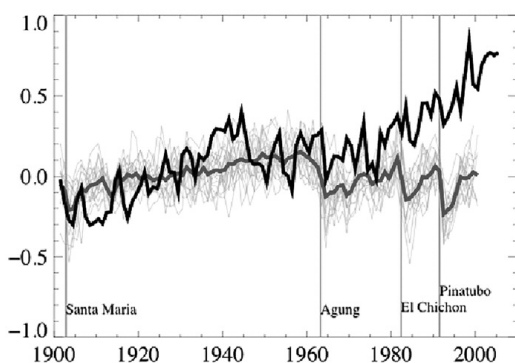
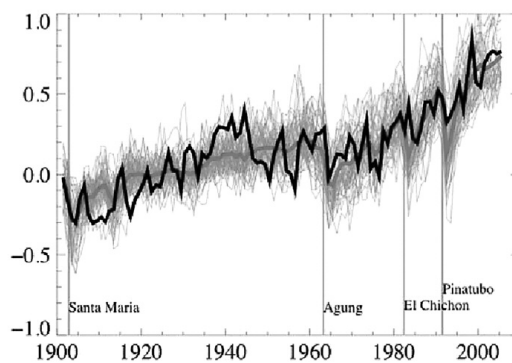


Fig. 7 :
Variation de la température moyenne globale en surface simulées et observées au XX^e siècle
Source GIEC, 2007

Simulations avec forçages naturels et anthropiques



Evolutions prévues pour 2100

Les estimations les plus probables du réchauffement au XXI^e siècle sont comprises entre 1,8° et 4°C pour les différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre pris en compte dans les modèles, et probablement comprises entre 1,1° à 6,4°C en tenant compte des incertitudes de la simulation du climat.

Les projections du réchauffement ne sont pas uniformes sur l'ensemble du globe : il est plus marqué sur l'hémisphère Nord. Au niveau des précipitations, les projections peuvent être différentes d'un modèle à l'autre en ce qui concerne les régimes de mousson. En revanche, en ce qui concerne l'augmentation des précipitations au nord, et leur diminution autour du bassin méditerranéen, ils concordent.

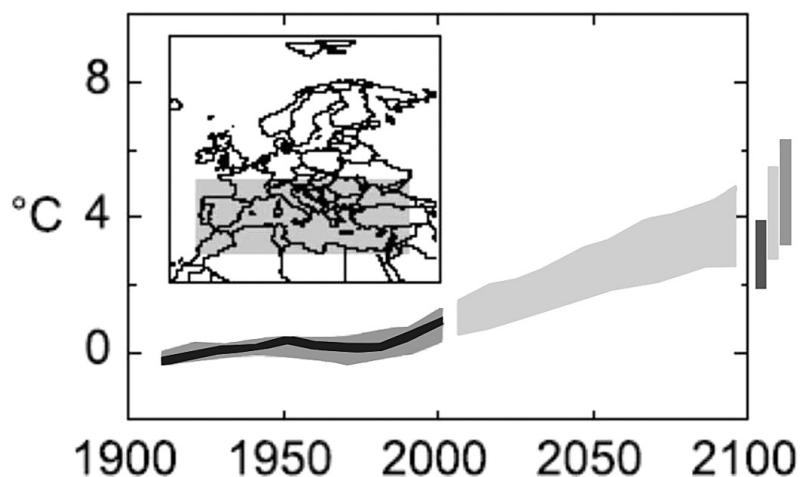
Régionalisation de l'étude du climat et projections sur le bassin méditerranéen

Le but de la régionalisation du climat est d'étudier des phénomènes régionaux (quelques dizaines de km) non accessibles aux modèles de climat globaux classiques, de résolution spatiale trop basse (de l'ordre de 200 à 300 km) et de les étudier à différentes échelles temporelles climatiques (intra-saisonnier, variabilité interannuelle, tendance...). La régionalisation climatique nécessite donc en même temps de longues simulations (plusieurs dizaines d'années) et de la haute résolution spatiale (de l'ordre de 50 à 20 km).

Actuellement, les simulations disponibles pour la France métropolitaine sont issues du modèle « Arpège Climat étiré », dont la maille, de taille variable, est de l'ordre d'une cinquantaine de kilomètres sur notre pays.

Des modélisations sont en cours pour utiliser le modèle ALADIN-Climat, de résolution plus fine (20 km), sur la zone méditerranéenne, ce modèle étant « emboîté » dans le précédent, c'est-à-dire utilisant ses résultats en limite de zone.

Le bassin méditerranéen est un bon objet d'étude pour la régionalisation climatique. En effet, il est entouré de nombreux reliefs aux formes complexes qui canalisent des vents régionaux (mistral, tramontane...). Il



possède également de nombreuses îles de relativement petite taille qui font obstacle au flux en basse couche et son trait de côte est particulièrement complexe (présence de presqu'îles telles que l'Italie et la Grèce). Ces caractéristiques géographiques nécessitent une modélisation numérique à haute résolution. En Méditerranée, ce qui est vrai pour l'atmosphère est également vrai pour la mer (trait de côte complexe, îles, détroits peu profonds). Afin d'être correctement représentée, celle-ci nécessite des modèles océaniques à une résolution de l'ordre de 10 km.

Le bassin méditerranéen est une région où les résultats entre les modèles globaux du GIEC sont en accord, à savoir :

- une augmentation forte de la température annuelle moyenne, le réchauffement étant maximal en été et plus fort sur les températures maximales. Il devrait être sensible rapidement au cours du XXI^e siècle ;
- une diminution des précipitations moyennes sur l'année, plus forte en été (visible au milieu du XXI^e siècle) et du nombre de jours de pluie .

Ceci entraînera un risque de sécheresse plus important (assèchement des sols), une diminution de la période enneigée et des débits des fleuves méditerranéens.

Météo-France travaille actuellement sur la régionalisation de ses modèles climatiques de prévision, notamment en Méditerranée, afin de quantifier dans l'espace et le temps, les diverses projections du changement climatique, les principales préoccupations étant l'évolution des températures, de la ressource en eau et des phénomènes extrêmes.

V.J.

Fig. 8 :
Anomalies de température par rapport à la période 1901-1950 pour la zone Méditerranéenne

■ observations
■ simulations GIEC
■ projections A1B.
Barres d'incertitude :
période 2091-2100
■ scénario B1
■ scénario A1B
■ scénario A2
Source GIEC

Valérie JACQ
Responsable
du service
de climatologie
Direction
Interrégionale Sud-
Est - Météo-France
2 Boulevard du
Château-Double
13098 Aix-en-
Provence cedex 02
Mél : vale-
rie.jacq@meteo.fr

Résumé

D'après le quatrième rapport du GIEC, le réchauffement du système climatique planétaire est sans équivoque : observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan ; fonte généralisée de la neige et de la glace ; élévation du niveau moyen mondial de la mer.

L'essentiel de ce réchauffement est dû (probabilité > 90 %) à l'augmentation des gaz à effet de serre anthropiques. Les estimations les plus probables du réchauffement au XXI^e siècle sont comprises entre 1,8° et 4°C.

Au XX^e siècle, la terre s'est réchauffée en moyenne de 0,74 (0,56 à 0,92)°C. En France métropolitaine, ce réchauffement, non uniforme, est voisin de 1°C.

A l'échelle du bassin méditerranéen, les 23 modèles climatiques mis en œuvre par le GIEC concordent sur les prévisions suivantes : augmentation forte de la température annuelle moyenne ; réchauffement maximal en été et plus fort pour les températures maximales ; réchauffement sensible rapidement ; diminution des précipitations moyennes sur l'année et plus forte en été ; diminution du nombre de jours de pluie ; risque de sécheresse plus important ; diminutions de la période enneigée et des débits des fleuves méditerranéens ; diminution du nombre de dépressions et des vents forts associés.

Météo-France travaille actuellement sur la régionalisation de ses modèles climatiques de prévision, notamment en Méditerranée, afin de quantifier dans l'espace et le temps, les diverses projections du changement climatique, les principales préoccupations étant l'évolution des températures, de la ressource en eau et des phénomènes extrêmes.

Summary

Models for predicting climate around the Mediterranean Rim

According to the fourth report of the IGSC (GIEC), there can be no doubting that our planet's climatic system is getting warmer: observations have registered an increase worldwide in the mean temperatures of the atmosphere and the oceans ; generalised melting of snow and ice ; a rise in the average sea-level worldwide.

The main part of this warming is due (probability >90%) to the increase in greenhouse gases coming from human activity. The most likely estimates of warming during the 21st century range from 1.8°C to 4°C. In the 20th century, the Earth's temperature went up by an average 0.74°C (0.56-9.92°C). In mainland France, this non-uniform increase was around 1°C.

For the areas around the Mediterranean Rim, the 23 climate models generated by the IGSC (GIEC) agree about the following forecasts : a big rise in the mean annual temperature ; maximum warming in summer and even more so for the maximum temperatures ; an appreciable rise early on ; a drop in levels of rainfall, both for the year-round average and especially in summer ; a drop in the number of rainy days ; higher likelihood of drought ; shortened periods under snow and a drop in flow rates of Mediterranean rivers ; a drop in the number of depressions and the strong winds accompanying them. Météo-France is presently working to regionalise its models for climate forecasting, especially for the Mediterranean, in order to quantify in space and time the various projections for climate change, most notably the evolution in temperatures, the water resource and extreme phenomena.

Histoire du climat

De la découverte de l'effet de serre au réchauffement actuel

par Pascal ACOT

De la découverte de l'effet de serre au réchauffement actuel, Pascal Acot, historien, nous éclaire sur la perception du changement climatique par le public, plus particulièrement pour les régions méditerranéennes. Les aspects socio-économiques de la question sont abordés sous l'angle, entre autres, de ce que l'auteur appelle la "climatologie politique".

Alors que l'une des grandes peurs du commencement du XXI^e siècle est le réchauffement du climat, c'est un refroidissement général que craignaient les scientifiques et une partie du public au XIX^e siècle. Ils considéraient que les étoiles évoluaient vers leur mort thermique et qu'une température uniforme très basse devrait à long terme s'imposer dans le cosmos tout entier, ce qui rendrait toute vie impossible, y compris sur notre planète. Cela inquiétait les scientifiques. On connaissait l'effet de serre depuis les travaux d'Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) qui fut le premier, semble-t-il, à établir une analogie entre une serre vitrée et l'atmosphère du globe. C'est toutefois le physicien et alpiniste irlandais John Tyndall (1820-1893) qui installa la première problématique véritable de l'effet de serre en assignant à la vapeur d'eau une importance majeure, et un rôle important au gaz carbonique. Tyndall s'appuyait sur les travaux du chimiste suédois Svante August Arrhenius (1859-1927), prix Nobel de chimie en 1903. On doit à Arrhenius d'avoir donné dès 1896, une place essentielle à l'effet de serre dans l'explication des grands changements climatiques. Il calcula que si le gaz carbonique disparaissait complètement de l'atmosphère terrestre, la température moyenne baisserait de 21° C. Arrhenius avait également évalué l'importance des activités humaines en matière de rejets de gaz carbonique, par la combustion du charbon, en particulier. Et avec un optimisme que nous jugeons aujourd'hui désarmant du haut de notre savoir, il considérait que ces activités retarderaient les glaciations à venir, puisqu'elles renforçaient l'effet de serre !

Aujourd'hui, les choses ont bien changé et l'espèce humaine doit faire face à une situation inédite. Jusqu'alors, on tendait à expliquer les sociétés par les circonstances climatiques, aujourd'hui ce sont vraisemblablement les sociétés humaines qui expliquent, au moins en partie, le climat. Et nous avons de bonnes raisons de penser que les pays du pourtour méditerranéen — donc la forêt méditerranéenne — pourraient être durement touchés par le réchauffement annoncé, puisque la région est déjà marquée par le stress hydrique. Cependant, il subsiste beaucoup d'incertitudes et de controverses en cette matière. Au plan scientifique d'abord, parce que l'idée de réchauffement climatique mondial pose beaucoup de problèmes. Et aussi parce que ce que j'appelle la « climatologie politique » n'a rien d'innocent et c'est le moins qu'on puisse dire. Pour tenter d'y voir

clair, j'évoquerai dans une première partie l'une des spécificités majeures du pourtour méditerranéen : le stress hydrique. Puis je rappellerai brièvement les conclusions du dernier rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) en date. Ensuite, j'aborderai quelques aspects socio-économiques de la question. Avant de conclure sur des perspectives, hélas ! assez sombres.

Le stress hydrique des pays du pourtour méditerranéen

Certains passages du *Critias* de Platon, contiennent des développements troublants par leur apparente modernité « écologiste ». Platon a vraisemblablement observé l'œuvre de l'érosion par les eaux, ainsi que le commencement du processus de dégradation des sols dans les petites îles de la mer Egée. Il en infère un excellent état du sol athénien il y a neuf mille ans : « [...] ce qui reste à présent, comparé à ce qui existait alors, ressemble à un corps décharné par la maladie. Tout ce qu'il y avait de terre grasse et molle s'est écoulé et il ne reste plus que la carcasse nue du pays ». Il établit aussi un lien entre la couverture forestière et agricole et la retenue des eaux pluviales. Ainsi, après avoir évoqué des montagnes où l'on coupait « [...] des arbres propres à couvrir les plus vastes constructions [...] », ainsi que des sols qui produisaient du fourrage à l'infini pour le bétail, il rappelle qu'il « [...] recueillait aussi les pluies annuelles de Zeus et ne perdait pas comme aujourd'hui l'eau qui s'écoule de la terre dénudée dans la mer [...] ». Cependant, il n'attribue jamais ces dégradations à leur cause principale, qui est le défrichement et peut-être aussi le surpâturage, mais à des cataclysmes (tremblements de terre et pluies). Ainsi, ses observations « écologiques » reflètent, au mieux, l'inquiétude que devait ressentir tout athénien du IV^e siècle devant la rapidité de l'érosion pluviale dans la région : l'économie des Cités grecques de l'époque classique était d'abord fondée sur l'agriculture, source principale de richesse ; ensuite seulement venait le commerce.

Je ne développe pas sur la détérioration climatique qui a accompagné le déclin de l'Empire Romain d'Occident (du I^{er} au IV^e

Fig. 1 :

« Surprise par le froid, la dernière famille humaine a été touchée du doigt de la mort, et bientôt ses ossements seront ensevelis sous le suaire des glaces éternelles. »
Camille Flammarion
(1842-1925)
Astronomie populaire
1889



siècle), ni sur l'optimum chaud du haut Moyen-Age (entre le X^e et le XIV^e siècle), ni sur ce qu'on a appelé le « petit âge glaciaire » (entre 1550 et 1850).

Le réchauffement actuel survient dans un contexte lourd. L'eau pose des problèmes sur l'ensemble du pourtour méditerranéen, soit par sa rareté (environ 500 mm d'eau/an), soit à cause de l'évaporation due à la forte chaleur des vents des déserts (*khamsin*, *simoun*, *sirocco*), soit en raison de la violence des pluies malgré leur caractère relativement peu fréquent. Les eaux reçues sur les reliefs sont souvent mal retenues par la végétation et tendent à ruisseler plutôt qu'à apporter de l'humidité aux agrosystèmes. D'où l'importance du couvert forestier... Bon an mal an, la quantité d'eau sur les pays du pourtour méditerranéen demeure constante. En revanche l'accroissement démographique et le développement industriel et agricole s'accompagnent d'une constante augmentation de la demande. Au Maghreb et au Proche-Orient, la situation devient très tendue : moins de 2000 m³ sont disponibles par habitant et par an, usages industriels et agricoles compris. Je reviendrai sur les aspects politiques de cette question, mais il convient de garder présent à l'esprit qu'on ne peut pas comprendre grand-chose au réchauffement climatique, si on néglige la dimension sociale du problème.

Le quatrième rapport du GIEC

Le quatrième rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), présenté à Paris le 2 février 2007 nous apprend que l'augmentation de la température moyenne de la Terre aurait atteint 0,6° C depuis 1861, avec une incertitude de plus ou moins 0,2° C, et que le XX^e siècle aurait « probablement » connu le réchauffement le plus important depuis un millénaire. Qu'il est « très probable » (à 90%), mais non « quasiment certain » (99%), que ce réchauffement est dû pour partie aux activités humaines par rejets de gaz à effet de serre. Pourquoi « pour partie » ? Parce qu'il existe aussi des facteurs astronomiques du changement climatique. C'est le mathématicien Serbe Milutin Milankovitch (1879-1958) qui a élaboré la théorie des facteurs astronomiques des glaciations entre 1911 et 1957. L'idée centrale est que les paramètres orbi-

taux de la Terre sont perturbés de manière cyclique par les autres corps célestes du système solaire, la Lune et Jupiter essentiellement. Cela fait à la fois varier les distances moyennes de la Terre au Soleil, ainsi que les angles sous lesquels la Terre reçoit le rayonnement solaire. La résultante de ces perturbations est une glaciation tous les 100 000 ans environ.

Le GIEC prévoit d'ici à 2100, un réchauffement compris entre 1,8 et 4° Celsius — ce sont les « valeurs les plus probables » (en 2001, ce sont les valeurs de 1,5 et 5,8° C qui étaient annoncées). Mais le GIEC n'exclut pas totalement des valeurs situées entre 1,1 et 6,4° C, même s'il privilégie la valeur centrale de 3° C. Les écarts entre les valeurs hautes et basses sont liés à des incertitudes relatives aux mesures qui seront prises, ou non, dans les pays les plus polluants en matière climatique. Le niveau des mers s'élèvera de 18 à 59 centimètres d'ici la fin du siècle. Mais les experts n'excluent pas 10 cm de plus si la fonte récente des glaces polaires se poursuit. Total : 69 cm dans l'hypothèse la plus pessimiste (En 2001, cette valeur était de 89 cm). En outre, le GIEC annonce que le réchauffement et la hausse du niveau des mers vont se poursuivre inexorablement pendant plusieurs siècles, en raison des immenses inerties biosphériques, même si nous stabilisons aujourd'hui les taux de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. De la même manière, la hausse du niveau des mers devrait se poursuivre pendant au moins mille ans.

Çà et là, des voix nuancent les conclusions du GIEC. Elles proviennent notamment de partisans de « l'effet parasol » (cette expression est due à l'astrophysicien-climatologue Robert Kandel) : si les températures augmentent, les nébulosités augmenteront également par évaporation accrue, et feront écran à la pénétration des rayons caloriques du Soleil dans les couches les plus basses de l'atmosphère. C'est cet effet parasol qui expliquerait en partie que certains glaciers engraisent aujourd'hui, alors que nous sommes dans une phase de réchauffement. Autre critique, qui provient souvent des géographes : l'idée de « climat mondial » est un non-sens. Il n'y a que des climats locaux ou régionaux ; or, les experts — relayés par la Presse et les politiques — accréditent l'idée d'un changement mondial du climat.

Mais l'opinion qui domine chez les scientifiques est qu'il convient d'appliquer très vite le principe de précaution. Si l'on attend que tous les experts soient formels, il sera certainement trop tard pour agir. Or il y a urgence. Dans le cas de la forêt méditerranéenne, la vitesse du réchauffement et les barrières naturelles qui empêcheront les végétations de remonter vers le nord, ou qui rendront ces migrations difficiles, pourraient bien avoir des effets catastrophiques en matière de perte de biodiversité. Or, si les conséquences biologiques potentielles du réchauffement sont très inquiétantes (je ne m'étends pas sur ce point), c'est au moins aussi grave pour ce qui concerne les effets socio-économiques du changement climatique.

Aspects socio-économiques du changement climatique

Les conséquences socio-économiques potentielle du changement climatique sont nombreuses. Elles ont notamment été évoquées dans deux documents, l'un publié en octobre 2006, sous le nom de « Rapport Stern » ; l'autre, jamais publié, en provenance de l'Union européenne.

Le rapport Stern, du nom d'un ancien économiste de la Banque mondiale, indique que si nous ne faisons rien contre le réchauffement climatique, l'économie des pays indus-

trialisés, donc l'économie mondiale s'effondrera. Nicholas Stern prévoit un effondrement de 20% de la production économique et la multiplication de conflits de survie meurtriers. Ce rapport indique aussi, et c'est l'idée centrale dont il est porteur, que la lutte contre les émissions de GES pourrait coûter l'équivalent de 1% des richesses produites dans le monde, mais que si l'on ne fait rien, les catastrophes économiques, sociales, politiques, pourraient coûter 20 fois plus (5500 milliards de dollars). A noter que ce rapport esquivait la question cruciale des inerties biosphériques.

Le 6 janvier 2007, le *Financial Times* a publié les extraits d'un rapport de l'Union européenne. La diffusion de ce rapport a été différée, vraisemblablement, pour ne pas perturber la diffusion du quatrième rapport du GIEC. Cette fois, les prévisions sont apocalyptiques pour l'Europe. Avec deux scénarios (l'un à 2.2° C, l'autre à 3° C de réchauffement moyen), entre 11 000 et 27 000 morts surnuméraires seraient à déplorer chaque année à cause de la chaleur, tandis qu'entre 4,4 et 5,9 milliards d'euros devraient être dépensés à cause de la hausse du niveau des mers, qui pourrait atteindre 1 mètre. La mer Baltique deviendrait la « nouvelle riviera », tandis que les destinations touristiques classiques du pourtour méditerranéen seraient désertées. Au plan agricole, les récoltes augmenteraient de 70 % dans le Nord, mais diminueraient de 80% dans le Sud. L'étude conclue que ramener les émissions de GES 25% en dessous de ce qu'elles étaient en 1990 est un objectif réalisable.

Pourtant, dès mai 2004, Lorents Lorentsen, directeur de l'Environnement à l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) déclarait : « (...) il est déjà trop tard pour contrer certaines modifications du climat causées par les activités humaines. Autrement dit, les politiques visant à réduire les émissions de GES devront s'accompagner d'autres mesures pour nous aider à nous adapter aux effets du changement climatique » ! Il s'agit en particulier d'aider les pays les plus fragiles – les pays en voie de développement – et dans les pays avancés, les populations les plus fragiles, c'est-à-dire les plus pauvres. Le moins qu'on puisse dire est que nous n'en prenons pas le chemin.

Le premier point, essentiel, est que les ménages – en France – sont responsables

Photo 1 :

Le réseau ferré de la France
1930 : 62 000 kms
2007 : 32 000 kms



de 13 % seulement des émissions nationales de GES, et que les véhicules individuels le sont pour 14 %. Total : 27 % (Institut français de l'environnement). Tout le reste (73 %) est imputable aux activités agricoles, commerciales et industrielles (il convient de méditer au passage les effets extrêmement néfastes de la mondialisation et des délocalisations en matière de circulation des marchandises et des produits en cours d'élaboration : leur transport est un désastre en matière d'usage des combustibles fossiles). C'est dire qu'il convient de replacer dans des limites raisonnables l'efficacité d'éventuels changements de comportements individuels. D'autant que le problème est plus complexe qu'il n'y paraît : les changements de comportements ne dépendent pas que de la seule bonne volonté des individus. Un seul exemple : préférer les transports en commun à la voiture individuelle est rendu difficile, voire impossible dans de nombreux cas. Ainsi, le réseau ferré de la France est actuellement revenu à son kilométrage de 1875 ! Et les transports en commun autour des grandes villes, notamment, sont saturés, donc surchargés, inconfortables, sales et, dans certains cas, l'insécurité y règne. De la même manière, le recours à l'architecture Haute qualité environnementale (HQE) est encore réservé, en France, et sauf exception, aux plus favorisés.

Je voudrais donc attirer l'attention sur le fait que la situation, aujourd'hui, est gravissime, mais pas pour les raisons que croit le public. En premier lieu, la survie de l'espèce humaine n'est pas mise en cause directement par le réchauffement annoncé. Mais indirectement, l'avenir est très sombre si l'on songe aux dérèglements catastrophiques qui pourraient bien affecter les systèmes sociaux des pays les plus touchés. Sans parler des conflits de survivance et des mouvements migratoires désespérés qui pourraient s'ensuivre. En second lieu, il est dramatique, outre le réchauffement lui-même, que le public sente confusément que tout n'est pas net en climatologie politique, ce qui est démobilisant. Quelques exemples : on demande au public des efforts individuels tandis que les droits d'émission de GES sont négociés dans un système qui s'apparente aux bourses des valeurs. On demande aux individus de limiter le bilan-carbone de leurs transports, mais le trafic poids-lourds aura doublé entre 1990 et 2020. Par ailleurs, en matière de communication, les « rapports

aux décideurs » du GIEC, déjà bien peu nuancés (hormis le dernier en date), sont caricaturés par les médias, ou par de hauts responsables environnementalistes. Ainsi, le président du GIEC, Rajendra Pachauri, a déclaré il y a quelques semaines qu'il allait limiter sa consommation de viande rouge à cause du bilan carbone de l'élevage bovin... Les exagérations et les inexactitudes, chez Al Gore, par exemple, sont démobilisantes et c'est criminel. Par exemple, il n'est pas prévu, même par le GIEC, que le niveau des mers monte de 6 m suite à la fonte de l'inlandsis du Groenland.

Enfin, et surtout, il est urgent de nous préparer à nous passer de combustibles fossiles (en raison de la crise climatique et aussi parce que cette ressource n'est pas inépuisable). Mais qui est prêt à renoncer au tourisme utilisant des véhicules (voitures, avions) fonctionnant aux énergies fossiles ? Quel responsable politique est prêt à prôner la démondialisation de l'économie et la relocalisation des activités industrielles et agricoles ? Quel pays développe sa recherche publique sur les énergies alternatives, notamment l'énergie solaire ? Il s'agit pourtant d'urgences vitales pour les sociétés du monde entier.

Il semble évident, hélas ! que tout se passe comme si l'écologisme servait à légitimer des politiques d'austérité ou jouait le rôle de gadget électoral en dévoyant les aspirations sincères du public. Si cela était avéré et devait continuer, la question de la forêt méditerranéenne pourrait bien ne plus se poser dans un ou deux siècles.

P.A.

Pascal ACOT
CNRS
Institut d'histoire
et de philosophie
des sciences
et des techniques
13 rue du Four
75006 Paris
Mél :
acot@univ-paris1.fr

Photo 2 :

Les murs de cette maison sont en bois, l'isolation à base de liège et les peintures totalement naturelles et anticancérigènes, produites en Allemagne, où elles sont très répandues. Le chauffage et l'eau chaude proviennent de panneaux solaires, mais aussi d'un poêle à granulés de bois, car la maison est exposée aux vents, à près de 1000 m d'altitude près de Millau (110 m², 1100 euros/m², hors coût de la main d'œuvre).



Résumé

Alors que l'une des grandes peurs du commencement du XXI^e siècle est le réchauffement du climat, c'est un refroidissement général que craignaient les scientifiques et une partie du public au XIX^e siècle. Mais aujourd'hui, l'espèce humaine doit faire face à une situation inédite. On a longtemps expliqué les sociétés par les circonstances climatiques ; désormais ce sont vraisemblablement les sociétés humaines qui expliquent le climat, au moins en partie. Et nous avons de bonnes raisons de penser que les pays du pourtour méditerranéen — donc la forêt méditerranéenne — pourraient être durement touchés par le réchauffement annoncé, puisque la région est déjà marquée par la sécheresse. Cependant, il subsiste beaucoup d'incertitudes et de controverses en cette matière. Au plan scientifique d'abord parce que l'idée de « réchauffement climatique mondial » pose beaucoup de problèmes. Et aussi parce que ce que j'appelle la « climatologie politique » n'a rien d'innocent. Pour tenter d'y voir clair après un bref rappel historique, l'une des spécificités majeures du pourtour méditerranéen, le stress hydrique, est évoquée. Puis les conclusions du dernier rapport du GIEC en date sont brièvement rappelées. Enfin, les aspects socio-économiques de la question sont discutés. Les conclusions sont porteuses de perspectives assez sombres, vu la gadgétisation politicienne des questions environnementales dans les pays « avancés ».

Summary

The history of climate : from the discovery of the greenhouse effect to present-day warming

Though nowadays, at the beginning of the 21st century, one of our major fears is global warming, in the 19th century, scientists and a part of the general public were actually afraid of a generalised cooling down. Today, humankind is confronted with an unusual situation : for a long time, human societies were understood partly in terms of their climatic circumstances whereas today it would seem, at least in part, that it is human societies that determine the climate. And we have good reason to believe that, because the region is already stamped with the signs of drought, it is the countries of the Mediterranean Rim —home to Mediterranean woodlands— that are likely to be heavily affected by the predicted warming. However, a large number of imponderables and controversies still surround the issue. First of all scientifically, insofar as the idea of « global climatic warming » raises a number of questions. And, also, because what can be called « political climatology » carries a hidden agenda. In an attempt to see more clearly to the heart of the issue, some brief background remarks precede discussion of one of the Mediterranean Rim's major specific features, its chronic lack of water. Then, the conclusions of the IGSC (GIEC)'s latest report are succinctly gone over. Lastly, the socio-economic aspects of the issue are considered. The conclusions suggest a rather somber perspective, given that environmental issues appear to have acquired the status of political « gadgetry » in « developed » countries.

Riassunto

Storia del clima dalla scoperta dell'effetto serra al riscaldamento attuale

Mentre una delle grandi paure dell'inizio del secolo XXI^o è il riscaldamento del clima, invece è del raffreddamento generale che temevano gli scienziati e una parte del pubblico nel secolo XIX^o. Ma oggi, la specie umana deve far fronte a una situazione inedita. Da molto tempo le società sono state spiegate dalle circostanze climatiche ; ormai sono verosimilmente le società umane che spiegano il clima, almeno in parte. E abbiamo buone ragioni di pensare che i paesi del circuito mediterraneo — dunque la foresta mediterranea — potrebbero essere duramente toccati dal riscaldamento annunciato, dato che la regione è già segnata dalla siccità. Tuttavia rimangono molte incertezze e controversie su questa materia. Prima al piano scientifico perchè l'idea del "riscaldamento climatico mondiale" pone molti problemi. E anche perchè quel che chiamo "la climatologia politica" non ha niente di innocente. Per tentare di vederci chiaro dopo un breve richiamo storico, una delle specificità maggiori del circuito mediterraneo, lo stress idrico è evocato. Poi le conclusioni dell'ultimo rapporto in ordine del GIEC sono brevemente citate. Finalmente, gli aspetti socioeconomici della questione sono discussi. Le conclusioni sono portatrici di prospettive abbastanza scure, vista la gadgetizzazione politicante delle questioni ambientali nei paesi "progrediti".

Changements globaux

par Jacques BLONDEL

Le changement climatique n'est qu'une des composantes de ce qu'il est convenu d'appeler "changements globaux". Jacques Blondel replace ici le réchauffement planétaire dans son contexte global à travers quelques exemples. Ces derniers montrent à quel point les problèmes soulevés par l'analyse des réponses des organismes à ces changements sont complexes. La question majeure reste la compatibilité des réponses adaptatives avec la vitesse des changements observés.

La domination humaine des écosystèmes

Tous les organismes modifient plus ou moins profondément leur environnement et les humains ne dérogent pas à cette règle. Mais ce qui caractérise ces derniers par rapport à tous les autres êtres vivants, c'est que les effectifs de leurs populations, le cosmopolitisme de leur répartition et la puissance de leur technologie ont radicalement changé la nature et l'ampleur des modifications qu'ils imposent à leur environnement. C'est au point qu'aucun écosystème de la planète n'est totalement indemne d'influences humaines, même les plus extrêmes qui subissent les retombées de pollutions atmosphériques. On estime qu'entre un tiers et la moitié de la surface de la planète a été transformée d'une manière ou d'une autre par l'action humaine¹, que la concentration en CO₂ dans l'atmosphère a augmenté de 30%, passant de 280 ppm à 362 ppm depuis le début de la révolution industrielle, que la quantité d'azote atmosphérique fixée par les activités humaines est supérieure à celle de tous les autres êtres vivants et que plus de la moitié de l'eau douce accessible est utilisée par les humains, 70% de cette eau étant utilisée pour l'agriculture (VITOUSEK *et al.* 1997). Ces influences vont encore s'intensifier dans les prochaines décennies, car la dynamique démographique implique que, sauf accident majeur, la population mondiale devrait passer des quelques 6 milliards d'individus actuels à 9 milliards au milieu du XXI^e siècle, quelles que soient les échéances régionales de la transition démographique atten-

1 - Données obtenues par imagerie satellitaire à haute résolution.

due dans la plupart des pays, même ceux dont la natalité reste très soutenue. C'est en tout cas ce que prévoient les différents scénarios démographiques des Nations-Unies (*Millennium Ecosystem Assessment* 2005, [MEA]) même si une décroissance de la population humaine devient plausible à la fin du XXI^e siècle. Le but de cet article est de préciser les contours de ce qu'on appelle « changements globaux ». Après avoir été longtemps controversée, voire niée, la réalité de ces changements n'est plus discutable, même s'il est difficile de les identifier, de les quantifier et de mesurer leurs conséquences et même si bien des incertitudes demeurent quant à leurs trajectoires à court et à long terme.

Par définition désormais acceptée par la plupart des chercheurs, les changements globaux se distinguent de toute forme de transformation ou perturbation naturelle des écosystèmes par trois caractères : le premier est qu'il s'agit de modifications de grande ampleur qui affectent de manière « globale » l'environnement de la planète, notamment la biosphère et l'atmosphère. Le deuxième est que ces modifications sont d'origine anthropique et le troisième est que leur inertie est telle que l'inflexion de leurs trajectoires ne pourra se faire que sur des durées très longues, de l'ordre de plusieurs siècles à plusieurs millénaires. Leurs conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes est un sujet de préoccupation majeur pour les scientifiques chargés de les étudier, puis d'informer les acteurs qui devront ensuite prendre des décisions en matière d'information et d'action. Il ne s'agit pas ici d'énumérer la litanie des désastres que ces changements infligent ou risquent d'infliger à l'environnement ni de faire du catastrophisme, même si l'exposé qui suit n'a rien de particulièrement réjouissant. Il s'agit plutôt d'explorer comment l'humanité, telle qu'elle se compose et se comporte actuellement, exerce un impact tel que la structure et le fonctionnement des écosystèmes ne peuvent plus être compris et interprétés sans référence à son influence et comment l'anticipation des changements socio-économiques et politiques qui ne manqueront pas de survenir implique de repenser les fondements mêmes de notre culture.

La figure 1 synthétise les processus interactifs qui conduisent à l'altération² du système Terre. La population humaine, par ses

effectifs, sa répartition et sa puissance technologique, est la variable motrice principale des changements globaux. Ses besoins vitaux, que l'on peut exprimer à travers différents types d'indicateurs comme par exemple « l'empreinte écologique » telle qu'elle fut définie par WACKERNAGEL & REES (1995) puis largement utilisée par de nombreux organismes (par exemple le WWF) nécessitent de nombreux usages et pratiques tels que l'exploitation des ressources, l'agriculture, l'industrie, les activités récréatives et les échanges de marchandises et de personnes. Toutes ces pratiques n'ont cessé de croître en importance et en consommation d'espace et d'énergie. L'accroissement de la population humaine associée à la légitime aspiration à une élévation des niveaux de vie, en particulier dans les pays émergents et ceux qui sont en quête de développement, entraînent une hausse de tous ces besoins comme l'expriment les simulations sur l'évolution de l'empreinte écologique. C'est au point que les pressions exercées sur les écosystèmes de la planète ont d'ores et déjà dépassé leurs capacités de régénération. La situation devrait encore s'aggraver car dans la logique des tendances actuelles du développement, il faudra qu'en 2050 la production alimentaire soit doublée en Asie et en Amérique Latine et sans doute quintuplée en Afrique. Pour arriver à de telles performances, il faudra accroître les surfaces cultivées au détriment des forêts et des jachères, et augmenter considérablement les rendements. L'accroissement de la population conduit donc à accentuer les pressions exercées par l'agriculture sur les écosystèmes, sans parler d'autres besoins émergents tels ceux liés à la production d'agrocarburants. Si l'on projette cette évolution sur le long terme, plusieurs risques liés à l'intensification de l'agriculture paraissent difficilement supportables par la biosphère, en particulier l'extension des superficies cultivées et l'aggravation des conflits d'usage. L'agriculture, prise au sens large, constitue en effet un secteur d'activité multifonctionnel central quant à son impact sur le changement global. Entre 2000 et 2050, la planète comptera vraisemblablement 3 milliards d'habitants de plus et beaucoup devront vivre de l'agriculture. Ils seront en grande partie les héritiers des populations pauvres actuelles. Ainsi, sous-alimentation, pauvreté et agriculture sont-elles indissociablement liées.

2 - Le mot altération signifie « rendu autre » et ne comporte donc pas de jugement de valeur.

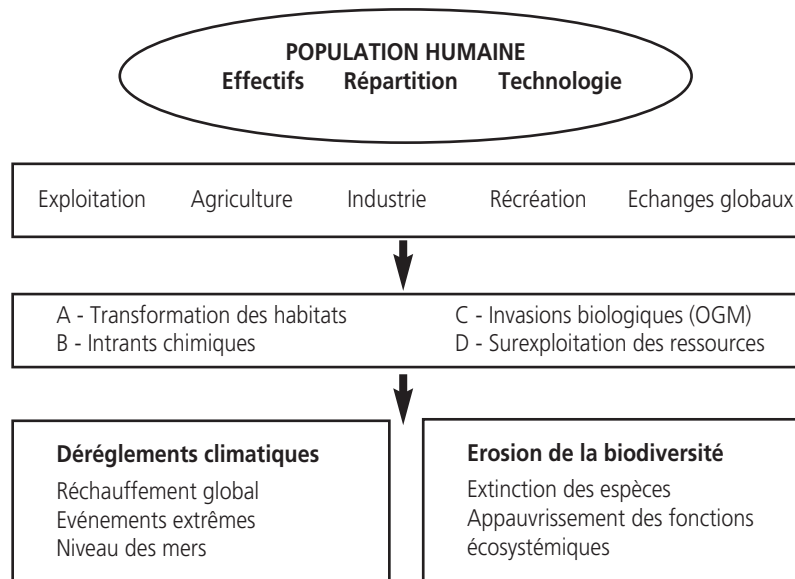
Les composantes des changements globaux

Les conséquences d'une emprise croissante de l'humanité sur la biosphère se déclinent en quatre rubriques majeures, désormais bien analysées, mais dont la description détaillée dépasserait le cadre de cet article (Cf. Fig. 1) :

1. La destruction et la transformation des espaces naturels par une multitude de facteurs, parmi lesquels la déforestation et la fragmentation des habitats, ont certainement les conséquences les plus lourdes. La destruction des forêts tropicales pluviales se fait actuellement au rythme moyen d'une quarantaine d'hectares à la minute (MEA).

2. La généralisation de l'utilisation des intrants chimiques, engrais et pesticides, utilisés en agriculture, mais aussi toutes sortes de molécules de synthèse fabriquées par l'Homme et utilisées dans de multiples domaines. Tous ces produits chimiques, dont certains comme les PCB se sont massivement accumulés dans les sédiments et les chaînes trophiques, produisent des charges de polluants et de produits eutrophisants qui affectent la plupart des écosystèmes dont ils altèrent les cycles biogéochimiques. L'industrie chimique produit chaque année plus de 100 000 tonnes de produits représentant quelque 70 000 composés, dont un millier est nouveau (VITOUSEK *et al.* 1997). L'augmentation des composés azotés dans les eaux continentales contribue à l'eutrophisation des rivières et des estuaires, causant de multiples nuisances, y compris la prolifération d'algues toxiques. Dans les régions de grande concentration urbaine et industrielle, comme c'est le cas dans la zone Marseille-Fos, des composés organiques et oxydes d'azote favorisent la production d'ozone, polluant photochimique dont les effets sur la végétation et la santé humaine risquent de devenir préoccupants.

3. Les invasions biologiques, de plus en plus considérées comme un facteur de destruction et de banalisation de la biodiversité, car elles cassent les barrières biogéographiques qui contiennent les espèces dans leurs enveloppes naturelles de distribution. Dans la catégorie des espèces envahissantes on peut inclure les Organismes génétiquement modifiés (OGM) puisque qu'un organisme transgénique est nécessairement une



« forme de vie » nouvelle artificiellement introduite dans l'écosystème.

4. La surexploitation des ressources naturelles dont on pourrait donner de multiples exemples, l'un des plus dramatiques étant certainement celui de l'excès des prélèvements de poissons dans l'ensemble des océans. « *The 'fishing down' effect is ubiquitous. It describes the systematic extirpation of marine megafauna* » explique M. Jackson (2001). On assiste par ailleurs à une diminution généralisée de la taille des grands poissons, tous les records de taille des grandes espèces comme les thons, espadons ou marlins étant antérieurs à 1950 (G. BŒUF com. pers.). La capture sélective des poissons prédateurs modifie la structure et le fonctionnement des communautés en raison des mécanismes complexes de relations prédateurs-proies au sein des écosystèmes.

A toutes ces modifications de l'état initial des systèmes naturels sont associées les activités industrielles que chaque type de société a développées pour réaliser sa propre culture. Ces activités sont consommatrices de quantités croissantes d'énergie dont on sait maintenant les effets sur le climat global de la planète et les mutations économiques, sociales et politiques que leur épuisement va nécessairement entraîner. Tous ces changements sont maintenant bien documentés ; ils entraînent des altérations profondes du fonctionnement du système Terre, à commencer par de sérieux dérèglements climatiques et une perte irréversible de la biodiversité.

Fig. 1 : Modèle illustrant les effets directs et indirects des activités humaines sur la planète Terre (modifié d'après Vitousek *et al.* 1997).

Changements globaux et dérèglements climatiques

Dans son quatrième rapport d'évaluation « *Climate change 2007* », le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) fait état pour le XXI^e siècle, d'une augmentation de la température de la planète située dans une fourchette de 1,4°C à 5,8°C en fonction des scénarii socio-politiques qui seront appliqués par les sociétés. A cette élévation des températures, d'ailleurs inégalement répartie sur la planète, sera associée une remontée du niveau de l'océan mondial de l'ordre de 30 à 60 cm. Lors de la période la plus froide de la dernière glaciation, il y a environ 20 000 ans, le niveau de la mer était en moyenne 120 m plus bas qu'aujourd'hui, ce qui permettait aux humains de ces époques d'habiter la grotte Cosquer au pied des Calanques. La fonte des glaciers continentaux et des calottes polaires a fait remonter le niveau de l'océan mondial pendant plusieurs millénaires pour le stabiliser à son niveau actuel ou subactuel entre 6 000 et 3 000 BP³. Des observations géologiques et archéologiques permettent d'affirmer que le niveau moyen de la mer a peu varié (moins de 0.1 mm par an globalement) jusqu'à une période récente, mais depuis le début des années 1990, les satellites altimétriques qui surveillent en permanence les variations du niveau de la mer montrent que ce dernier s'est élevé de près de 3 mm par an, valeur significativement supérieure à celle mesurée par les marégraphes au cours du XX^e siècle et 20 fois supérieure à celle des derniers siècles. Des prévisions de l'élévation du niveau des mers au cours des prochaines décennies pour différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et d'expansion démographique révèlent que quel que soit le scénario proposé par le GIEC, la hausse du niveau de la mer, d'environ 20 cm au cours du XX^e siècle, se poursuivra au cours des prochains siècles à une vitesse qui dépendra des réponses apportées par les humains au réchauffement climatique, mais qui sera en général supérieure à ce que nous connaissons aujourd'hui. Cette élévation est due à deux processus : la fonte des glaciers continentaux et des calottes polaires et la dilatation thermique des masses océaniques due à la chaleur accumulée dans l'océan, jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 1000 mètres. Le réchauffement de l'océan explique environ 25% de la hausse du

niveau de la mer des 50 dernières années (*Lettre du Changement global*, n°19). Au réchauffement du climat et à l'élévation du niveau des mers sont associées une multiplication et une aggravation des événements dits extrêmes, cyclones, inondations, sécheresses, incendies, canicules. La fréquence des anomalies annuelles de température a considérablement augmenté depuis le début des années 1990 et les experts du GIEC sont unanimes pour associer ces phénomènes au dérèglement climatique global (WALTHER *et al.* 2005).

Changements globaux et biodiversité

D'une manière générale, la transformation des espaces naturels pour les besoins des sociétés humaines est la force principale conduisant à l'érosion de la diversité biologique (VITOUSEK *et al.* 1997). On ne reviendra pas ici sur la définition du concept de biodiversité qui relève des sciences de la nature comme celle de l'Homme et de la société (Cf. BLONDEL 2005a). Malgré tous les efforts consentis par la communauté scientifique, notamment depuis la Conférence de Rio de 1992, pour en faire l'inventaire et comprendre ses fonctions, nous sommes encore bien loin de savoir ce qu'elle est et ce qu'elle fait dans les systèmes écologiques. La raison essentielle tient au fait que la biodiversité qui se voit et se laisse décrire, en particulier celle qui touche le grand public parce qu'elle concerne les grandes et belles espèces qu'on dit « patrimoniales », n'est que la partie émergée de l'iceberg, la biodiversité réellement fonctionnelle, celle qui fait tourner les écosystèmes étant essentiellement invisible et largement inconnue. Par ailleurs, plus que les espèces ou les populations en elles-mêmes, ce qui importe surtout, ce sont les interactions entre elles et l'ensemble des processus qui assurent les échanges de matière et d'énergie au sein des systèmes écologiques. La variabilité génétique des populations, gage de leur adaptabilité au changement, est aussi une composante essentielle de la biodiversité.

Nous savons maintenant que l'extinction des espèces et des populations se fait à un rythme accéléré, au point que de nombreux chercheurs estiment que près de 50% des espèces de la planète pourraient avoir dis-

3 - BP = Before Present

paru autour du milieu du XXI^e siècle (VITOUSEK *et al.* 1997, SALA *et al.* 2000), avant même d'avoir été découvertes et décrites. Le déclin des populations est généralisé bien que variable selon les groupes. Il est particulièrement sévère chez les amphibiens, les vertébrés des milieux aquatiques, marin et d'eau douce, ainsi que chez les oiseaux insulaires (BALMFORD *et al.* 2003). Le paléontologiste STEADMAN (1995) estime que plus de 2000 espèces d'oiseaux, soit près du quart de l'avifaune mondiale, ont été exterminées par les humains dans les archipels de l'Océan Pacifique lors de la conquête de ce dernier par les Polynésiens, il y a plus de 3000 ans. Le déclin de la biodiversité dû à l'Homme ne date donc pas d'aujourd'hui. On estime à partir des archives fossiles que le taux naturel d'extinction des espèces est de l'ordre d'une espèce sur mille et par millénaire, mais ce taux a été multiplié par mille au cours de la période historique et on s'accorde à prévoir qu'il sera plus de dix fois plus sévère dans un proche futur (MEA 2005). L'incertitude qui entoure les conséquences de cette érosion de la diversité biologique et la gravité des problèmes qu'elle soulève justifie que l'acquisition des connaissances en ce domaine soit faite avec le plus grand soin et le maximum d'objectivité. C'est ce but que s'est assigné le *Millenium Ecosystem Assessment* pour établir un « état des lieux » de la biodiversité à l'échelle mondiale. La qualité du document est garantie par le système d'acquisition des données qui repose sur des outils efficaces de contrôle et de recoupement des données par des chercheurs indépendants. L'aspect le plus préoccupant de cette érosion est certainement la perte de diversité génétique, donc la diminution de l'aptitude des organismes à s'adapter aux changements en cours et à venir, ainsi que l'émergence de nouveaux « possibles évolutifs » (BLONDEL 2005b).

Les dérèglements climatiques ont de multiples effets sur les organismes : ils modifient les aires de distribution des espèces en les obligeant à pratiquer une traque à l'habitat, laquelle n'est possible que s'il existe une continuité des habitats, ce qui est de plus en plus problématique dans les paysages fragmentés par les multiples usages de l'espace⁴. Si une remontée en latitude et/ou en altitude est possible pour beaucoup d'espèces, notamment celles qui ont un bon pouvoir de dispersion, comme l'ont déjà montré de nombreuses études (e.g. PARMESAN *et al.* 1999,

THUILLIER 2007, CHUINE & THUILLIER 2005), il n'en va pas de même pour celles qui vivent en conditions extrêmes comme l'ours polaire qui est probablement condamné à l'extinction avant la fin de ce siècle. D'autres effets dont on commence seulement à mesurer l'importance sont des modifications dans les traits d'histoire de vie des espèces comme l'époque de reproduction et la fécondité, le comportement migratoire et bien d'autres traits démographiques, physiologiques et comportementaux. On sait par exemple que l'augmentation du CO₂ favorise la croissance des végétaux, mais la composition chimique des tissus s'en trouve modifiée dans le sens d'une diminution de sa qualité nutritive pour les insectes herbivores et l'ensemble des chaînes trophiques. Les réponses aux changements globaux, et notamment celles des végétaux à l'augmentation du CO₂ étant différentes d'une espèce à l'autre, l'une des conséquences les plus imprévisibles et peut-être les plus préoccupantes de ces phénomènes, est le changement des interactions entre espèces au sein des communautés qui aura des effets encore imprévisibles sur la structure et la dynamique de tous les écosystèmes terrestres. Il s'agit là d'un problème presque totalement inconnu que la communauté scientifique commence à peine à défricher.

Nous ne savons pas comment seraient et comment fonctionneraient les écosystèmes si toutes les espèces déjà disparues existaient encore. A plus forte raison pour celles qui vont disparaître dans les années et décennies à venir. D'où une mobilisation de la communauté scientifique à travers de nombreux programmes visant à élucider le rôle des espèces dans les écosystèmes (LOREAU *et al.* 2002). Ces recherches se déploient à toutes les échelles d'espace, depuis les travaux à grande échelle qui relèvent de la macro-écologie aux recherches en enceintes contrôlées comme les écotrons. Toutes les composantes des changements globaux interviennent isolément ou en synergie pour modifier le fonctionnement des systèmes écologiques et éroder la biodiversité, d'où la mise en place d'une recherche de type intégratif pour aborder ces questions par l'observation et l'expérimentation. Un agenda de travail a été dessiné dans le cadre de la Stratégie nationale pour la biodiversité. Il fixe les principaux objectifs à atteindre et s'attache à sensibiliser le grand public, le monde agricole, le monde industriel et les

4 - L'une des fonctions du programme NATURA 2000 et de la Trame verte du Grenelle de l'Environnement est précisément d'assurer la continuité territoriale qui permettra aux espèces de suivre la progression de leurs habitats en réponse aux changements du climat.

responsables de la santé publique sur tous ces problèmes qui concernent les domaines de l'alimentation, de la santé, de l'environnement et de la culture.

Changements globaux et santé humaine

Les changements globaux entraînent de sérieux risques sanitaires dont on commence seulement à entrevoir les risques potentiels et que les communautés scientifiques concernées abordent avec d'autant plus d'attention que les maladies ne connaissent pas de frontières dans un monde où l'intensité et la rapidité des échanges intercontinentaux des personnes et des marchandises ne cessent de croître (THOMAS *et al.* 2007). De nombreuses maladies autrefois cantonnées dans certains espaces géographiques risquent ainsi de se propager rapidement et largement, constituant pour certaines d'entre elles une menace sérieuse de pandémie dévastatrice. C'est peut-être l'une des conséquences les plus préoccupantes de la mondialisation. La liste des maladies émergentes infectieuses ne cesse de s'allonger avec le Sida, la maladie de Creutzfeldt-Jakob (maladie de la vache folle), le Sras, la grippe aviaire, le Chikungunya, la maladie du Nil Occidental, la fièvre d'Ebola, la dengue hémorragique, la maladie de la langue bleue et d'autres encore non identifiées. La réapparition de pathologies que l'on croyait éradiquées dans nos pays comme la tuberculose, les trypanosomiasés, sans parler de l'extension de ces maladies vers de nouveaux territoires que le réchauffement climatique leur permettra de conquérir sont également de nouveaux défis. On pense en particulier aux modifications possibles de la carte épidémiologique des arboviroses (infections dues aux virus véhiculés par les moustiques) qui peuvent coloniser la planète et occuper des niches jusqu'alors occupées par d'autres espèces. Dans certains cas, la combinaison de plusieurs facteurs peut transformer en bombe à retardement le risque sanitaire encouru. On pense par exemple à un changement sanitaire résultant d'une combinaison de facteurs démographiques, évolutifs (adaptation des agents pathogènes), épidémiologiques, écologiques par modification du climat et des habitats, et socio-culturels liés à des comportements et pratiques d'hygiène éventuelle-

ment favorables à la transmission des maladies. La proximité des sociétés animales et humaines a toujours existé et a été à l'origine d'épidémies, puis de l'acquisition par les sociétés humaines des résistances correspondantes. Mais les densités d'individus dans les élevages industriels et leur proximité de sociétés humaines qui sont souvent elles-mêmes d'une grande densité, particulièrement en Asie, mais aussi en Europe occidentale, y compris dans l'espace méditerranéen, multiplient les probabilités d'épidémies. Ces problématiques devraient amener la recherche vétérinaire et la recherche médicale humaine à collaborer plus étroitement car l'épidémiologie devient un domaine clé de compréhension des mécanismes de transmission et un outil de prévention.

L'utilisation de nouveaux espaces par l'agriculture, l'élevage et la production d'agrocarburants risque de mettre en circulation de nouvelles maladies qui pourraient bénéficier d'un espace mondial de prolifération, notamment dans le cas de certains virus passant de l'animal à l'Homme. Dans la mesure où l'extension de l'élevage amènera les animaux domestiques à côtoyer des réservoirs de virus constitués par la faune sauvage, les risques d'épidémie s'accroîtront. Enfin, le réchauffement climatique pourrait modifier les aires de présence des vecteurs et étendre les maladies à de nouveaux espaces. La région méditerranéenne est à cet égard particulièrement exposée à l'émergence ou la ré-émergence de nouvelles pathologies.

Conséquences socio-économiques et politiques des changements globaux

Cette question d'une importance cruciale ne saurait être qu'effleurée ici tant elle est complexe. Dans 50 ans, selon toute vraisemblance, la plus grande partie de la population humaine de la planète habitera dans des villes et près de 60% de l'humanité vivra à moins de 100 km des côtes (VITOUSEK *et al.* 2007). Dans ce contexte, l'ampleur et les variations spatiales de l'intensité des changements globaux ne vont pas manquer d'entraîner de multiples problèmes socio-économiques et politiques. Il se pourrait que les tensions soulevées directement ou non

par les changements globaux se traduisent par les déplacements de près de 50 millions de réfugiés écologiques d'ici 2010. D'ores et déjà, des réfugiés écologiques commencent à quitter certaines régions, notamment les populations des petits états insulaires du Pacifique qui sont de plus en plus menacés par la montée des eaux. Des migrations écologiques de populations exposées aux risques d'inondations ou à des sécheresses prolongées vont entraîner de profondes distributions dans l'espace des populations humaines en fonction de facteurs variés tels que les disponibilités en espaces productifs, et la localisation des emplois, sans parler des tensions que ne manqueront pas de provoquer l'acquisition de ressources essentielles qui vont se raréfier comme l'eau douce.

Conclusion

L'implication de toutes les composantes des changements globaux dans tous les compartiments de la vie de nos contemporains implique une concertation étroite entre les chercheurs des sciences humaines et sociales, et ceux des sciences de la nature. Il est nécessaire en particulier de consacrer un effort tout particulier en modélisation et simulation des effets des changements globaux sur les grands équilibres de la biosphère tels que les échanges océans - atmosphère, le cycle du carbone, la régulation du climat et l'usage des molécules chimiques de synthèse dans la gestion des espaces agricoles. La fonction de ces modèles sera de proposer des scénarii qui tiennent compte des plages d'incertitude liées aux estimations de phénomènes de grande ampleur et d'une grande complexité. La perspective d'un réchauffement général de la planète auquel seront associés des risques de refroidissement local, d'un accroissement de la variabilité de la température et des précipitations, de l'avènement d'événements climatiques extrêmes, du risque de montée des eaux et du déplacement des zones climatiques conduit à de redoutables problèmes d'adaptation. A ce jour, l'ensemble des conséquences à long terme des changements globaux n'a pas encore été l'objet d'une anticipation permettant de définir une réponse adaptative qui soit à la hauteur des enjeux, c'est-à-dire qui revienne à revoir de fond en comble notre modèle culturel.

La conclusion qu'on peut tirer de la situation actuelle, notamment au vu des informations scientifiques qui nous parviennent quotidiennement, par exemple les conclusions du quatrième rapport du PNUE sur l'avenir de l'environnement mondial (GEO4), est que nous sommes entrés dans une période de grande turbulence qui devrait nous faire réfléchir sur les nouveaux rapports au monde qu'il va falloir inventer et qui appelle six commentaires :

1. Il faut se faire à l'idée que le risque et l'incertitude sont inhérents à la vie. Les systèmes naturels ont développé des mécanismes de résistance et de résilience qui leur permettent de se perpétuer et de se renouveler. Apprendre à les comprendre et à les assumer permettrait de s'engager sur le chemin d'un renversement ou d'un renouveau culturel que les défis qui se profilent vont nécessairement entraîner.

2. Les tendances et prévisions sur l'évolution des changements globaux (au sens le plus large donné à cette expression) nécessitent malheureusement de repenser à la hausse toutes les mesures actuellement envisagées pour atténuer leurs conséquences.

3. Le concept de développement durable sera un oxymore tant que le(s) sens du mot développement ne sera (seront) pas repensé(s) et que l'incertitude ne sera pas acceptée et gérée dans un esprit de solidarité et de partage des risques.

4. Le concept de durabilité doit nécessairement être associé à ceux de solidarité et de globalité, car la solidarité est la meilleure assurance contre les risques que la crise de l'environnement va entraîner.

5. La modération n'est pas antinomique du développement dès lors que le concept de développement ne se limite pas à sa dimension quantitative et matérielle.

6. Un renouveau culturel ne sera possible qu'au prix d'un développement considérable de l'effort de recherche, ce qui nécessite d'exploiter, de valoriser les gisements d'intelligence et d'en explorer de nouveaux pour construire de nouvelles approches scientifiques et développer de nouvelles technologies. Nous avons un urgent besoin de faire faire un bond aux frontières du savoir, responsabilité qui relève de la communauté scientifique, car c'est elle et elle seule qui est aux avant-postes de la production des connaissances.

J.B.

Jacques BLONDEL
Directeur
de recherche émérite
CEFE – CNRS
1919 Route
de Mende
34293 Montpellier
cedex 5
Mél : jacques.
blondel@cefe.cnrs.fr

Références

- Balmford, A., Green, R. E., Jenkins, M., 2003. Measuring the changing state of nature. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 326-330.
- Blondel, J. 2005a. Biodiversité et Sciences de la Nature. Pp. 23-36 in Marty P., Vivien F.-D., Lepart J., Larrère R. (eds.). *Les biodiversités : objets, théories, pratiques*. Paris, CNRS-éditions.
- Blondel, J. 2005b. La biodiversité sur la flèche du temps. *Natures, Science, Sociétés*, 13, 296-301.
- Chuine, I. Thuiller, W. 2005 ? Impact du changement climatique sur la biodiversité. *Le Courrier de la Nature*, 223, 20-26.
- Jackson, J. B. C. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293, 629-638.
- Loreau, M., Naeem, S. Inchausti, P. 2002. *Biodiversity and ecosystem functioning - synthesis and perspectives*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J. K., Thomas, C. D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tamaru, T., Tennent, W. J., Thomas, J. A., Warren, M. 1999. Polewards shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399(6736), 579-583.
- Sala, O. E., Stuart Chapin III, F., Armesto, J. J. et al., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- Steadman, D. W. 1995. Prehistoric extinctions of Pacific island Birds: Biodiversity meets zooarcheology. *Science*, 267, 1123-1131.
- Thomas, F., Guégan, J.-F., Renaud, F. 2007. *Ecologie et évolution des systèmes parasités*. De Boeck, Bruxelles,
- Thuillier, W. 2007. Biodiversity: Climate change and the ecologist. *Nature*, 448, 550-552.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. Melillo, J. M. 1997. Human domination on earth's ecosystems. *Science*, 277, 494-499.
- Wackernagel, M. Rees, W. 1995. *Our Ecological Footprint : Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, New Society Publishers, Gabriola Island, BC, Canada.
- Walther, G. R., Hughes, L., Vitousek, P. M., Stenseth, N. C., 2005. Consensus on climate change. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 648-649.

Résumé

L'expression « changements globaux » désigne l'ensemble des conséquences de la domination humaine des écosystèmes qui se manifeste sur la totalité de la planète, y compris dans les milieux extrêmes comme les régions polaires qui sont touchées par les pollutions atmosphériques. Ces changements se déclinent en une série de composantes dont la dégradation et la fragmentation des habitats, l'utilisation massive d'intrants chimiques, les invasions biologiques, les dérèglements climatiques et la surexploitation des ressources naturelles. Isolément ou en synergie, ces changements entraînent un appauvrissement de la diversité biologique et une altération du fonctionnement des écosystèmes. Les pressions actuellement exercées sur les écosystèmes de la planète et les projections que l'on peut faire sur leur accentuation dans les décennies à venir ont d'ores et déjà dépassé les capacités de régénération des écosystèmes. D'où une dégradation qui risque de s'aggraver dans la logique des tendances actuelles de développement et de risque de pénuries en énergie et en ressources alimentaires. Nous sommes encore loin d'avoir fait l'inventaire de la biodiversité et de connaître ses fonctions dans les écosystèmes. L'incertitude qui entoure les conséquences de son érosion accélérée et la gravité des problèmes qu'elle soulève justifie une mobilisation croissante de la communauté scientifique, notamment à travers la Stratégie Nationale pour la Biodiversité, mais aussi grâce à l'activité des associations et de tous ceux qui sont concernés par la gestion des espaces et des espèces. Parmi les incertitudes liées à ces changements, il faut prêter une attention toute particulière aux risques sanitaires qu'ils entraînent en raison de l'émergence ou de la ré-émergence de pathologies, surtout en région méditerranéenne qui devrait être particulièrement touchée par une diminution des précipitations et une augmentation plus élevée qu'ailleurs des températures, notamment en été. La conclusion qu'on peut tirer de la situation actuelle est que les sociétés sont en train d'entrer dans une période de grande turbulence qui devrait nous faire réfléchir sur les nouveaux rapports au monde qu'il va falloir inventer.

Summary

Global changes

The expression 'global changes' refers to the totality of the consequences stemming from human domination of ecosystems which can be evidenced worldwide, over the whole planet, including in extreme environments such as the polar regions where atmospheric pollution has an impact. Such changes involve a series of factors including the deterioration and fragmentation of habitats, the massive use of chemical compounds in production, biological invasions, climatic upsets and the over-use of natural resources. Separately or in combination, these changes lead to a loss of biological diversity and modifications in the functioning of ecosystems. Pressures presently affecting the planet's ecosystems, as well as actual forecasts about their intensification over the coming decades, already exceed these ecosystems' capacity for self-regeneration. Hence an overall deterioration that is likely to get worse, given the present-day tendencies related to development and the threat of scarcities in energy and foodstuffs. As yet, we are a long way from having a complete inventory of global biodiversity or understanding its functioning within ecosystems. Uncertainty surrounding the impact of the accelerating shrinkage of biodiversity and the seriousness of the problems this gives rise to, justify increasing the active and committed awareness of the scientific community, notably through the National Strategy for Biodiversity but, also, via the activity of associations and everyone involved in species management and the use of space. Of the uncertainty connected to climate change, particular attention needs to be given to the risk to health deriving from the appearance or reoccurrence of pathological conditions. This is especially so in Mediterranean regions which are expected to suffer from a lack of rainfall and a rise in temperatures more severe than elsewhere, especially in summer. The present situation leads to the conclusion that societies are entering a period of major turbulence which should make us reflect on a possible new relationship to the world we live in.

Impact du changement climatique sur les écosystèmes naturels et cultivés

par Bernard SEGUIN

Bernard Seguin traite plus spécifiquement ici des conséquences du réchauffement sur les agro et écosystèmes. En France, il est déjà possible d'observer des impacts sur les écosystèmes cultivés et naturels, en particulier au niveau de leur phénologie et de leur productivité. Même s'il est difficile d'isoler le facteur climatique de l'ensemble des autres facteurs, il est clairement attesté que le climat actuel évolue significativement.

Le changement climatique et ses impacts : le contexte

La publication du quatrième rapport du GIEC au cours de l'année 2007 a renforcé la crédibilité scientifique et sociétale de la réalité du phénomène du changement climatique. C'est, en particulier, la confrontation des scénarios climatiques pour le XXI^e siècle et des observations récentes qui permet maintenant d'attribuer les changements observés, au-delà des facteurs naturels, à l'accroissement de l'effet de serre par l'action anthropique. La température moyenne de surface a augmenté de 0,6° C (avec une incertitude en plus ou en moins de 0,2° C) depuis 1860. Le XX^e siècle a probablement été le siècle le plus chaud depuis 1 000 ans et la décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important de ce siècle. Les données purement climatiques sont corroborées par des observations sur des indicateurs qui en dérivent directement : diminution de la surface de couverture neigeuse et des glaciers de montagne ou de la glace de mer, élévation du niveau de la mer, etc. ou indirectement par le biais de l'impact sur les différents écosystèmes (GIEC 2007b).

Ces évolutions récentes sont, pour la plupart, en bon accord avec les tendances identifiées dans les projections des scénarios climatiques du futur.

1 - C3, C4 : Les plantes fixent le CO₂ de l'atmosphère grâce à une molécule organique dont le nombre d'atomes de carbone diffère selon les espèces : d'où une différenciation fonctionnelle entre les plantes en C3 (3 atomes de carbone), dont la majorité des cultures des zones tempérées telles que le blé, le riz, etc. et les plantes en C4 (4 atomes de carbone), plutôt d'origine tropicale comme le maïs ou le sorgho.

2 - Résistance stomatique : la fermeture des stomates induit un ralentissement des échanges gazeux, dont la transpiration dans le cas de la vapeur d'eau. L'intensité de ce freinage peut s'exprimer par l'équivalent d'une résistance dans l'expression biophysique des échanges en question.

Les caractères généraux des impacts prévisibles sur la production végétale

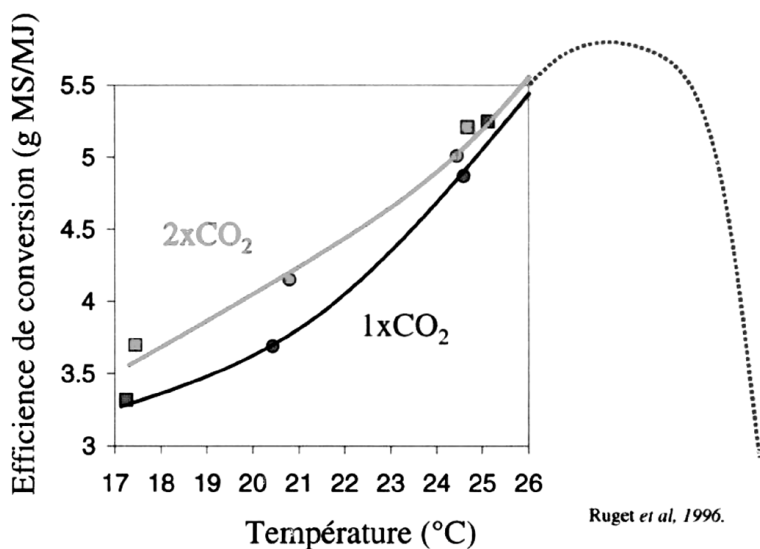
Dans ses grandes lignes, au niveau du fonctionnement écophysologique des plantes cultivées, le premier élément à prendre en compte n'est pas directement lié à la modification des variables climatiques, mais plutôt au facteur qui en est essentiellement responsable, à savoir l'augmentation du gaz carbonique (ou dioxyde de carbone) atmosphérique CO₂. En effet, celle-ci produira un effet spécifique aux couverts végétaux en stimulant la photosynthèse : avec l'hypothèse d'un doublement du CO₂ pour la fin de ce siècle, les résultats font état d'une augmentation de la photosynthèse brute de l'ordre de 30% pour les plantes en C3¹ (telles que le blé, le riz, etc.) et de 15% pour les plantes en C4¹ d'origine tropicale comme le maïs, à cause d'un plateau de saturation de la photosynthèse atteint à des concentrations en CO₂ inférieures pour les C4. Ce qui conduit à une augmentation de l'assimilation nette de l'ordre de 20% pour les C3 et 10% pour les C4, en prenant en compte l'augmentation de la respiration liée à l'élévation de température. Cette augmentation est modulée par l'intervention possible d'autres facteurs limitants potentiels (nutrition azotée et autres éléments minéraux), à la fois dans son intensité et dans sa durée au cours du cycle, ce qui se traduira au final par une augmentation de la production potentielle de biomasse, assez variable dans une gamme allant de 0 à

30%. Par ailleurs, il faut envisager une augmentation de la résistance stomatique², limitant la transpiration et qui conduit à une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (rapport photosynthèse nette / transpiration) en particulier pour les C4 (BETHENOD *et al* 2001). Le tout conduira à une augmentation significative de la production potentielle de biomasse, comme illustré dans la figure 1.

Cet effet sur la photosynthèse sera combiné à l'effet propre du réchauffement climatique sur la température en premier lieu, mais également sur les autres facteurs, en particulier la pluie. Bien que la réponse physiologique des plantes à un enrichissement de l'atmosphère en gaz carbonique et à une augmentation concomitante de la température entraîne en théorie une production plus importante de biomasse, les effets sur le rendement des espèces cultivées, à l'échelle du peuplement, risquent d'être beaucoup plus contrastés. Cela est particulièrement vrai pour le Sud, où l'optimum thermique pour la photosynthèse est souvent déjà atteint (par exemple pour le riz, dont la fertilité des épillets décroît fortement au-delà de 34°C, ou pour le maïs, dont la viabilité du pollen baisse au-delà de 36°C), sinon dépassé dans certaines conditions. Dans les conditions tempérées, l'augmentation de température peut favoriser la plupart des processus physiologiques, mais elle aura également un impact négatif sur les cultures telles que pratiquées actuellement en accélérant leur rythme de développement et donc en raccourcissant les cycles de culture et, par suite, la durée de fonctionnement de l'usine photosynthétique. Au bout du compte, le bilan résultant en la production de biomasse devrait prendre des aspects variés, en fonction du type de couvert et des conditions climatiques associées aux conditions culturales pour les plantes cultivées.

C'est effectivement ce qui ressort du grand nombre d'études consacrées ces vingt dernières années à la prédiction sur l'impact du réchauffement climatique sur l'agriculture à l'échelle mondiale (ROSENZWEIG et HILLEL 1998, REDDY et HODGES 2000). L'analyse des synthèses du GIEC de 2001 avait fait clairement apparaître une tendance à un effet majoritairement défavorable dans les régions tropicales chaudes, alors que les résultats pour les régions tempérées sont plus contrastés (Cf. Fig. 2). Le quatrième rapport a confirmé cette tendance, en mettant cependant en évidence un effet plus

Fig. 1 : Augmentation de l'efficacité de conversion du maïs par un doublement de la concentration en CO₂ à différentes températures (d'après Ruget *et al*, 1996)

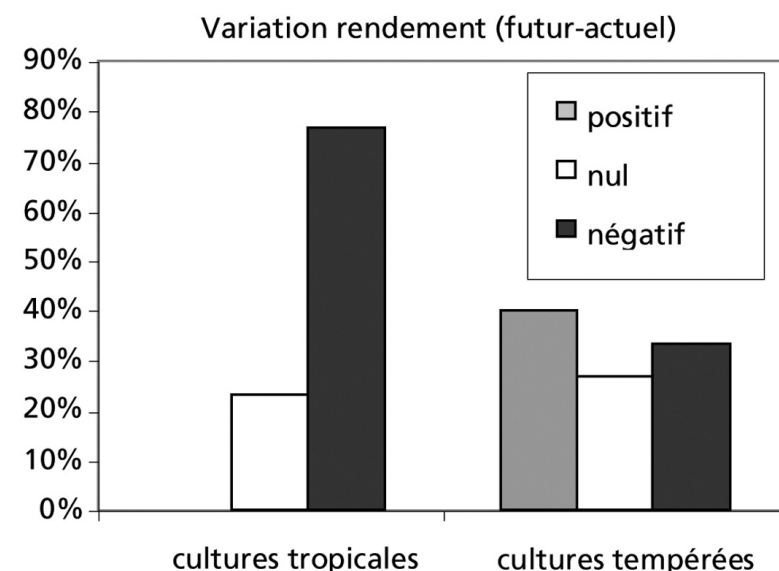


négatif lorsque le réchauffement dépasse les 2 à 3°, comme illustré par la figure 3 pour le blé et le maïs.

Quels seront les effets sur la productivité des cultures en Europe ?

Les travaux effectués dans le cadre du projet européen CLIVARA (*Climate change, climatic variability and agriculture in Europe*, DOWNING *et al* 2000) et la revue de synthèse préparée par OLESEN et BINDI (2002) permettent de dégager les grandes lignes suivantes pour les impacts potentiels :

– l'action conjointe de la stimulation de la photosynthèse et d'un réchauffement de l'ordre de 2 à 3°C devrait se traduire par une augmentation de la productivité potentielle de la plupart des cultures (y compris les prairies) dans la plupart des régions. HULME *et al* (1999) ont établi que, pour le blé, l'influence du seul changement climatique (sans considérer de stimulation de la photosynthèse par l'augmentation du CO₂) n'aurait pas de poids significatif par rapport à la variabilité naturelle sur les trente dernières années, à l'exception de la Finlande,



de l'Allemagne et des Pays-Bas. Par contre, l'introduction de l'effet du CO₂ conduit à des augmentations substantielles de 10 à 30%. Pour l'ensemble des cultures, les valeurs chiffrées, telles que celles rassemblées par OLESEN et BINDI (2002), sont difficiles à interpréter directement, car elles ont été obtenues par différents auteurs avec des hypothèses de départ différentes. Elles situent plutôt les augmentations dans un intervalle de 10 à 30 % pour le blé, de même que pour la pomme de terre, et plus pour le maïs ou le soja. Elles sont généralement plus

Fig 2 : Effet du changement climatique sur le rendement des cultures (à partir de 43 études répertoriées dans le 3^e rapport du GIEC)

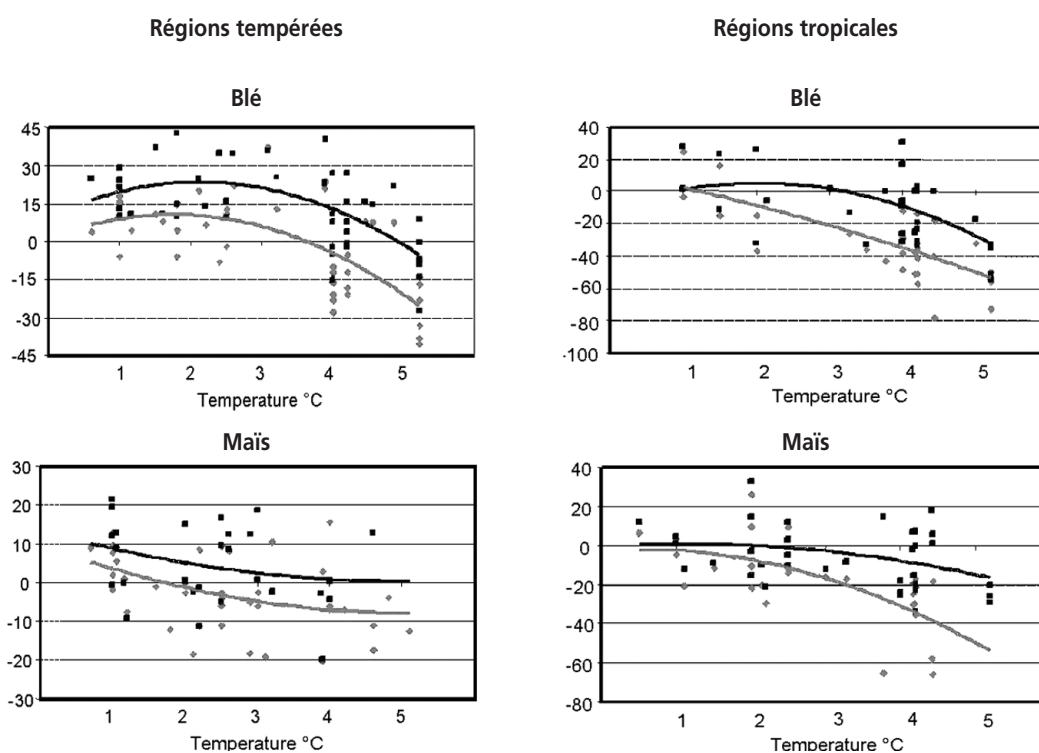


Fig. 3 : Effet de différentes hypothèses de réchauffement sur le blé et le maïs en région tempérée (gauche) et tropicale (droite), sans (en gris) et avec adaptation (en noir) D'après GIEC 2007b

En abscisse : changement de température moyenne locale (°C)

En ordonnée : pourcentage de changement du rendement pour le blé et le maïs

fortes pour le Nord de l'Europe (en particulier la Scandinavie) que pour le Sud (Espagne, Portugal) ou l'Est (Ukraine) ;

– dans ces régions, mais plus largement (sud de la France, Italie, Grèce), l'effet déterminant sera celui de la pluviométrie, un stress hydrique élevé et répétitif étant susceptible de convertir l'effet potentiel positif en résultat très négatif, comme cela a été vérifié au cours de l'été 2003 (SEGUIN *et al* 2004). Totalemment exceptionnel par les températures de canicule plus élevées de 4 à 5°C que les normales saisonnières (CHUINE *et al* 2005), il a aussi été marqué par une sécheresse intense, qui a provoqué des baisses de rendement pouvant atteindre 20 à 30% localement pour les cultures d'été et plus de 50% pour la production fourragère, avec des effets intégrés avoisinant les 10% au niveau de l'Union européenne.

Ces tendances dans les projections se retrouvent au niveau du territoire français, comme l'ont établi les articles de synthèse de DELECOLLE *et al* (1999), SOUSSANA (2001) et plus récemment SEGUIN *et al* (2005).

Au niveau des grandes cultures, les résultats des simulations effectuées avec les modèles de culture sur le blé et le maïs permettent de conclure à des effets légèrement positifs sur le premier (avec des augmentations de rendement allant de 2,5 % à 5,7%), et des effets plus variables sur le maïs (+10% à -16% dans le cas d'une culture irriguée dans le Sud-Est).

Au niveau des prairies, la conjugaison de travaux expérimentaux (sous serre et en enrichissement naturel à l'extérieur) et de modélisation à partir d'un modèle

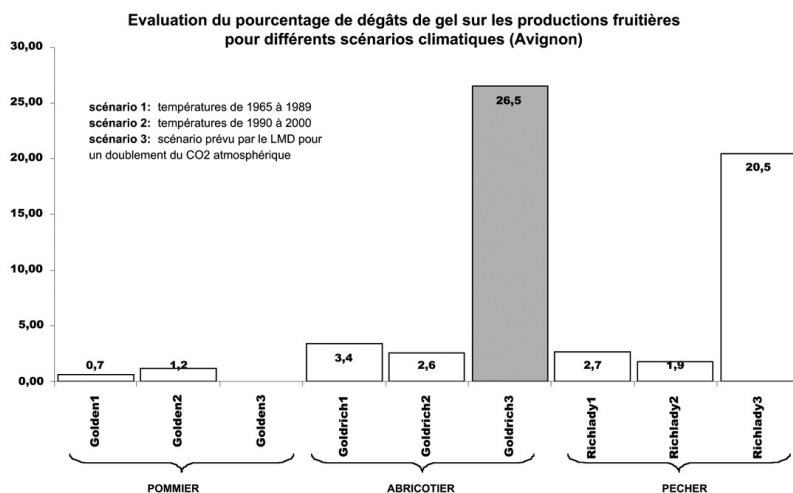
d'écosystème prairial, conduit à envisager, dans les conditions du Massif Central, une augmentation de la production de biomasse aérienne de l'ordre de 25 % (dont 18 % attribuables au seul doublement de CO₂). En termes de système d'élevage, la valorisation de cette augmentation de production devrait permettre une augmentation du chargement animal (en gros de 20%) ou une augmentation de la saison de pâturage de l'ordre de trois semaines, avec un accroissement de l'ingestion de 7 à 20 % et de 2 à 20 % pour la production de viande.

En ce qui concerne les cultures pérennes (arbres fruitiers et vigne), le facteur primordial devrait être l'avancée des stades phénologiques, d'autant plus marquée que l'on s'éloigne en cours de saison de la levée de dormance, qui risque d'être plus tardive à cause du manque de froid. Pour certaines espèces telles que l'abricotier, les hivers doux risquent même de créer des troubles physiologiques (chute de bourgeons, fruits avortés). Ensuite, l'action de la chaleur reprendra vite le dessus et l'avancée de la date de floraison peut conduire paradoxalement à augmenter le risque de gel (Cf. Fig. 4), et à envisager des conditions climatiques moins favorables pour la fécondation et la pollinisation, en dépit du réchauffement des températures. Pour la vigne, la période de la maturation sera décalée d'après le 15 août à courant juillet, avec des conséquences certaines sur la qualité de la vendange, plus chargée en sucre (et donc en degré alcoolique) et moins en acide.

Il faut relativiser la portée de ces projections en notant que la disponibilité de l'eau peut devenir un facteur limitant prédominant, susceptible de fortement handicaper les cultures en cas de sécheresse forte et récurrente comme le montre l'expérience des années récentes, en particulier bien sûr 2003. Par ailleurs, les éléments qui viennent d'être présentés s'appuient uniquement sur les valeurs moyennes des facteurs climatiques. L'éventualité d'événements extrêmes et, de façon plus large, la prise en compte de la variabilité de ces facteurs pourraient conduire à des impacts différents, par le dépassement de valeurs-seuils encore mal cernées. Enfin, il faudrait considérer l'impact sur les adventices (mauvaises herbes) et les insectes et maladies cryptogamiques, encore mal cerné à l'heure actuelle. Il a ainsi pu être constaté que, dans certains cas, le carpo-capse des pommes est passé, dans le midi, de

Fig 4 :

Effet du réchauffement climatique sur les dégâts de gel simulés pour trois productions fruitières (pommier, abricotier, pêcher) sur le site d'Avignon



deux à trois cycles par an. A l'inverse, le phoma du tournesol a été sans doute limité ces dernières années dans le Sud-Ouest par les fortes températures, et pratiquement éradiqué pour le moment par la sécheresse de 2003. Au-delà des bouleversements des systèmes écologiques complexes que représentent les relations entre hôtes et parasites (il est possible que les décalages de cycles en réponse à l'augmentation de température soient significativement différents pour les deux composantes), il faut également prendre en compte la possibilité de mouvements géographiques qui amènent certaines maladies ou ravageurs, véhiculés par les moyens modernes de transport, à s'installer dans des régions où les conditions climatiques le leur permettront.

Les impacts observés sur les écosystèmes terrestres

Le réchauffement climatique récent a été maintenant bien attesté, aussi bien à l'échelle du globe (GIEC 2007 a) que du territoire français (MOISSELIN *et al* 2002, MOISSELIN et CANELAS 2005).

Comme le climat, les écosystèmes terrestres, qu'ils soient naturels ou cultivés, conjuguent une évolution à long terme qui traduit un déplacement de l'état d'équilibre avec une forte variabilité temporelle. L'attribution d'un changement écologique à ce réchauffement climatique récent n'est pas une question scientifique facile, d'une part parce que de nombreux facteurs autres que le climat agissent sur les réponses de différents systèmes ou secteurs (en premier lieu les facteurs anthropiques allant de l'économie à l'utilisation de la surface ou la modification du type d'occupation, en passant par les pollutions diverses dans l'atmosphère, les eaux et les sols), d'autre part parce que les impacts éventuels ne se répercutent pas forcément en réponse immédiate au forçage climatique, et qu'un temps de latence de durée variable caractérise l'inertie de différents systèmes. Il est donc logique que ces impacts soient seulement réellement identifiés depuis peu, avec quelques années de recul par rapport à la mise en évidence effective du réchauffement qui date seulement de la fin des années 90. Il

faut aussi que des chercheurs de diverses disciplines soient stimulés afin de se mobiliser pour analyser une tendance éventuelle à travers leurs propres données, ce qui se fait progressivement actuellement.

Au niveau global, les impacts observés étaient ainsi pratiquement absents des deux premiers rapports du GIEC, et sont apparus en tant qu'information significative seulement pour le troisième rapport (GIEC, 2001). L'analyse effectuée alors, à partir de 2.500 articles publiés, portait uniquement sur les relations avec la température, en recherchant trois critères qui devaient être satisfaits simultanément : un changement observé sur au moins dix années, pouvant être corrélé de manière déterministe à un changement de température. Deux grandes catégories ont ainsi été mises en évidence : 44 études sur les plantes et les animaux, couvrant 600 espèces, dont 90 % (plus de 550) ont montré des signes de changement, avec 80 % (plus de 450) qui allaient dans le sens attendu. Et 16 études sur les glaciers, la couverture neigeuse et la glace sur les lacs ou les fleuves portant sur 150 sites. Environ 100 (67 %) montraient une évolution, dont 99 dans la direction attendue.

Les travaux préparatoires à la publication du quatrième rapport (GIEC 2007b) ont permis d'actualiser ces données globales (qui portent le nom de méta-analyses) : 13 études pour les changements dans la cryosphère, 22 pour l'hydrologie et les ressources en eau, 30 sur les processus côtiers, 37 sur les systèmes biologiques marins et d'eau douce, 156 sur les systèmes biologiques terrestres, et 32 sur l'agriculture et la forêt (soit 258 au total, à comparer aux 60 études mentionnées ci-dessus dans le troisième rapport).

En nous limitant aux écosystèmes continentaux, les effets observés peuvent être résumés ainsi :

- pour la cryosphère, une fonte accélérée qui se traduit par un recul généralisé des glaciers, une augmentation du ruissellement et des débits dans les zones glaciaires ou nivales, ainsi que des avalanches de glaces et de rochers, le déplacement des mammifères dans l'Arctique et de la faune de l'Antarctique, la fonte du permafrost dans les hautes latitudes, la nécessité de déplacer vers le haut les stations de ski, etc.
- pour l'hydrologie et les ressources en eau, l'accroissement des sécheresses en zone aride et semi-aride, les inondations et les

glissements de terrain pendant la saison chaude en zones montagneuses ;

- pour les eaux douces, fleuves et rivières se réchauffent, avec des conséquences bien établies sur la stratification thermique et la composition chimique, l'abondance et la productivité, la composition des communautés, la phénologie, la distribution et la migration des espèces végétales et animales ;

- pour les systèmes biologiques terrestres, des réponses bien établies dans l'hémisphère nord avec une avancée généralisée de la phénologie au printemps, et une saison de végétation plus longue. La population de certaines espèces a diminué ou même disparu, et des mouvements vers le nord ou des altitudes plus élevées ont été observés ;

- pour l'agriculture et la forêt, une avancée similaire de la phénologie en Europe et en Amérique du nord (observée au sol, mais aussi par satellite), avec une saison de végétation sans gel allongée (en partie sans doute

à l'origine de l'augmentation de la productivité forestière, de l'ordre de 30 à 40%, maintenant également confirmée par des observations satellitaires qui évaluent l'augmentation récente de la productivité primaire nette des continents de l'hémisphère nord à environ 8%).

En dehors de l'observation d'une avancée systématique des dates de floraison des arbres fruitiers, l'illustration la plus nette se situe en viticulture, particulièrement sensible à ce réchauffement : l'ensemble des régions viticoles de ces mêmes zones montre une avancée des stades phénologiques, qui se répercute sur les dates de vendange, ainsi qu'une augmentation de la teneur en sucre et du degré alcoolique qui conduit, pour les vingt dernières années, à des vins généralement de haute qualité. Pour la forêt, on a observé également une avancée des dates de débourrement de l'ordre de 5 à 8 jours sur l'Eurasie, une migration vers le nord de la

Fig. 5 :
Evolution de la période de floraison de la poire Williams depuis 1962 (à partir de la base de données Phenoclim)

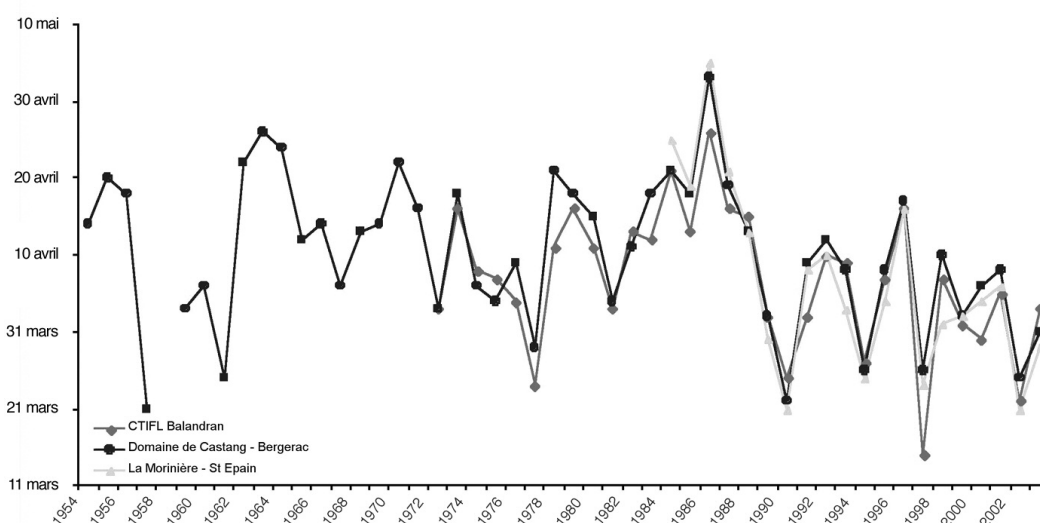
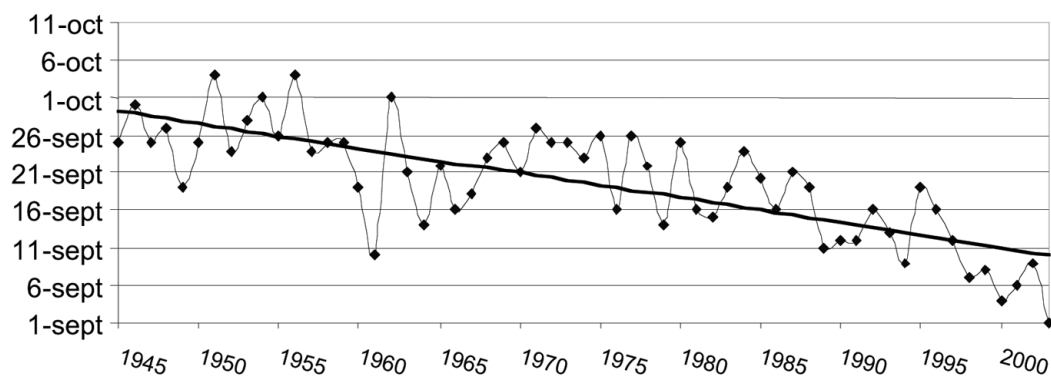


Fig. 6 :
Evolution de la date de vendange à Châteauneuf-du-pape de 1945 à 2003 (d'après Ganichot 2002)



limite forêt-toundra et une augmentation des feux de forêt au Canada, ainsi qu'une extension de l'aire de certains insectes aux USA.

Au niveau européen, le récent état des lieux effectué par l'Agence européenne de l'environnement (EEA 2004) retient les tendances constatées sur une sélection d'indicateurs qui recoupe les systèmes et secteurs considérés par le GIEC : retrait des glaciers pour 8 sur 9 des régions concernées (avec un recul d'ensemble évalué au tiers de la surface et à la moitié de la masse entre 1850 et 1980, et 20 à 30% de perte supplémentaire depuis, dont 10% pour le seul été 2003), diminution de la période de couverture neigeuse (entre 45 et 75° N de 8,8 jours par décennie entre 1971 et 1994), augmentation de la saison de végétation de 10 jours entre 1962 et 1995 et de la productivité de la végétation de 12%, migration vers le nord et vers le haut de plantes (diversité enrichie de l'Europe du nord-ouest et en montagne pour 21 de 30 sommets alpins), accroissement du taux de survie de populations d'oiseaux hivernant en Europe, etc.

Au niveau français, si les agriculteurs (et les éleveurs) font état d'une modification des calendriers culturaux qui pourrait être liée à cette particularité climatique, d'ailleurs confirmés par des analyses récentes sur les dispositifs expérimentaux de l'INRA (pratiquement un mois d'avance depuis 1970 sur les dates de semis du maïs pour quatre sites couvrant l'ensemble du territoire), il n'a pas encore été possible de l'apprécier de manière objective, pas plus que d'évaluer son poids éventuel dans l'évolution récente des rendements. Par contre, l'analyse des données phénologiques (dates d'apparition des stades de développement) sur les arbres fruitiers et la vigne, cultures a priori beaucoup moins dépendantes sur ce point des décisions culturelles, a permis de mettre en évidence des avancements significatifs de stades tels que la floraison des arbres fruitiers (voir les figures 5 et 6 sur l'avancée des stades de floraison des arbres fruitiers, une dizaine de jours en trente ans sur des pommiers dans le Sud-Est, ou des dates de vendange pour la vigne, presque un mois dans la même région au cours des cinquante dernières années, GANICHOT 2002). Ces observations, étendues pratiquement à l'ensemble du territoire français, avec évidemment des variantes suivant les espèces et les lieux, se sont confirmées depuis, et ont même été notablement ampli-

fiées, en particulier pour la vigne (SEGUIN 2007).

L'augmentation de la productivité des forêts de l'ordre de 30 à 40% depuis le milieu du XX^e siècle, déjà mentionnée plus haut aux niveaux global et européen, est également observée au niveau français. Il n'est pas encore possible d'évaluer précisément la part que l'on doit attribuer aux différentes causes plausibles : effet déjà marquant de l'augmentation du gaz carbonique, du réchauffement ou d'une fertilisation par l'azote contenu dans les pluies (cette dernière hypothèse tenant la corde d'après les travaux récents de l'INRA de Nancy) ? Il faut souligner que l'augmentation du CO₂ atmosphérique, en interaction avec le réchauffement et avec la variation de la pluviométrie, aura des effets importants sur la productivité végétale, sur l'économie de l'eau et sur le bilan des nutriments (TUBIELLO *et al.*, 2007).

Au niveau des insectes et maladies, il apparaît certains signes indiscutables que l'on pourrait relier directement au changement climatique : extension vers le nord et en altitude de la chenille processionnaire du pin, observations sur le cycle du carpocapse qui a vu l'augmentation d'apparition d'une troisième génération, augmentation de la diversité des pucerons également concernés par l'avancée de la phénologie ; à l'inverse extinction du phomopsis du tournesol dans le Sud-Ouest après la canicule de 2003. Il faut également prendre en compte la possibilité de mouvements géographiques qui amènent certaines maladies ou ravageurs, véhiculés par les moyens modernes de transport, à s'installer dans des régions où les conditions climatiques le leur permettront. D'où les interrogations actuelles sur des maladies émergentes dans le monde animal (fièvre du Nil sur les chevaux en Camargue), mais aussi végétal : une mouche blanche (*Bemisia tabaci*) originaire des régions subtropicales a été repérée depuis une dizaine d'années en Europe, et menace actuellement les cultures sous serre du Sud du continent.

Ces différentes observations proviennent pour une très large part des travaux de l'INRA dans les domaines de l'agriculture et de la forêt (voir le site www.inra.fr/changement_climatique). Pour une vision plus large sur les milieux naturels, elles peuvent être complétées par celles rassemblées dans l'ouvrage de DUBOIS et LEFEVRE (2003) et le livret édité par le RAC-F (2005).

Conclusion

Les observations récentes attestent, au minimum, d'un réchauffement significatif depuis 1860 au niveau global, avec une accentuation marquée depuis les années 1980. Il est évidemment variable à la fois dans le temps et dans l'espace, mais la tendance générale paraît indiscutable et bien établie par les impacts directs ou indirects sur les milieux naturels et certaines activités humaines. Il est maintenant fortement probable qu'il soit causé par l'augmentation de l'effet de serre évalué dans les modèles climatiques, comme l'a établi clairement le rapport du GIEC de 2007.

Les observations que nous avons rapportées sur la France prennent en compte essentiellement les effets moyens du réchauffement observé depuis une vingtaine d'années (avec, pour les conséquences sur la phénologie, une rupture diagnostiquée à la période 1985-1989). Bien sûr, en complément de cette tendance de fond, les années récentes ont vu se manifester des événements climatiques que l'on peut qualifier d'exceptionnels (par leur écart avec les valeurs normales ou moyennes), avec en premier lieu la canicule et sécheresse de 2003, mais aussi les sécheresses ultérieures (en particulier 2005 et 2006), puis l'hiver doux de 2006. Manifestement, ces épisodes ont des impacts instantanés (ou même plus tardifs, compte tenu des répercussions ultérieures) d'un ordre de grandeur égal ou notablement supérieur à celui de l'évolution moyenne. Il est certain que celle-ci sera déterminante à long terme, mais que la variabilité et son évolution en termes d'événements extrêmes jouera un rôle tout aussi important dans le futur. C'est, sans doute, à l'heure actuelle, le facteur limitant pour prétendre pronostiquer ou préfigurer l'impact du changement climatique sur les écosystèmes en général, et cultivés en particulier.

Bernard SEGUIN
INRA Mission
"Changement
climatique et effet
de serre"
Site Agroparc
Domaine Saint-Paul
84914 Avignon
cedex 9
Mél : seguin@
avignon.inra.fr

B.S.

Références bibliographiques

- ACOT P.(2003) : "Histoire du climat ", ed. Perrin, 309 p.
- AMIGUES J.P., DEBAEKE P., ITIER B., LEMAIRE G., SEGUIN B., TARDIEU F., THOMAS A. editeurs (2006). "Sécheresse et agriculture. Adapter l'agriculture à un risque accru de manque d'eau". Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 pp.
- Bethenod O., Ruget F., Katerji N., Combe L., Renard D., Impact of atmospheric CO₂ concentration on water use efficiency of maize. *Maydica* 46 (2001), 75-80.
- Delecolle R., Soussana J.F., Legros J.P., Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 85 (1999), 45-51.
- Domergue M., Garcia de Cortazar I., Seguin B., Brisson N., Ripoche D., Le réchauffement récent du climat en France et ses conséquences sur l'agriculture. Actes du XVI^e colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Varsovie (Pologne), 10-14 septembre 2003.
- Blazejczyk K., Adamczyk A.B. (eds.), *Acad. Pol. Sci., doc. geogr* 39 (2003), 85-88.
- Domergue M., Legave J.M., Calleja M., Moutier N., Brisson N., Seguin B. Réchauffement climatique : quels effets sur la floraison chez trois espèces fruitières ? *Arboriculture fruitière*, (2004), 578, 27-33.
- Downing T.E, Harrison P.A., Butterfield R.E, Lonsdale K.G . Climate change, climatic variability and agriculture in Europe. An integrated assessment . Environmental change Institute, University of Oxford, Oxford (GB), (2000), research report n°21, 443 pp
- DUBOIS P.J., LEFEVRE P. (2003) *Un nouveau climat. Les enjeux du réchauffement climatique*, ed La Martinière, 255p.
- DUPOUEY J.L., ARROUAYS D., BALESDENT J, GABRIELLE B., GOSSE G., PIGNARD G., SEGUIN B., SOUSSANA J.F (2005). *Rôle de l'agriculture et des forêts dans l'effet de serre*. In "Chimie verte", P.Colonna ed., Lavoisier, ch 16, 447-486.
- EEA (2004) : Impacts of Europe changing climate. An indicator-based assessment. EEA report n°2/2004, 107 pp.
- Ewert F., Rousenvell M.D.A., Reginster I., Metzger M.J., Leemans R. Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 107, 101-116.
- GANICHOT B. (200) : Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales. Actes des 6^e rencontres rhodaniennes, Institut Rhodanien, Orange : 38-41.
- GIEC (2001) : Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the third assessment report of IPCC. Cambridge University Press, Cambridge
- GIEC (2007a): Climate change 2007 : the physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, aussi accessible en ver-

- sion française sur le site de la MIES : www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_i_du_giec_2007
- GIEC (2007b): Climate change 2007 : impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, version française sur le site web de la MIES, www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_ii_du_giec_2007.
- GIEC (2007c): Climate change 2007: mitigation of climate change. Summary for policymakers. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, version française sur le site web de la MIES, www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_iii_du_giec_2007
- Assessment Working Group, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 200 p.
- LE ROY LADURIE E. (1983) : *Histoire du climat depuis l'an mil*, Collection champs, ed Flammarion, deux volumes (tome I : 287 p., tome II : 254 p.)
- MOISSELIN J.M, SCHNEIDER M., CANELAS M., MESTRE C.O.(2002) : Les changements climatiques en France au XX^e siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, *La Météorologie*, 38 : 45-56.
- MOISSELIN J.M et CANELAS M. (2005) : Longues séries d'insolation homogénéisées en France, *CR Géoscience*, 337, 729-734 de référence pour l'étude des changements climatiques. Actes des journées AMA édités par Météo-France, Toulouse, 95-98.
- Olesen J.E, Bindi M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy, *Eur. Journ. Agronomy*, (2002), 16, 239-262.
- Perarnaud V., Seguin B., Malezieux., Déqué M., Loustau D. Agrometeorological research and applications needed to prepare agriculture and forestry adapt to 21st century climate change. *Climatic change*, (2005), 70, 319-340.
- Reddy K.R., Hodges R.F., *Climate change and global crop productivity*. CABI Publishing, Wallingford (2000).
- Rosenzweig C., Hillel D., Climate change and the global harvest. Oxford University Press, Oxford (1998).
- Ruget F., Bethenod O., Combe L., Repercussions of increased atmospheric CO₂ on maize morphogenesis and growth for various temperature and radiation levels. *Maydica* 41 (1996), 181-191.
- RAC-F 2005 : *Changement climatique : la nature menacée en France*. Brochure éditée collectivement avec FNE, WWF, LPO, Greenpeace, 24 pp.
- SEGUIN B., DOMERGUE M., GARCIA DE CORTAZAR I., BRISSON N., RIPOCHE D.(2004) : Le réchauffement climatique récent : impact sur les arbres fruitiers et la vigne. *Lettre pigb-pmrc France Changement global*, n° 16, 50-54.
- Seguin B., Baculat B., Baret F., Brisson N., Huard F., Ruget F., An overview of the consequences of the 2003 summer for agriculture in France. Proceedings of the 8th European Society of Agronomy congress. Copenhagen (Danemark), 11-15 juillet 2004. ESA (2004), 335-336.
- Seguin B., Garcia de Cortazar.I , Climate warming : consequences for viticulture and the notion of terroirs in Europe. *Acta Horticulturæ* (2005, 689,61-71)
- Seguin B., Brisson N., Loustau D., Dupouey J.L. Impact du changement climatique sur l'agriculture et la forêt. In "L'homme face au climat", actes du symposium du Collège de France, Paris, 12-13 oct 2004, ed Odile Jacob (2006, 177-204).
- SEGUIN B. (2007) Le réchauffement climatique et ses conséquences pour la viticulture, communication au colloque "Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ?" organisé par la chaire Unesco Vin et culture de l'Université de Bourgogne, Dijon, 28-30 mars 2007
- Tubiello FN, Soussana JF, Howden M, and Easterling W 2007. Crop and pasture response to climate change PNAS (in press).
- Soussana J.F., Changement climatique. Impacts possibles sur l'agriculture et adaptations possibles.

Résumé

Le changement climatique, tel qu'il est prédit pour le XXI^e siècle, aura un impact profond sur les écosystèmes, il a fait l'objet d'un grand nombre d'études dont on peut trouver la synthèse dans les rapports du GIEC. Les projections s'appuient, en général, sur des modélisations du fonctionnement éco-physiologique des couverts, qui conjuguent l'effet d'une augmentation du dioxyde de carbone (susceptible d'accroître la photosynthèse de l'ordre de 30%) aux modifications liées directement à celles des facteurs climatiques dominants, au premier rang desquels la température et la pluviométrie. Il faudra également s'attendre à une évolution sensible des aires géographiques, de culture ou d'adaptation.

Si les projections effectuées depuis une vingtaine d'années paraissent encore, il y a peu, relever de la science-fiction pour la fin du XXI^e siècle, l'évolution récente du climat en fait déjà une question d'actualité réelle, tout en permettant d'obtenir une première évaluation de la pertinence des projections. Même s'il est généralement très délicat d'isoler l'action éventuelle du réchauffement global de celui d'un grand nombre d'autres facteurs, il est possible d'observer des impacts sur les écosystèmes cultivés ou naturels, en particulier au niveau de leur phénologie (pour la France, dates de floraison des arbres fruitiers, de vendange et de semis du maïs) mais aussi, dans certains cas, de leur productivité (forêts). Ils attestent de la réalité d'un climat actuel significativement différent de celui des années 1940-1970 et très vraisemblablement en cours d'évolution sous l'action de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Summary
In: Dantigny, Colin, Paris (2001), 195-222.

Impact of climatic change on natural and farmed ecosystems

Climatic change as it is predicted for the 21st century will have a profound effect on ecosystems and so has been the object of a very large number of studies, the summaries of which are available in the reports of the IGSC (GIEC). Forecasting is generally based on modelling of the eco-physiological behaviour of the various forms of plant cover, combining the effect of the increase in carbon dioxide (likely to boost photosynthesis by an order of 30%) with modifications directly related to changes in dominant climatic factors, of which temperature and rainfall take pride of place. A significant evolution is also to be expected in geographical or cultivated areas or in buffer areas of adaptation.

Though projections advanced over the last twenty years have, even recently, still seemed to belong to the realm of late-21st-century science fiction, the recent evolution in climate has given the issue current import, at the same time enabling us to make some early assessment of the relevance of the predictions. While, generally speaking, it remains tricky to distinguish the supposed impact of climate change from the effects of a large range of other factors, in fact it remains possible to observe effects on natural and farmed ecosystems, notably in relation to their phenology (for France : dates for the flowering of fruit trees, grape harvesting, sowing of sweet corn) but also, in some cases, to their productivity (forests). Such impact bears witness to the reality of a present-day climate significantly different from that of the 1940s-1970s and evidently undergoing change through the rise in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere.

Riassunto

Impatto del cambiamento climatico sugli ecosistemi naturali e coltivati

Il cambiamento climatico tale che è predetto per il secolo XXI°, avrà un impatto profondo sugli ecosistemi. Ha fatto l'oggetto di un grande numero di studi di cui si può trovare la sintesi nei rapporti del GIEC. Le proiezioni si appoggiano, in generale, su modellizzazioni del funzionamento ecologico dei coperti che congiungano l'effetto di un aumento del diossido di carbonio (susceptibile di accrescere la fotosintesi nel ordine di 30 %) alle modifiche legate direttamente a quelle dei fattori climatici dominanti, al primo posto dei quali la temperatura e la pluviometria. Bisognerà anche aspettarsi a un'evoluzione sensibile delle aree geografiche di colture o di adattamento

Se le proiezioni effettuate da una ventina d'anni parevano ancora, poco fa, rilevare dalla fantascienza per la fine del secolo XXI°, l'evoluzione recente del clima ne fa già una questione di attualità reale, mentre permette di ottenere una prima valutazione della pertinenza delle proiezioni. Pure essendo generalmente delicatissimo di isolare l'azione eventuale del riscaldamento globale da quella di un grande numero di fattori, è possibile osservare impatti sugli ecosistemi coltivati o naturali, in particolare al livello della loro fenologia (per la Francia, date di fioritura degli alberi da frutto, di vendemmia e di seminare del granturco) ma anche, in certi casi, della loro produttività (foreste). Attestano della realtà di un clima attuale significativamente differente di quello degli anni 1940-1970 e molto verosimilmente in corso di evoluzione sotto l'azione dell'aumento della concentrazione di gas ad effetto serra nell'atmosfera.

Vulnérabilité des arbres, des écosystèmes et des paysages méditerranéens aux changements climatiques

Résumé

par Serge RAMBAL

Le climat méditerranéen est caractérisé par ses étés secs et chauds. La faible réserve en eau des sols explique la productivité réduite de ses écosystèmes forestiers. Cette productivité est aussi limitée par le coût en carbone des mécanismes mis en œuvre par la végétation pour survivre à long terme dans un environnement imprévisible et contraignant : espèces à feuillage persistant, biomasse souterraine élevée.

Au début des programmes de recherche sur les changements globaux, l'analyse des séries climatiques et certains indicateurs biologiques ne laissaient pas une grande place au doute : «les changements climatiques étaient en marche». Cependant, les scénarios avaient des résolutions spatiales assez basses rendant problématique leur désagrégation aux échelles régionales ou locales, nos échelles de travail. L'amplitude des changements et l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes étaient incertains. Cependant, il convenait de s'atteler d'urgence à anticiper leurs effets. Pour cela, nous appliquions des scénarios «*what if*» à des modèles simulant le fonctionnement des écosystèmes ou des peuplements en négligeant, par exemple, les phénomènes d'acclimatation et en sous-estimant la complexité des chaînes trophiques dans les processus d'acquisition des nutriments.

Depuis cette date, nous disposons de scénarios climatiques méso-échelle de grande qualité qui confirment l'ampleur des changements attendus et situent le pourtour de la Méditerranée dans un des «*hot-*

Serge RAMBAL
DREAM - CEFE CNRS
Centre national
de la recherche
scientifique
BP 5051 34033
Montpellier Cedex
Mél : serge.rambal@
cefe.cnrs.fr



Photo 1 :

La tour de flux
de Puéchabon dans
l'Hérault. Elle permet de
mesurer les échanges
gazeux entre
l'écosystème et
l'atmosphère.

Photo DA

Photo 2 :

Le système d'exclusion
d'eau de pluie utilisé
dans la chênaie de
Puéchabon, pour étudier
les effets de la sécheresse
sur l'écosystème.

Photo DA



spots» mondiaux de ces changements (GIORGI 2006). En parallèle, nous observons le glissement des questions scientifiques initialement centrées sur la productivité, vers celles qui relèvent des notions d'«ecosystem services» ou de services rendus par les écosystèmes (voir EAMUS *et al.* 2005). Ce recentrage sur l'écosystème, la disponibilité de nouveaux outils de mesures (tour de flux par corrélations turbulentes), la dynamique européenne post-Kyoto autour des puits de carbone, nous montre clairement qu'il faut à la fois étudier le fonctionnement de l'arbre et

celui de l'écosystème. Par exemple, si les écosystèmes méditerranéens sont d'honorables puits de carbone, cette fixation a un coût élevé en terme de ressource en eau pour l'Homme.

Dans cet exposé, nous présenterons des résultats obtenus lors de la vague de chaleur de l'été 2003, année-type du réchauffement annoncé. Nous discuterons des mécanismes d'acclimations qui ont permis aux arbres et à l'écosystème de montrer une grande résilience. L'attente d'une année exceptionnelle, année qui pour l'écosystème est une perturbation majeure, ne peut nous dispenser d'analyser les mécanismes de fonctionnement de l'arbre et de l'écosystème face à des changements continus du climat. Ceci est particulièrement vrai pour l'aggravation des sécheresses estivales. Les ajustements progressifs des processus et des fonctions restent mal connus. La mise en place d'expérimentations en vraie grandeur et sur le long terme est la seule méthode qui vaille. C'était le sens du projet Mind de l'Union européenne «*Mediterranean Terrestrial Ecosystems and Increasing Drought Vulnerability Assessment* » et, à présent, c'est celui de l'ANR - Vulnérabilité Drought+. Nos premiers résultats mettent en évidence la complexité des interrelations, que cela soit au niveau de l'arbre qu'à celui de l'écosystème. Ils nous invitent à beaucoup de modestie dans nos conjectures. Le dernier aspect concernera ce que nous appelons les cofacteurs qui peuvent amplifier les effets des changements du climat. Ainsi, l'année 2003 a précédé deux années caractérisées par des attaques massives de *Lymantria dispar*. Y a-t-il un lien causal ? De même, le feu est un acteur majeur dans le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes méditerranéens. Le régime des feux est largement contrôlé par la sévérité des sécheresses. Nous montrons par un exercice de simulation, le rôle structurant des feux dans les paysages attendus en 2100.

S.R.

Références

- Eamus D. Macinnis-Ng C.M.O. Hose G.C. Zeppel M.J.B. Taylor D.T. Murray B.R. 2005. Turner review n°9 Ecosystem services: an ecophysiological examination. *Aust J. Bot.* 53: 1-19.
- Giorgi F. 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters* 33: L08707.

Forêt méditerranéenne et changement climatique : le regard du passé

par Jacques-Louis de BEAULIEU et Valérie ANDRIEU-PONEL

L'évolution du climat n'est pas chose nouvelle, s'affole-t-on pour rien ? C'est à cette question que Jacques-Louis de Beaulieu a répondu lors de la table ronde de notre Colloque de Marseille. Dans cet article, il propose une vision rétrospective des changements observés dans la région méditerranéenne. Pour le XXI^e siècle, même s'il existe une part d'incertitude, les scénarios climatiques restent pessimistes.

Introduction

Pour évaluer le changement climatique observé depuis quelques décennies aussi bien que les modèles qui prédisent un accroissement considérable des températures moyennes planétaires pendant le XXI^e siècle, un éclairage rétrospectif est indispensable. Il sera donc donné ici un bref rappel des conditions climatiques ayant déterminé la mise en place des écosystèmes forestiers méditerranéens, avec une attention particulière pour les derniers millénaires durant lesquels les déterminismes climatiques ont souvent été oblitérés par les perturbations de l'Homme.

Mise en place des écosystèmes méditerranéens au Néogène

Bien sûr, dans les temps géologiques, la terre a connu des climats beaucoup plus chauds qu'aujourd'hui, avec des taux de CO₂ considérablement plus élevés. Mais il faut se rappeler aussi qu'à cette échelle qui nous dépasse un peu, il y a eu des glaciations et des crises climatiques qui ont été chaque fois catastrophiques pour la biodiversité, mais suivies de nouveaux foisonnements de vie.

Mais, pour celui qui s'intéresse au devenir des écosystèmes actuels, il n'est pas nécessaire de remonter si loin. Ce qu'il faut savoir ici, c'est que le climat global s'est progressivement refroidi au cours du Tertiaire, depuis l'Eocène, il y a 50 millions d'années (Ma), pour des raisons qui tiennent à la dérive des continents. Le Tertiaire a été la période de la surrection des Alpes, de la fragmentation de l'ancienne Thétis et de la mise en place des contours actuels du bassin méditerranéen. Sur ses

rives, la flore était alors très majoritairement d'affinité tropicale, mais ces circonstances tectoniques et climatiques ont été à l'origine d'une forte différenciation floristique, avec installation progressive d'un mélange de taxons supportant des conditions encore chaudes et humides (*Tetraclinis*, *Crataegus*, *Taxodium*, *Sequoia*, *Myrica*, *Persea*, dont certains sont encore représentés dans la laurisylve macaronésienne), de taxons mésophiles (*Acer*, *Tilia*, *Platanus*, *Fraxinus*, *Celtis*, *Carpinus*, *Ulmus*, *Quercus*) et d'ancêtres d'arbres et arbustes méditerranéens (*Arbutus*, *Arctostaphylos*, *Juniperus*, *Rhus*) (MÉDUS et PONS, 1980 ; SUC *et al.*, 1995 ; FAUQUETTE *et al.*, 1998).

Il y a un peu moins de 6 Ma, c'est la crise d'aridité Messinienne : la Méditerranée se vide, avec certainement des bouleversements biologiques, cependant mal perçus par les paléontologues (SUC, 1984) ; il est tout de même vraisemblable que les vastes espaces sous le niveau actuel de la mer aient été suffisamment secs pour accueillir des formations ouvertes. En fait, selon l'équipe de J.-P. Suc, c'est seulement au cours du Pliocène, il y a 3,2 Ma, alors qu'un refroidissement sensible est enregistré dans les océans, que se met en place le climat méditerranéen, avec son aridité estivale et qu'on assiste au développement des plantes sclérophylles à feuilles persistantes adaptées au stress estival (*Phillyrea*, *Olea*, *Cistus*, *Quercus ilex*, *Pistacia*). Nos formations emblématiques des régions méditerranéenne ne sont donc pas apparues il y a bien longtemps !

Le Pléistocène

C'est il y a 1,77 Ma que commence l'ère quaternaire (ou Pléistocène) qui, outre l'émergence de l'Homme, est caractérisée par sa grande instabilité climatique marquée par l'alternance de périodes glaciaires extrêmement froides et d'interglaciaires au climat tempéré analogue à celui que nous connaissons actuellement. L'abaissement progressif des températures terrestres est largement lié à la tectonique des plaques : le déplacement vers le pôle Sud du continent antarctique a conduit, dès le Tertiaire, à une accumulation de glace sur ses montagnes, au refroidissement des mers périphériques et au transfert de ce froid sur l'ensemble du globe par la circulation thermohaline (le fameux « tapis roulant » océanique). C'est, en fait, dès la fin du

Pliocène, vers 2,8 Ma, que sont manifestes en région méditerranéenne les premiers cycles glaciaires, mis en évidence notamment par COMBOURIEUX-NEBOUT (1993) sur la séquence de Sémaforo en Calabre où la dynamique interglaciaire est caractérisée par la succession de forêts dominées d'abord par des chênes décidus, puis par des taxons tropicaux humides avec taxodiacées et *Catahya*, puis par des conifères de montagne (*Tsuga*, *Cedrus*, *Abies* et *Picea*) précédant l'expansion de steppes indicatrices d'une période glaciaire.

C'est seulement dans les années 1950 que les premières études sur les variations de concentration de l'oxygène 18 dans les longues carottes de sédiments accumulés de manière continue au fond des océans, ont démontré la multiplicité de ces alternances entre glaciaires et interglaciaires (EMILIANI, 1955). Les taux de ^{18}O reflètent, en effet, à la fois la quantité de glace accumulée sur les continents et la température de l'eau de mer.

Ces résultats ont conduit l'astronome André Berger (1977) à réhabiliter et à valider la « théorie astronomique des climats » proposée en 1930 par M. Milankovitch et jusqu'alors totalement ignorée. Selon cette théorie, les cycles climatiques dépendent des variations de l'insolation déterminées par trois variables du mouvement de la terre : l'excentricité de l'orbite, l'obliquité de la terre vis-à-vis de l'orbite et la précession des équinoxes. Il y a une parfaite corrélation entre les enregistrements climatiques passés et les variations d'insolation calculées par l'astronomie, ce qui, sauf perturbations, permet de prédire les changements climatiques futurs.

Et les continents ? Car ce qui nous intéresse au premier chef, c'est la réponse au changement climatique des écosystèmes dans lesquels nous vivons. Malheureusement, il est très difficile d'y trouver des archives sédimentaires couvrant de longues durées. En effet, les alternances de phases d'accumulation et d'érosion ne laissent le plus souvent que des séries tronquées. Ainsi, parmi les lacs et tourbières où nous cherchons nos grains de pollen (parmi d'autres restes), très exceptionnels sont ceux qui contiennent des archives plus vieilles que la fin de la dernière glaciation (trois cas en France). Au titre de ces exceptions, l'étude des remplissages des lacs de cratères du Velay a permis de reconstituer en continu l'histoire de la végétation et du climat depuis 450 000 ans (BEAULIEU et REILLE, 1995). Il n'existe en Europe qu'un seul enregistrement continental aussi long, celui de

Tenaghi Philippon, en Macédoine (WIJMSTRA 1969, TZEDAKIS *et al.*, 2003).

Ces travaux et l'étude de séquences plus courtes ont montré la grande complexité des changements au cours d'un cycle climatique. Il existe un très fort clivage entre le Pléistocène ancien (entre 1,77 Ma et 0,9 Ma) et la partie plus récente du Pléistocène. Le Pléistocène ancien se présente comme une période de transition avec le Pliocène, avec le maintien de nombreux éléments floristiques tropicaux et des glaciaires peu marqués et assez courts. Les cycles sont gouvernés par l'obliquité terrestre et durent environ 40 000 ans. Le site de Leffe, dans les préalpes piémontaises (RAVAZZI, 2003) en donne un bon exemple et témoigne de la persistance de formations à *Carya*, *Tsuga*, *Cedrus* et *Liquidambar*. C'est avec un épisode particulièrement froid, vers 900 Ka (milliers d'années), que se mettent en place les cycles de 100 Ka, gouvernés par l'excentricité de l'orbite terrestre. Désormais, les glaciaires seront réellement très froids aux latitudes moyennes. A Pianico Sellere, non loin de Leffe (MOSCARIELLO *et al.*) dès 800 Ka, un cycle interglaciaire du début du Pléistocène moyen présente les mêmes caractéristiques et les mêmes rythmes que ceux du dernier interglaciaire, avec une très faible contribution des taxons archaïques. De plus, les interglaciaires sont multiphasés, avec plusieurs coups de froid suivi de retour à des conditions tempérées avant que le système ne s'effondre avec l'entrée dans la glaciation suivante. Ce système en dents de scie a été retrouvé dans les carottes de glace de l'antarctique (CHEDDADI *et al.*, 2005). Et, de même, on sait maintenant que la dernière glaciation a été hachée, en Méditerranée comme ailleurs, par de nombreuses et fortes oscillations (événements de Heinrich, cycles de Dansgaard-Oeschger) (ALLEN *et al.*, 1999 ; CACHO *et al.*, 1999) dans une ambiance générale froide.

On sait que, en Europe moyenne, les cycles de végétation des vrais interglaciaires (les phases chaudes initiales après les glaciations, dont la durée est de 15 000 à 20 000 ans selon les cycles) passent tous par la même série de cinq étapes : une étape pionnière avec dominance de pins et de bouleaux, une étape d'optimum avec le développement de chênaies mixtes et feuillus tempérés comme le charme, puis expansion d'essences montagnardes, hêtre et sapins, puis développement d'essences adaptées à des climats plus froids, épicéa et pins, puis entrée en glaciation et disparition des forêts. En régions méditerranéennes

(TZEDAKIS *et al.*, 1997), cette dynamique est simplifiée, avec une ou deux phases d'optimum des sclérophylles (*Olea*, Chênes verts, *Pistacia*, *Phillyrea*), une permanence des chênaies décidues méditerranéennes incluant parfois *Carpinus orientalis/Ostrya carpinifolia* (indissociables par leurs pollens) et *Zelkova* (abondant en Italie au cours du dernier interglaciaire), et enfin un rôle tardif plus ou moins discret du hêtre et des sapins. Dans le sud de la France, il n'a pas été trouvé de site permettant de reconstituer les végétations pléistocènes, mais en Grèce et en Italie de nombreuses longues séquences ont permis de connaître ces périodes. MAGRI et TZEDAKIS (1999) ont montré que les périodes d'expansion des sclérophylles étaient dépendantes du cycle astronomique de la précession des équinoxes (cycles de 26 000 ans) et atteignaient leur optimum lorsque ce paramètre déterminait des périodes estivales particulièrement chaudes. Cette situation n'intervient que pendant une courte partie des interglaciaires, de sorte que dans la région méditerranéenne (au moins dans sa partie septentrionale) le succès des formations sclérophylles a été très limité dans le temps, y compris durant le présent interglaciaire.

Tardiglaciaire et Holocène

L'histoire de la végétation tardi- et postglaciaire est connue par de très nombreux enregistrements (données polliniques, mais aussi charbons de bois) qui mettent en évidence une grande diversité de réponses aux changements climatiques depuis la fin de la dernière glaciation. Pour entrer dans ces détails, on pourra se référer à une synthèse récente par BEAULIEU *et al.* (2005). Il faut aussi souligner le rôle de refuge des péninsules méditerranéennes, pendant les glaciaires, pour les taxons médioeuropéens mésophiles et montagnards. Cela, bien entendu, en a fait des « hotspots » de biodiversité (MÉDAIL et QUÉZEL, 1999 ; QUÉZEL et MÉDAIL, 2003) ; cela en a aussi fait le point de départ de la recolonisation forestière de l'Europe par ces taxons et particulièrement les essences forestières. Plusieurs synthèses s'appuyant sur les données rassemblées dans l'European Pollen Database¹ ont reconstitué les étapes de cette recolonisation pour les principales essences forestières (BREWER *et al.*, 2002, PETIT *et al.*, 2002 ; MAGRI *et al.*, 2006 ; CHEDDADI *et al.*, 2006 ; MULLER *et al.*, 2007).

1 - <http://www.europeanpollendatabase.net>

Le dernier glaciaire a été une période dominée par les formations steppiques en région méditerranéenne. L'Holocène, qui a débuté il y a environ 11 000 ans, est précédé par une période transitionnelle de premier réchauffement, dite tardiglaciaire, entre 15 000 et 12 000 ans avant le présent : aux plus basses latitudes (Grèce, sud de l'Italie et de l'Espagne), les chênes décidus commencent à constituer de véritables forêts, associés en Espagne à des pinèdes et des boisements en chênes verts. Au contraire, dans le sud de la France, ce sont des boisements pionniers en pins qui s'étendent, alors que l'expansion des chênes est à peine perceptible. Provence et Languedoc étaient trop loin des refuges, ou bien les refuges étaient trop exigus pour générer une dynamique forestière, ou bien encore l'amélioration climatique n'avait pas atteint à ces latitudes un seuil permettant l'expansion des taxons thermophiles.

Après l'ultime mais très sévère coup de froid du Dryas récent, le climat se réchauffe très brutalement il y a 11 000 ans ; peu après, et jusqu'à - 6 000 ans nous avons connu un optimum climatique dont la première partie, entre - 10 000 et - 8 000, a été favorable au climat méditerranéen ; mais l'expansion des feuillus mésophiles masque les potentialités des xérophiles. La deuxième partie a connu un climat chaud plus humide, avec des températures moyennes annuelles supérieures d'environ 1° C à celles des années soixante. Ce climat humide a favorisé l'expansion du sapin dans nos montagnes méditerranéennes ; en Provence il est descendu dans l'étage collinéen et en Ligurie jusqu'au bord de la mer, ce qui suggère que les potentialités des sapinières méditerranéennes ne sont pas exprimées dans leur distribution actuelle, très probablement du fait de l'action de l'Homme.

Il y a environ 6000 ans, l'ensoleillement a commencé à diminuer sous nos latitudes et, au nord de la Méditerranée, on assiste au développement progressif de la chênaie verte et de formations sclérophylles. Ce phénomène a fait l'objet d'un débat acharné entre ceux qui l'ont interprété comme le témoignage d'une aridification du climat (JALUT *et al.*, 1999) et ceux qui ont considéré que c'est la révolution néolithique et ses défrichements qui ont détruit les chênaies à chênes pubescents préexistantes et favorisé les sclérophylles (PONS et QUÉZEL, 1985, 1998). Des travaux portant sur des marqueurs climatiques indépendants de l'action de l'Homme, comme les variations des niveaux des lacs

(DIGERFELD *et al.*, 1997 ; MAGNY *et al.* 2007), ont confirmé la flexure vers un assèchement, qui s'achève vers - 3 000 avec une phase plus humide qui va durer jusqu'à l'époque romaine. Mais il n'en demeure pas moins que l'Homme a aussi joué un rôle majeur dans la dynamique de mise en place des écosystèmes méditerranéens. Les phénomènes érosifs associés, bien identifiés en Provence (JORDA, 1985 ; PROVENÇAL, 1995 ; MAGNY *et al.*, 2002), qu'ils soient déterminés par le changement du régime climatique ou par les déforestations, sont une cause d'accroissement de l'aridité physiologique favorable aux plantes supportant la sécheresse.

A l'échelle de l'Holocène, on voit donc que bien d'autres facteurs que les simples paramètres orbitaux modulent le changement climatique. Michel MAGNY (1993) en France et d'autres dans le monde ont montré le rôle des variations du flux de chaleur provenant du soleil et l'on sait qu'il y a d'autres facteurs aléatoires, comme les émissions de cendres volcaniques, qui peuvent perturber un système climatique terrestre dont la complexité du fonctionnement ne peut être évoquée ici (distribution de la chaleur par les courants océaniques et aériens, rôle de l'albédo, effets de feed-back variés).

En conclusion, voici quelques leçons du passé pouvant éclairer le débat actuel sur l'importance du réchauffement annoncé et ses conséquences sur les écosystèmes méditerranéens :

1.- En termes de forçage astronomique nous sommes indiscutablement programmés pour l'entrée dans la prochaine glaciation. C'est d'ailleurs sur ce thème que les premiers programmes sur le « Past Global Change » ont été lancés. Mais André Berger a calculé que le réchauffement dû à l'accroissement du CO₂ atmosphérique risquait de faire reculer cet événement d'une trentaine de milliers d'années. C'est plutôt une bonne nouvelle, car un glaciaire conduirait irrémédiablement à une réduction de la biomasse disponible ne permettant certainement pas d'assurer la survie d'une population humaine égale ou supérieure aux 7 milliards actuels !

2.- Il ne faut pas faire remonter à l'ère industrielle l'accroissement par l'Homme du CO₂ atmosphérique. Depuis le néolithique, l'Homme a non seulement bouleversé les écosystèmes, mais ses défrichements ont déjà envoyé du carbone dans l'atmosphère (CARCALLET *et al.*, 2002) et modifié l'albédo.

3.- Les données des paléocéologues ont été utilisées par les modélisateurs du climat pour forcer ou valider leurs modèles prédictifs. Ces modèles sont très alarmistes pour nos régions méditerranéennes et annoncent un accroissement de la sécheresse. Une telle tendance est déjà observée en Afrique du Nord pour les derniers 30 ans. Cependant, il y a encore beaucoup de contradictions entre les différents modèles climatiques existants et, ce que nous annoncent les modélisateurs, comporte une large part d'incertitude, plus particulièrement en ce qui concerne le caractère des précipitations et la saisonnalité. La seule façon d'avancer est une remise en chantier permanente de ces modèles en les nourrissant notamment, pour ce qui nous concerne, par un flux d'informations paléoenvironnementales de plus en plus précises et mieux datées. Mais si l'aridité s'accroît dans le sud de l'Europe, il faut dès maintenant s'y préparer en termes de gestion de la ressource en eau et, pour les forestiers et les agronomes, en sélectionnant des souches résistantes à la sécheresse et en acceptant l'idée que nos paysages seront bouleversés par un réchauffement qu'il faut accompagner si l'action internationale ne parvient à le mitiger.

4.- Il est en tout cas certain que l'Homme a durablement perturbé le système climatique et la seule attitude raisonnable est le principe de précaution : par tous les moyens éviter de polluer davantage l'atmosphère.

5.- Cette remise en question doit aussi nous conduire à réfléchir sur la façon dont nous avons, en seulement un siècle et demi, dilapidé une bonne partie des énergies renouvelables de la planète et nous obliger à changer nos modes de consommation, c'est-à-dire notre conception de la vie.

J.-L.B., V.A.-P.

Bibliographie

- Allen J.R.M., and 14 authors. Rapid environmental changes in southern Europe during the last glacial period. *Nature*, 400, 740-743(1999).
- Beaulieu J.-L. de, Miras Y., Andrieu-Ponel V., Guiter F., Vegetation dynamics in the North-West Mediterranean regions: instability of the Mediterranean bioclimate. *Plant Biosystems*, 139, 114-126 (2005).
- Beaulieu J.-L. de, Reille M., 1995. Pollen records from the Velay craters: a review and correlation of the Holsteinian Interglacial with isotopic stage 11. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* 52, 59-70 (1995).
- Beaulieu J.-L. de, Tzedakis P.C., Andrieu-Ponel V., Guiter F., Pollen records, Late Pleistocene, Southern Europe in *Encyclopedia of Quaternary Sciences*, Elias S. Edit, 2660-2668 (2007).
- Berger A., Support for the astronomical theory of climate changes. *Nature*, 268: 44-45 (1977).
- Brewer S., Cheddadi R., Beaulieu J.-L., Reille M., Data contributors, The spread of deciduous *Quercus* throughout Europe since the last glacial period. *Forest Ecology and Management*, 156, 27-48 (2002).
- Cacho I., Grimalt J.O., Pelejero C., Canals M., Siero F.J., Flores J.A., and Shackleton N., Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in Alboran Sea paleotemperatures. *Paleoceanography*, 14: 698-705(1999).
- Carcaillet C., Almquist H., Asnong H., Bradshaw R.H.W., Carrión J.S., Gaillard M.-J., Gajewski K., Haas J.N., Haberle S.G., Hadorn P., Müller S.D., Richard P.J.H., Richoz I., Rösch M., Sánchez Goñi M.F., von Stedingk H., Stevenson A.C., Talon B., Tardy C., Tinner W., Tryterud E., Wick L. & Willis K.J., Holocene biomass burning and global dynamics of the carbon cycle. *Chemosphere* 49, 845-863 (2002).
- Cheddadi R., Beaulieu, J.-L. de, Jouzel J., Andrieu-Ponel V., Laurent J.-M., Reille M., Raynaud D., Bar-Hen A., Similarity of vegetation dynamics during interglacial periods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 39, 13939-13943 (2005).
- Cheddadi R., Vendramin G.G., Litt T., François L., Kageyama M., Lorentz S. Laurent J.-M., Beaulieu J.-L. de, Sadori L., Jost A. & Lunt D., Imprint of glacial refugia in the modern genetic diversity of *Pinus sylvestris*. *Global Ecology & Biogeography*, 15(3), 271-282 (2006).
- Combourieu-Nebout N., Vegetation Response to Upper Pliocene Glacial/Interglacial Cyclicity in the Central Mediterranean. *Quaternary Research* 40: 228-236 (1993).
- Emiliani C., Pleistocene temperatures, *Jour. Geology*, 63 538-578 (1955).
- Fauquette S, Suc JP, Guiot J, Diniz F, Feddi N, Zheng Z, Bessais E, Drivaliari A., Végétation et climat en Méditerranée occidentale au Pliocène basal (5.32-5 Ma) d'après les données polliniques. *Ecologia Mediterranea* 24(1) : 89-100 (1998).
- Digerfeldt G., de Beaulieu J.-L., Guiot J., Mouchon J., Reconstruction and paleoclimatic interpretation of Holocene lake-level changes in Lac de Saint-Leger, Haute Provence, southeast France. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 136, 231-258(1997).
- Jalut G, Esteban Amat A, Bonnet L, Gauquelin T, Fontugne M., Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 160: 255-290 (2000).
- Jorda M., La torrentialité holocène des Alpes françaises du Sud. Facteurs anthropiques et paramètres naturels de son évolution. *Cah Ligur Préhist Protohist* 2 : 11-28 (1985).
- Magny M., Beaulieu J.-L. de, Drescher-Schneider R., Vannière B., Walter-Simonnet A.-V., Miras Y., Millet L., Bossuet G., Peyron O., Brugiapaglia E., Leroux A., Holocene climate changes in the central Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lake Accesa (Tuscany, Italy), *Quaternary Science Review*, 26 (13-14), 1736-1758 (2007).
- Magny M., Solar influences on Holocene climatic changes illustrated by correlations between past lake-level fluctuations and the atmospheric 14 C record. *Quaternary research*, 40 (1993).
- Magny M., Miramont M., Sivan O., Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186: 47-59. 2002.
- Magri D, Tzedakis PC., Orbital signature and long-term vegetation patterns in the Mediterranean. *Quaternary International* 73/74: 69-78 (2000).
- Magri D., Vendramin G.G., Comps B., Dupanloup I., Geburek T., Gömöry D., Latalowa M., Litt T., Paule L., Roure J.M., Tantau I., Knaap W.O. van der, Petit R. J., Beaulieu J.-L. de, A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical

Jacques-Louis
de BEAULIEU
Valérie
ANDRIEU-PONEL
IMEP
UMR CNRS 6116
Université
Paul Cézanne
Europôle de l'Arbois
B.P. 80 13545
Aix-en Provence

- evidence and genetic consequences. *New Phytologist*, 171(1), 199-221 (2006).
- Médail F., Quézel P., Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. *Conserv Biol* 13: 1510-1513 (1999).
- Milankovitch M., Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. In Köpper W., Geiger R (Eds) *Handbuch der Klimatologie*, 1a. Gebrüder Borntraeger, Berlin: 1-176 (1930).
- Médus J., Pons A., Les prédécesseurs des végétaux méditerranéens actuels jusqu'au début du Miocène. In Denizot M., Sauvage C (Eds) *La mise en place, l'évolution et la caractérisation de la flore et de la végétation circumméditerranéennes*. *Naturalia Monspelienis*, HS, : 11-20 (1980).
- Moscariello A., Ravazzi C., Brauer A., Mangili C., Chiesa S., Rossi S., Beaulieu J.-L. de, Reille M. A long lacustrine record from the Piànico-Sèllere Basin (Middle-Late Pleistocene, Northern Italy). *Quaternary International* 73/74 47-68 (2000).
- Muller S.D., Nakagawa T., de Beaulieu J.-L., et al., Post-glacial migration of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the south-western Alps. *Journal of Biogeography*, 34 (5), 876-899 (2007).
- Pons A., Quézel P. The history of flora and vegetation and past and present human disturbances in the Mediterranean region. In Gomez-Campo C (Ed.) *Plant conservation in the Mediterranean area*. Dr W. Junk Publishers, Dordrecht: 25-43 (1985).
- Pons A., Quézel P., A propos de la mise en place du climat méditerranéen. *CR Acad Sci Paris* 327 : 755-760 (1998).
- Petit R.J., Brewer S., Bordács S., Burg K., Cheddadi R., Coart E., Cottrell J., Csaikl U.M., van Dam B., Deans J.D., Fineschi S., Finkeldey R., Glaz I., Goicoechea P.G., Jensen J.S., König A.O., Lowe A.J., Madsen S.F., Matyas G., Munro R.C., Popescu F., Slade D., Tabbener H., de Vries S.G.M., Ziegenhagen B., Beaulieu J.-L. de, Kremer A., Identification of refugia and post-glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest Ecology and Management*, 156, 49-74 (2002).
- Provansal M., The role of climate in landscape morphogenesis since the Bronze Age in Provence, southeastern France. *The Holocene* 5 (3): 348-353 (1995).
- Quézel P., Médail F., *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier : 571 p. (2003).
- Ravazzi C. Gli antichi bacini lacustri e i fossili di Leffe, Ranica e Pianico-Sèllere (Prealpi Lombarde). *CNR Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria & Quaderni della Comunità Montana Valle Seriana* (Eds.): 176 p. (2003).
- Suc J.P., Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe. *Nature* 307 (5950): 429-432 (1984).
- Suc J.-P., Bertini A., Combourieu-Nebout N., Diniz F., Leroy S., Russo-Ermolli F., Zheng Z., Bessais E. and Ferrier J., Structure of West Mediterranean vegetation and climate since 5.3 Ma. *Acta Zoologica Cracoviense* 38: 3-16(1995).
- Tzedakis P.C., Vegetation change through glacial-interglacial cycles: a long pollen sequence perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 345: 403-432. (1994).
- Tzedakis P.C., Andrieu V., de Beaulieu J.-L., Crowhurst S., Follieri M., Hooghiemstra H., Magri D., Reille M., Sadori L., Shackleton N.J. and Wijmstra T.A., Comparison of terrestrial and marine records of changing climate of the last 500,000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 150: 171-176. (1997)
- Tzedakis P.C., McManus P.C., Hooghiemstra H., Oppo D. W. and Wijmstra T.A., Comparison of changes in vegetation in northeast Greece with records of climate variability on orbital and suborbital frequencies over the last 450,000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 21: 197-212. (2003)
- Wijmstra T.A., Palynology of the first 30 metres of a 120 m deep section in northern Greece. *Acta Botanica Neerlandica*, 18: 511-527(1969).

Résumé

Pour mettre en situation les changements observés dans les régions méditerranéennes depuis trois décennies et ceux attendus pour le XXI^e siècle, une vision rétrospective est proposée. L'histoire de la mise en place des écosystèmes méditerranéens à la fin du Tertiaire et de leurs fluctuations au Pléistocène et durant l'Holocène est esquissée. Il est montré que, dans l'actuel domaine sub-humide, les phases d'expansion des formations sclérophylles emblématiques des paysages méditerranéens ont été courtes au cours des différents interglaciaires. En Provence, leur développement depuis 5000 ans est corrélé à la fois avec une flexure climatique et avec des perturbations par l'Homme. Les scénarios climatiques pour le XXI^e siècle sont très pessimistes ; même s'ils comportent encore une part d'incertitude, il faut envisager de profonds bouleversements des formations végétales méditerranéennes et développer dès maintenant des stratégies d'accompagnement.

Summary

Mediterranean forests and climate change : some historic background

A retrospective overview may be useful for a better understanding of the changes observed over the last 30 years in the Mediterranean regions and those predicted for the 21st century. The article summarises the main features of the Mediterranean ecosystems formed during the late Tertiary era and their fluctuations during the Pleistocene and the Holocene. It appears that in the present sub-humid zones, during the successive interglacial periods, intervals favouring an expansion of the classic sclerophyllous Mediterranean vegetation were rather short. In Southern France, the success of such plant cover during the last five millennia of the Holocene is due in part to climate change and in part to human disturbances. For the 21st century a dramatic warming and drying of the Mediterranean regions is expected. Even if such a scenario contains a degree of uncertainty, we must anticipate major changes in Mediterranean ecosystems and develop as soon as possible effective strategy for remediation.

Impacts du changement climatique sur les insectes ravageurs des forêts méditerranéennes

par Jean-Noël CANDAU

Outre les effets directs du changement climatique sur les peuplements forestiers, on peut dès à présent constater des effets indirects dus aux modifications des dégâts occasionnés par les insectes phytophages. Quels sont les impacts de ces derniers sur les peuplements ? Quels en seront les conséquences ? L'auteur nous présente ici l'état des connaissances à ce jour sur cette question.

Introduction

Les scénarios de changement climatique prédisent que les régions méditerranéennes connaîtront dans les prochaines décennies, des températures estivales plus élevées, des précipitations moindres ainsi que des épisodes de sécheresse plus fréquents et plus intenses (CHRISTENSEN *et al.* 2007). Ces changements affecteront très probablement directement les écosystèmes forestiers méditerranéens déjà soumis à des conditions écologiques (climat, sols, fréquence des feux) peu propices. Ils agiront aussi et, peut-être surtout, indirectement à travers des modifications de l'intensité et de la fréquence des dégâts causés par les insectes phytophages. La forêt méditerranéenne est en effet soumise aux attaques de nombreux insectes ravageurs : défoliateurs (chenilles de lépidoptères), suceurs de sève (pucerons, cochenilles), xylophages (scolytes, longicornes, charançons), ravageurs des fruits et des graines. Les dommages causés par leurs pullulations peuvent prendre des formes variées : pertes de production de bois ou de semences, défaut de croissance dépréciant la valeur marchande des grumes, suppression de la fructification entraînant une réduction de la capacité à régénérer naturellement. Ces dégâts, lorsqu'ils se produisent seuls, conduisent rarement à des dépérissements massifs. Le cas de la Cochenille *Matsucoccus feytaudi*, responsable du dépérissement du pin maritime dans les massifs des Maures et de l'Estérel représente, en ce sens, un événement exceptionnel (SCHVESTER 1981). Cependant, les arbres affaiblis par les dommages causés par les insectes deviennent moins résistants aux stress climatiques et à l'établissement d'autres insectes ravageurs, dits « secondaires », lesquels ont fréquemment des impacts beaucoup plus importants sur la mortalité.

Par leur cycle de vie court, leur taux de reproduction élevé et leur capacité de dispersion, les insectes ont la faculté de réagir rapidement au changement climatique et d'affecter ainsi considérablement les capacités d'acclimatation et d'adaptation des écosystèmes forestiers. Actuellement, les hypothèses de réponse de leurs populations au changement climatique sont essentiellement basées sur des inférences à partir de connaissances acquises sur les effets de la température sur ces organismes. Ces connaissances proviennent de plusieurs sources : manipulations de température en laboratoire, utilisation de gradients environnementaux comme analogues du changement climatique, étude de la synchronie entre hôte et parasite, étude de corrélations entre la distribution géographique d'une espèce et les variables climatiques, dévelop-

Photo 1 (ci-contre) :

Nid d'hiver de *T. pityocampa*. La survie hivernale des larves est liée à la température.



Photo 2 (ci-dessous) :

Chez la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, on constate une croissance plus rapide des premiers stades larvaires sous l'effet d'une augmentation des températures.

Ici, jeunes chenilles venant d'éclore
Photos Guy Démolin



pement de modèles climatiques. La vaste majorité de ces études prédisent que le changement climatique aura des impacts importants sur les populations d'insectes. Le nombre croissant d'observations de modifications récentes de traits d'histoire de vie, de dynamiques des populations, et de distributions géographiques de nombreuses espèces d'insectes ravageurs semble confirmer ces prédictions et indiquer que ces espèces réagissent déjà à des changements environnementaux.

Dans cet article, nous évoquerons essentiellement les impacts potentiels des modifications des régimes de température liés au changement climatique. La température est la variable pour laquelle les prédictions sont les plus fiables et dont l'impact sur les insectes a été le plus étudié. Il est cependant important de reconnaître que des modifications dans le régime d'autres facteurs climatiques tels que les précipitations, les chutes de neige, l'humidité, le vent et l'ensoleillement, de même que dans la composition chimique de l'atmosphère (comme la concentration en CO₂), pourront avoir des conséquences importantes pour les insectes. Par ailleurs, même si ces variables restent dans leurs limites historiques, leurs interactions pourront être modifiées et créer des conditions environnementales inédites. En général, les populations d'insectes seront affectées par le changement climatique à la fois directement à travers des modifications des différents processus vitaux intrinsèques à chaque espèce, et indirectement à travers leurs interactions avec d'autres composantes biotiques et abiotiques de leur environnement.

Effets directs du changement climatique sur les insectes ravageurs

Le changement climatique a des effets potentiels sur l'ensemble des paramètres individuels et populationnels des insectes. Ces effets pourront varier en fonction de l'espèce et de son habitat. On estime généralement qu'ils seront plus prononcés dans les régions polaires que dans les régions tempérées ou tropicales, pour les insectes vivant au dessus du sol que ceux vivant dans le sol,

et pour ceux qui passent l'hiver dans une phase active plutôt qu'à l'état d'œuf ou de larve diapausante. En général, dans les endroits où les insectes sont en dessous de leur optimum climatique, une augmentation de la température se traduira par une croissance plus rapide, une meilleure survie, une fécondité plus importante et une augmentation de l'activité et du mouvement.

Développement

La vitesse à laquelle les insectes se développent et passent d'un stade de leur cycle de vie au suivant est largement dépendante de la température de leur micro-environnement. A chaque stade, le développement est soumis à des températures limites minimale et maximale. Cette relation entre la vitesse de développement et la température, caractéristique des animaux à « sang froid », est un des mécanismes les plus sensibles par lequel le changement climatique pourra agir sur ces organismes. Généralement, les espèces dont le développement répond rapidement à une augmentation de la température seront favorisées. Un changement dans la vitesse de développement pourra à son tour avoir des effets sur divers traits d'histoire de vie tels que la phénologie, la survie ou la fécondité. Chez la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, une croissance plus rapide des premiers stades larvaires sous l'effet d'une augmentation des températures, permet d'atteindre un stade de développement plus avancé avant la période hivernale et d'accroître ainsi la survie durant cette période (BATTISTI *et al.* 2005). Par ailleurs, la survie hivernale des larves est liée à la température, celle-ci ayant un effet direct sur la fréquence des phases d'alimentation et les risques d'exposition aux températures létales. Ainsi, dans les Alpes italiennes, l'augmentation des températures moyennes hivernales durant les dernières décennies a permis d'accroître la survie des larves dans les zones d'expansion de cet insecte et donc l'installation durable des populations migrantes (BATTISTI *et al.* 2005). L'augmentation des températures peut aussi avoir des effets négatifs, les espèces adaptées à des environnements froids et les espèces dont la vitesse de développement est peu sensible à la température pourront être soumises à des températures trop élevées durant la phase la plus sensible de leur cycle de vie et subir ainsi des effets adverses, en

particulier en bordure méridionale de leur aire de distribution. Par ailleurs, l'accroissement de la durée et de la sévérité des sécheresses estivales prédit par les scénarios de changement climatique pourrait aussi avoir des effets négatifs sur les populations d'insectes. Ceux-ci ont souvent, durant cette période, une phase de latence qui leur permet d'éviter à la fois les trop fortes chaleurs et le manque de nourriture. Cependant, cette phase de latence est souvent soumise à une forte pression de prédation et de parasitisme. L'allongement de cette période pourrait donc avoir des effets notables sur la mortalité.

Voltinisme

Le changement climatique affectera probablement différemment les espèces univoltines (une seule génération possible par an) et plurivoltines (plusieurs générations possibles par an). Chez les espèces plurivoltines, l'accélération du développement pourra se traduire par une augmentation du nombre de générations. L'apparition d'une ou plusieurs générations supplémentaires pourra alors avoir des conséquences importantes sur la dynamique des populations puisqu'elle permet une augmentation exponentielle des effectifs (même si la complexité des interactions trophiques ne permet pas de prédire avec certitude que les populations augmenteront nécessairement à la même vitesse). Durant la vague de chaleur de 2003, il a été observé que les scolytes tels que le typographe, *Ips typographus*, et le curvidenté, *Pityokteines curvidens*, ont réalisé une génération supplémentaire conduisant à des dégâts importants (NAGELEISEN 2004 ; OFEFP 2005). D'autres espèces nécessitent plusieurs années pour accomplir leur cycle de vie. C'est le cas d'un défoliateur de l'épicéa, *Cephalcia avensis*, qui semble être



Photo 3 :
Deux insectes adultes
de Sténographe
(*Ips sexdentatus*)
espèce sous-corticale
des pins
(longueur : 8 mm)
Photo DSF Sud-Est

passé d'un cycle de développement pluri-annuel à un cycle annuel entre 1985 et 1992, période durant laquelle le climat anormalement chaud et sec a accéléré le développement et augmenté la survie des larves. Le passage à un cycle annuel s'est, là aussi, traduit par des pullulations et des dégâts importants (BATTISTI *et al.* 2000).

Phénologie

Les cycles de vie de la vaste majorité des organismes terrestres sont influencés à des degrés variables par les températures. Il n'est donc pas étonnant que des signes de modification de la phénologie de nombreuses espèces de plantes et d'animaux soient observés à travers le monde à la suite du réchauffement des dernières décennies (PARMESAN & YOHE 2003). En Espagne, la phénologie de nombreuses espèces d'insectes et leurs plantes hôtes a été suivie régulièrement depuis le milieu du XX^e siècle. Ces observations montrent un avancement progressif des dates d'apparition printanière de plusieurs espèces de papillons depuis les années 1970 (GORDO & SANZ 2005 ; PENUELAS *et al.* 2002 ; STEFANESCU *et al.* 2003). Suivant les espèces, le décalage phénologique atteint de 1 à 5 semaines. Les individus sont aussi plus actifs et la période de vol est plus longue. Durant la même période, l'Espagne a connu une augmentation de la température moyenne annuelle de 1°C ; les températures qui étaient enregistrées au 1^{er} avril sont maintenant enregistrées au 1^{er} mars (PENUELAS *et al.* 2002).

Dispersion

Chez la vaste majorité des espèces d'insectes, le mouvement, qu'il soit à courte ou à longue distance est affecté par les températures. L'activité de vol en particulier est généralement limitée par des températures minimales et maximales. Le changement climatique pourrait avancer, en début de saison, la date à laquelle les températures dépassent les températures minimales et avancer ainsi les dates de migration. En revanche, durant la période la plus chaude de l'année, les températures pourraient être plus souvent au dessus des limites maximales et ainsi limiter les déplacements. Chez la processionnaire du pin, l'activité de vol, essentiellement nocturne, ne peut s'effectuer

qu'au dessus d'une température minimale estimée à 14°C. La dispersion des insectes au cours d'une saison est donc fortement liée au nombre de nuit pendant lesquelles la température atteint ou dépasse cette limite. Au cours des dernières décennies, le nombre de nuits favorables au vol des insectes au cours de l'été a augmenté, permettant la progression de la distribution de cet insecte en altitude et en latitude (BATTISTI *et al.* 2005). Par ailleurs, durant la vague de chaleur de 2003, des conditions de température nocturnes particulièrement favorables à la dispersion de la processionnaire ont conduit à une expansion rapide des populations (BATTISTI *et al.* 2006). En revanche, la même année, les températures estivales exceptionnellement élevées ont pu limiter le vol des scolytes (ROUAULT *et al.* 2006).

Effets indirects

Les effets directs de l'élévation des températures sur la dynamique des populations d'insectes seront très probablement largement modulés par des effets indirects liés à des modifications des interactions avec d'autres espèces à l'intérieur d'un même niveau ou entre niveaux trophiques.

Relations plante-insecte

Pour beaucoup d'espèces d'insectes phytophages, le changement climatique pourrait avoir des effets majeurs à travers des modifications de la synchronie entre le ravageur et son hôte. En effet, chez la plupart des espèces de ravageur, le développement doit être synchronisé avec la phénologie de l'hôte pour permettre l'accès à une alimentation, un refuge ou un lieu d'oviposition qui assurera un développement, une survie ou une reproduction optimale. Les signaux qui gouvernent la phénologie de l'insecte et de son hôte sont souvent liés à des combinaisons complexes d'alternances de périodes de hautes et basses températures et de modifications de la photopériode. Ces combinaisons, propres à chaque espèce, se sont développées en parallèle au cours de l'évolution. Cependant, la vitesse du changement climatique prédite par les modèles est telle que l'évolution des phénologies pourrait ne pas se poursuivre en parallèle. On assisterait alors

à leur découplage progressif. Il existe à ce jour relativement peu d'études qui permettent de tester cette hypothèse. Certaines semblent cependant indiquer une tendance dans ce sens. Ainsi, en Espagne, les suivis de phénologie d'insectes et de leurs plantes hôtes réalisés depuis le milieu du XX^e siècle montrent que l'avancement progressif de la phénologie des insectes depuis les années 1970 a été plus rapide que celle des plantes (GORDO & SANZ 2005). Dans la majorité des cas, une asynchronie entre le ravageur et son hôte aura des effets négatifs sur celui-ci. Chez la tordeuse grise du mélèze, les populations ont chuté dramatiquement dans les Alpes depuis 1989, probablement du fait d'une moins bonne synchronisation entre le développement de l'insecte et celui de son hôte après plusieurs années successives durant lesquelles les températures ont été anormalement élevées (BATTISTI 2004). Certaines espèces de ravageurs seront moins sensibles à un risque de découplage avec la phénologie de leur hôte parce qu'ils pourront mieux suivre son évolution ou exploiter plusieurs stades phénologiques de leur hôte. C'est le cas de la processionnaire du pin dont les larves peuvent se nourrir sur des aiguilles âgées si les jeunes aiguilles ne sont pas encore développées (BATTISTI *et al.* 2005).

Les interactions plantes-insectes pourront aussi être affectées par l'augmentation de la concentration du CO₂ atmosphérique. Le doublement de la concentration en CO₂ prédite par les scénarios de changement climatique ne devrait pas avoir d'effet direct notable sur les insectes, car ceux-ci sont connus pour tolérer des concentrations en CO₂ bien supérieures. Les effets sur la végétation pourront, par contre, être variés et entraîner des modifications importantes des caractéristiques nutritionnelles des plantes. L'augmentation du CO₂ pourra accroître la photosynthèse (à condition qu'elle ne soit pas limitée par d'autres facteurs tels que la température et la disponibilité en eau) et augmenter le rapport carbone/azote dans les tissus des végétaux. Pour les insectes, la diminution relative de la concentration d'azote dans leur alimentation pourra se traduire par un ralentissement de la croissance larvaire, une diminution de la fécondité et une augmentation de la mortalité. Certains insectes pourront compenser la dégradation de la qualité nutritionnelle de leur alimentation en augmentant leur consommation. Ceci pourrait entraîner plus de dégâts, mais

l'accélération de la photosynthèse pourra aussi accroître le potentiel de production de métabolites secondaires souvent reconnus comme des mécanismes de défense des végétaux. Globalement, les effets de l'augmentation du CO₂ sur les populations d'insectes ravageurs sont encore difficiles à prédire, car ils dépendent de nombreux facteurs liés à chaque espèce d'hôte et à des interactions complexes avec d'autres facteurs environnementaux.

Relations hôte-parasite

Le changement climatique pourrait aussi agir sur les interactions entre les insectes ravageurs et leurs parasites (pathogènes, parasitoïdes et prédateurs). En particulier, l'effet différentiel d'une hausse des températures sur la phénologie, le comportement, ou la mortalité du ravageur et de son parasite pourrait avoir des conséquences majeures sur la dynamique de leurs populations. Compte tenu de l'importance des ennemis naturels dans la régulation des populations de ravageurs, le découplage d'une interaction par désynchronisation phénologique, disparition de l'espèce parasite ou migration du ravageur, pourrait alors soustraire le ravageur du contrôle de son parasite et augmenter ainsi la fréquence et la sévérité des pullulations. Les interactions hôte/parasite pourraient être affectées non seulement par des modifications des moyennes climatiques, mais aussi par l'augmentation des variations



Photo 4 :
Chenilles
de processionnaire
(*T. processionnae*)
en cours d'alimentation.
Photo Guy Démolin

autour de ces moyennes. Ainsi, la comparaison des interactions chenilles/parasitoïdes sur un gradient de variabilité climatique suggère que la variabilité du climat semble limiter la capacité des parasitoïdes à suivre les fluctuations des populations d'hôtes (STIREMAN *et al.* 2005).

Impacts des événements extrêmes

On insiste généralement sur l'évolution des valeurs moyennes des différentes variables climatiques, mais il est fort probable que les événements extrêmes auront aussi un rôle important dans l'évolution des écosystèmes. Dans les régions méditerranéennes, les scénarios de changement climatique prévoient une augmentation de la fréquence et de la sévérité des sécheresses et des vagues de chaleur (SHEFFIELD & WOOD 2008). L'impact de ces événements sur les populations d'insectes ravageurs est difficile à prédire. Cependant, les observations faites à la suite de la sécheresse et de la canicule exceptionnelles qu'a connues l'Europe occidentale et centrale en 2003, permettent de dresser quelques hypothèses (ROUAULT *et al.* 2006). L'impact du stress hydrique et des fortes chaleurs semble avoir été différent selon la guilda considérée. Les xylophages tels que le typographe, *Ips typographus*, et le curvidenté, *Pityokteines curvidens*, ont été généralement favorisés et les dégâts causés par ces insectes ont atteint des records dans plusieurs pays européens. Chez ces insectes, les températures printanières anormalement élevées ont permis le développement d'une génération supplémentaire et le stress hydrique prolongé a diminué la résistance des hôtes. Les impacts sur les espèces défoliatrices ont été plus contrastés : alors que les populations de processionnaire du pin ont généralement enregistré un accroissement de la mortalité des œufs et des larves, celles du bombyx disparate (*Lymantria dispar*) ne semblent pas avoir été affectées, tandis que la tordeuse verte (*Tortrix viridana*) semble avoir bénéficié des températures élevées au début du printemps. L'évènement climatique de 2003 a aussi mis en évidence l'importance des interactions entre perturbations, la sécheresse apparaissant comme révélatrice et amplificatrice des effets des ravageurs en diminuant la résistance de leurs hôtes.

Photos 5 et 6 :
Chenille de *Lymantria dispar* sur chêne vert et son prédateur, (en bas) le coléoptère *Calosoma sycophanta*
Photos Guy Démolin

Impacts potentiels à l'échelle des écosystèmes forestiers

Directement ou indirectement, les impacts du changement climatique sur les insectes ravageurs pourront affecter de nombreuses interactions inter-spécifiques et avoir des répercussions à l'échelle des écosystèmes. Il est donc aussi utile de considérer les impacts potentiels à cette échelle. L'hypothèse la plus simple serait que les zones climatiques actuelles commenceraient à migrer et les écosystèmes suivraient la migration des conditions environnementales auxquelles ils sont adaptés tout en maintenant leur structure. Suivant cette hypothèse, la répartition géographique des insectes ravageurs pourrait se déplacer, mais leur impact ne devrait pas être modifié de façon dramatique, car ils seraient toujours intégrés dans les mêmes réseaux d'interactions. Dans l'hypothèse alternative, les écosystèmes ne migreraient pas en conservant leur unité mais, au contraire, chaque élément (e.g. espèces, guildes, classes d'âge) évoluerait indépendamment des autres. Les mécanismes qui pourraient permettre une migration individuelle des composants d'un écosystème incluent : (1) l'existence d'hôtes alternatifs dans des régions précédemment hostiles, mais qui deviendraient favorables grâce au changement climatique, (2) les différences de capacité de migration entre les différentes



composants d'un écosystème (en particulier entre arbres et insectes), (3) l'introduction d'espèces invasives, (4) l'existence, à haute latitude ou altitude, de populations reliques d'espèces présentes à des latitudes ou altitudes plus basses qui pourraient se trouver avantagées par le changement des conditions environnementales. Chacune de ces hypothèses a été observée dans des études paléo-écologiques (COOPE 1995 ; DAVIS 1981). La difficulté de l'hypothèse de migration indépendante est qu'il est actuellement impossible de prédire comment les espèces seront nouvellement assemblées, quelles seront leurs densités et les nouvelles relations trophiques qu'elles formeront. C'est la raison pour laquelle la majorité des prédictions d'évolution des populations d'insectes sont basées sur une hypothèse de migration « intégrée ».

Migration des aires de distribution

Une des conséquences attendue de l'augmentation des températures moyennes est une extension de l'aire de distribution des insectes phytophages, en latitude et en altitude (HARRINGTON *et al.* 2001 ; PARMESAN *et al.* 1999). Une augmentation de 2°C de la température moyenne durant le prochain siècle serait équivalente à une élévation des conditions actuelles d'environ 300 m ou un déplacement de 600 km vers le nord. Ces valeurs représentent un déplacement moyen des isothermes de 3 m par an en altitude et 6 km par an en latitude, mais il faut s'attendre à une grande variabilité autour de ces moyennes. Beaucoup d'insectes ont des capacités de dispersion qui leur permettraient de suivre la progression des conditions climatiques. De fait, à ces échelles, les événements de dispersion sont probablement assez courants, mais ils ne se traduisent pas par l'installation pérenne d'une nouvelle population (et donc l'extension de l'aire de distribution). Durant la dernière décennie, le nombre d'observations de changement d'aire de distribution d'insectes n'a cessé de croître (PARMESAN 1996 ; PARMESAN *et al.* 1999 ; PARMESAN & YOHE 2003). En région méditerranéenne, le cas le plus remarquable est celui de la processionnaire du pin dont la limite altitudinale s'est étendue dans les Alpes italiennes (BATTISTI *et al.* 2005) et en Espagne dans la Sierra Nevada (HODAR & ZAMORA 2004) durant les dernières décen-

nies. Cette progression en altitude dans les Alpes italiennes (accompagnée d'une progression en latitude dans la Bassin Parisien) coïncide avec une augmentation des températures minimales hivernales de 1,5°C pendant la période 1973-2003 comparée aux trente années précédentes. L'expansion de l'aire de distribution de la processionnaire du pin est sous la dépendance de deux processus contrôlés par la température : l'activité de vol des adultes durant l'été et la survie des chenilles durant l'hiver. L'augmentation des températures prévue pour les prochaines décennies devrait favoriser la poursuite de l'expansion de la processionnaire du pin sous réserve qu'elle ne soit pas limitée par la distribution de ses hôtes.

Extinctions

En comparaison des nombreux cas d'expansion des aires de distribution observés chez de nombreuses espèces, les cas de rétraction des limites méridionales ou de basse altitude sont relativement rares. Or ce phénomène pourrait toucher particulièrement les régions méditerranéennes qui recouvrent les limites méridionales de nombreuses espèces et pour les quelles les conditions climatiques (en particulier thermiques) pourraient excéder les limites maximales de tolérance. A ce jour, il n'existe pas à notre connaissance de cas publié de rétraction d'aire de distribution d'insecte ravageur des forêts en région méditerranéenne. Cependant, des études menées dans la Sierra de Guadarrama (Espagne) montrent que les limites basses des aires de distribution de plusieurs espèces de papillons sont remontées en altitude de plus de 200 m en moyenne en une trentaine d'années (MERRILL *et al.* 2008). La remontée des limites de distribution est attribuée à l'augmentation des températures moyennes observée dans la région durant la même période (+1,3°C soit une remontée des isothermes de 225 m). Cette remontée ne s'étant pas accompagnée d'un décalage équivalent des limites altitudinales hautes, les aires de distribution de ces espèces se sont contractées de 30% en moyenne. La sévérité de la réduction des aires de distribution de ces espèces à la suite d'un réchauffement de 1,3°C suggère que l'augmentation de plus de 3°C prédite pour les prochaines décennies entraînerait l'extinction de plusieurs espèces de papillons dans cette région.

Nouvelles relations inter-spécifiques

Les modifications de distribution et de phénologie provoquées par le changement climatique pourront contribuer à séparer dans le temps ou dans l'espace des espèces qui cohabitaient auparavant, ou au contraire, à mettre en présence des espèces précédemment disjointes. Ceci pourra donner lieu à des interactions inédites et difficiles de prévoir. Ainsi, dans la Sierra Nevada (Sud-Est de l'Espagne), l'élévation de la limite supérieure de la processionnaire du pin suite à des températures hivernales particulièrement clémentes, menace des peuplements reliques de pins sylvestres jusque là épargnés par le fait qu'ils étaient situés au-delà de la limite altitudinale de la processionnaire (HODAR & ZAMORA 2004). En général, les espèces dont la distribution actuelle recouvre une large gamme de conditions bioclimatiques seront plus à même d'établir de nouvelles interactions que les espèces spécialistes. Ces nouvelles interactions pourront affecter la structure et le fonctionnement des communautés (PENUÉLAS *et al.* 2002).

Biodiversité et résilience

Les études paléo-écologiques montrent que, même en l'absence de l'influence de l'Homme, les écosystèmes et les espèces qui les constituent se sont continuellement adaptés (certains mieux que d'autres) à des conditions toujours changeantes. On peut ainsi considérer que le changement et l'adaptation au changement sont des états « naturels » des écosystèmes et de leurs espèces. En ce sens, le changement climatique est une nouvelle force de sélection, imposée par l'Homme, qui s'ajoute à l'évolution naturelle des écosystèmes et qui pourrait orienter ceux-ci dans des trajectoires imprévisibles et/ou indésirables. Il serait donc judicieux de mettre en place des protocoles de suivis pour pouvoir discerner dans l'évolution future des écosystèmes et de leur biodiversité, les effets du changement climatique de ceux des adaptations « naturelles ». Sous l'effet du changement climatique, les écosystèmes pourraient commencer à perdre leurs composants les plus sensibles (e.g., espèces, races, classes d'âge). Il pourrait être impossible de préserver ces composants dans une zone donnée, même en ayant recours à des interventions substantielles. Cependant, si les connais-

sances sur les processus régissant ces écosystèmes sont suffisantes, il est possible d'identifier et de protéger les espèces dont la résilience de l'écosystème dépend le plus. Bien que plusieurs espèces puissent encore disparaître localement, il sera possible de préserver les fonctions, la productivité, et la résilience de l'assemblage des espèces restantes. Préserver les attributs des écosystèmes est probablement plus utile que de se focaliser sur des espèces particulières (HOLLING *et al.* 1995).

Conclusion

Les modifications de phénologie, de distribution et de dynamique des populations récemment observées chez les insectes forestiers et non-forestiers méditerranéens confirment que des changements écologiques importants sont en cours. Ces modifications s'opèrent à des vitesses et dans des directions qui s'accordent très largement avec les prédictions basées sur le changement climatique. Considérant le fait que le réchauffement des dernières décennies a été relativement modeste comparé à celui prédit pour les décennies à venir, il semble raisonnable de prédire que des modifications encore plus importantes sont à venir. Il n'est cependant pas possible, dans l'état actuel des connaissances, de prédire avec la même certitude l'évolution des populations d'insectes et leur impact futur sur les écosystèmes forestiers. Les effets directs déjà observés (i.e. meilleure survie hivernale, élévation des aires de distribution, modification de la phénologie) seront probablement accentués. Cependant, la complexité engendrée par les interactions entre les différents facteurs qui influencent la performance des insectes et la dynamique des populations rend difficile toute prédiction de l'évolution de ces populations.

Plusieurs propositions de stratégie de recherche ont été développées par d'autres auteurs pour mieux appréhender comment les écosystèmes forestiers méditerranéens pourront réagir au changement climatique (LAVOREL *et al.* 1998 ; SCARASCIA-MUGNOZZA *et al.* 2000). En ce qui concerne les insectes forestiers, nous suggérons qu'il serait nécessaire de : (1) mieux quantifier les relations entre le climat et certains processus clefs de la dynamique des populations tels que la vitesse de développement individuel, la phé-

nologie, le voltinisme et le taux de croissance des populations, car le manque d'information sur les effets du climat sur ces processus est un des freins les plus importants à une meilleure prédiction de l'évolution à long terme des populations d'insectes ; (2) prendre en compte la variabilité phénotypique et génotypique dans la quantification de ces relations ; (3) développer une meilleure connaissance des processus impliqués dans la dynamique des populations d'insectes, en tentant en particulier de séparer les effets des processus densité-dépendants des autres processus ; (4) poursuivre et développer les programmes de suivis de la santé des forêts. Les suivis qualitatifs devraient être accompagnés d'estimations quantitatives des niveaux de populations d'insectes utilisant des protocoles d'échantillonnage appropriés.

J.-N.C.

Bibliographie

- Battisti, A. 2004. Forests and climate change - lessons from insects. *Forest* 1(1):17-24.
- Battisti, A., A. Boato, and L. Masutti. 2000. Influence of silvicultural practices and population genetics on management of the spruce sawfly, *Cephalcia arvensis*. *Forest Ecology and Management* 128(3):159-166.
- Battisti, A., M. Stastny, E. Buffo, and S. Larsson. 2006. A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology* 12(4):662-671.
- Battisti, A., M. Stastny, S. Netherer, C. Robinet, A. Schopf, A. Roques, and S. Larsson. 2005. Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications* 15(6):2084-2096.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioac, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr, and P. Whetton. 2007. Regional climate projections. 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., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, New York, USA.
- Coope, G.R. 1995. The effects of Quaternary climate changes on insect populations: lessons from the past. P. 29-48 in *Insects in a changing environment*, Harrington, R., and N.E. Stork (eds.). Academic Press, London.
- Davis, M. 1981. Quaternary history and stability of forest communities. P. 132-153 in *Forest succession: concepts and applications*, West, D.C., H.H. Shugart, and D.B. Botkin (eds.). Springer, New-York.
- Gordo, O., and J.J. Sanz. 2005. Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia* 146(3):484-495.
- Harrington, R., R.A. Fleming, and I.P. Woiwod. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology* 3(4):233-240.
- Hodar, J.A., and R. Zamora. 2004. Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. *Biodiversity and Conservation* 13(3):493-500.
- Holling, C.S., D.W. Schindler, B.W. Walker, and J. Roughgarden. 1995. Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological synthesis. P. pp. 44-83 in *Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues*, Perrings, C., K. Maler, C. Folke, C.S. Holling, and B. Jansson (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge U.K.
- Lavorel, S., J. Canadell, S. Rambal, and J. Terradas. 1998. Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7(3):157-166.
- Merrill, R.M., D. Gutierrez, O.T. Lewis, J. Gutierrez, S.B. Diez, and R.J. Wilson. 2008. Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. *Journal of Animal Ecology* 77(1):145-155.
- Nageleisen, L.M. 2004. Recrudescence des insectes sous-corticaux à la suite des extrêmes climatiques de 2003. Rur., M.A.A.P.A. (ed.), Paris.
- OFEFP. 2005. Faits et chiffres sur l'état de la forêt suisse. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.
- Parmesan, C. 1996. Climate and species' range. *Nature* 382(6594):765-766.
- Parmesan, C., N. Ryrholm, C. Stefanescu, J.K. Hill, C.D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kaila, J. Kullberg, T. Tammara, W.J. Tennent, J.A. Thomas, and M. Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399(6736):579-583.
- Parmesan, C., and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421(6918):37-42.
- Penuelas, J., I. Filella, and P. Comas. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 8(6):531-544.
- Rouault, G., J.N. Candau, F. Lieutier, L.M. Nageleisen, J.C. Martin, and N. Warzee. 2006. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Annals of Forest Science* 63(6):613-624.
- Scarascia-Mugnozza, G., H. Oswald, P. Piussi, and K. Radoglou. 2000. Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management* 132(1): 97-109.
- Schvester, D. 1981. Pin maritime et *Matsucoccus feytaudi* Duc. État actuel de la question. *Forêt Méditerranéenne* 3:149-154.
- Sheffield, J., and E.F. Wood. 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario,

Jean-Noël CANDAU
Unité d'écologie
forestière méditerranéenne
Institut national
de la recherche
agronomique
Actuellement au
Service canadien des
forêts (Ressources
naturelles Canada)
Mél :
jandau@NRCan.gc.ca

- IPCC AR4 simulations. *Climate Dynamics* 31(1):79-105.
- Stefanescu, C., J. Penuelas, and I. Filella. 2003. Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global Change Biology* 9(10):1494-1506.
- Stireman, J.O., L.A. Dyer, D.H. Janzen, M.S. Singer, J.T. Li, R.J. Marquis, R.E. Ricklefs, G.L. Gentry, W. Hallwachs, P.D. Coley, J.A. Barone, H.F. Greeney, H. Connahs, P. Barbosa, H.C. Morais, and I.R. Diniz. 2005. Climatic unpredictability and parasitism of caterpillars: Implications of global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102(48):17384-17387.

Résumé

Il est probable que le changement climatique affectera les écosystèmes forestiers directement mais aussi, et peut-être surtout, indirectement à travers des modifications de l'intensité, de la fréquence et de l'étendue des dégâts causés par les insectes phytophages. Ceux-ci jouent en effet un rôle majeur dans le fonctionnement de ces écosystèmes. De nombreux processus biologiques impliqués dans la croissance individuelle et la dynamique des populations de ces organismes sont fortement liés au climat. Les modifications du climat prédites dans les régions méditerranéennes pourront, par conséquent, avoir des impacts importants sur le développement et la distribution des insectes. L'augmentation des températures pourra avoir des effets directs sur le développement, le voltinisme, la phénologie et la dispersion. Ainsi, dans les endroits où ces organismes sont en dessous de leur optimum climatique, une augmentation de la température se traduira par une accélération de la croissance, une augmentation de l'activité et du mouvement, un accroissement du taux de reproduction, une diminution de la mortalité liée au climat et dans certains cas une augmentation du nombre de générations par an. Le changement climatique pourra aussi avoir des effets indirects à travers des modifications des relations trophiques, qu'il s'agisse des relations plante-insecte ou hôte-parasite. A l'échelle des écosystèmes forestiers les modifications des paramètres individuels et populationnels de l'entomofaune pourront se traduire par la migration des aires de distribution, l'extinction locale d'espèces d'insectes ou de leurs hôtes, l'apparition de nouvelles interactions trophiques et, plus globalement, des modifications possibles de la biodiversité et de la résilience de ces écosystèmes. Les observations récentes tendent à montrer que les populations d'insectes forestiers méditerranéens commencent déjà à répondre aux changements climatiques. Cependant les prédictions d'évolution de ces populations sont encore difficiles à établir. Un certain nombre de domaines de recherche prioritaires peuvent être identifiés pour mieux appréhender les effets futurs du changement climatique sur ces insectes.

Summary

Impact of climate change on insect pests in Mediterranean forests

It is likely that climate change will affect forest ecosystems directly but also, and perhaps above all, indirectly through changes in the intensity, frequency and extent of damage due to plant-eating insects. Such insects do indeed play a major role in the functioning of these ecosystems. Numerous of the biological processes involved in the individual growth and population dynamics of these organisms are closely linked to climate. Consequently, the modifications to climate predicted for the Mediterranean regions will have considerable impact on the development and distribution of insects. A rise in temperature will have a direct effect on their development, phenology, dispersion and annual number of generations. Thus, in places where a species numbers less than the optimum permitted by the climate, a rise in temperature will lead to an increase in rates of growth, in activity and mobility, in the rate of reproduction, a fall in any mortality linked to climate and, in some cases, an increase in the number of generations per year. Changes in climate will also have indirect impact through modifications to trophic relationships, be they plant-insect or host-parasite. At the level of forest ecosystems, changes to parameters for individual insects or their whole populations will result in the relocation of distribution areas, local extinction of species or their hosts, the emergence of new trophic relationships and, more globally, possible modifications to biodiversity and the resilience of ecosystems. Recent observations tend to show that the insect populations of Mediterranean woodlands are already responding to climate change. However, forecasting the evolution of these species is still difficult to achieve. Pinpointing a number of fields of research as priority will better enable us to assess the future impact of climate change on these insects.

Quelles seront les conséquences des perturbations des cycles naturels ?

Résumé

par Isabelle CHUINE

Saisonnalité de la végétation et climat

L'activité saisonnière de la végétation (cycle phénologique) est très sensible aux variations climatiques. Les premiers impacts documentés du changement climatique sur la végétation concernent les rythmes saisonniers et la répartition géographique des populations végétales. Toutes les études réalisées ces dernières décennies sur le sujet montrent un avancement des événements phénologiques printaniers tels que la floraison et la feuillaison et un retard des événements d'automne tels que la coloration des feuilles (la maturation des fruits tendant également à être avancée). Si l'on considère uniquement les essences forestières des milieux tempérés, la feuillaison et la floraison ont été avancées respectivement depuis 1950 de 2,9 et 3,4 jours par décennies. Cette avancée pouvant aller jusqu'à 10 jours dans le cas de la maturation des fruits. En revanche la coloration des feuilles n'a été retardée que de 1 jour par décennie. Ces changements dans l'activité saisonnière de la végétation sont bien imputables au changement climatique en cours.

Les deux principaux facteurs régissant l'activité saisonnière de la végétation sont la température et la photopériode. L'effet, en particulier, de la température sur le développement des bourgeons est depuis longtemps reconnu, même si quelques zones d'ombre sur ses modalités d'action persistent encore. Par exemple, l'augmentation de la température a tendance à accélérer la croissance des bourgeons une fois que la dormance hivernale de ceux-ci a été levée. Cette dormance correspond à une phase d'inactivité métabolique et physiologique permettant de passer l'hiver sans dommage. Si elle n'est pas levée, les bourgeons ne reprennent jamais leur croissance.

Evolution de l'activité saisonnière de la végétation en fonction du changement climatique

Etant donné que les changements dans la saisonnalité de la végétation sont déjà observables pour un changement moyen de température de l'ordre de 0,1°C par décennie depuis 1950, la question reste posée de savoir jusqu'à quel point l'activité saisonnière de la végétation pourra être perturbée, sachant que l'on s'attend à des niveaux de réchauffement de l'ordre de 0,2 à 0,4°C par décennie pour les cinq prochaines décennies. Si l'on extrapole linéairement les changements observés au cours des dernières décennies aux cinq prochaines décennies, on s'attend, par exemple, à ce que la feuillaison soit avancée de 27 à 54 jours.

Des modèles mathématiques ont permis d'établir des projections de l'évolution des dates de feuillaison ou de floraison pour différentes essences ligneuses nord-américaines (le même travail est en cours sur des espèces européennes) au cours du XXI^e siècle. Les projections montrent que l'avancement de la feuillaison et de la floraison va s'accélérer jusqu'à un certain point, puis décélérer jusqu'à devenir en retard chez certaines espèces par rapport à l'actuel, voire que le développement et la croissance des bourgeons deviendra impossible. Des différences apparaissent pour chaque espèce selon que l'on considère les populations situées au nord de la répartition de l'espèce ou au sud de cette répartition. C'est au nord que l'avancement est plus important et c'est au sud que la tendance commencera à s'inverser. Le ralentissement puis l'annulation de l'avancement des stades printaniers s'expliquent par le fait que la forte augmentation de température entraîne une carence pendant l'automne et l'hiver en températures froides nécessaires pour lever la dormance des bourgeons. La croissance des bourgeons aboutissant à leur éclosion ne peut en effet avoir lieu que si cette dormance physiologique qui s'est installée dès l'été précédent a été levée par des températures plutôt froides. Ce manque de températures froides altère la levée de dormance et peut entraîner un débourrement anormal, c'est-à-dire très tardif et/ou avec des feuilles ou fleurs mal formées.

Isabelle CHUINE
CEFE CNRS
Centre national
de la recherche
scientifique
BP 5051 34033
Montpellier Cedex
Mél : isa-
belle.chuine@
cefe.cnrs.fr

Conséquences dans l'activité saisonnière de la végétation

Les changements de phénologie ont de multiples conséquences tant au niveau du fonctionnement de l'écosystème qu'au niveau de la dynamique des communautés végétales et animales.

Au niveau du fonctionnement des écosystèmes, la modification de la période de végétation va affecter la productivité des écosystèmes, de façon positive dans un premier temps du fait de l'allongement de la période d'activité, puis négativement à long terme du fait de l'altération de la levée de dormance qui finira par retarder et compromettre la feuillaison.

La végétation n'est pas la seule à avoir son cycle saisonnier perturbé par le changement climatique. Beaucoup d'insectes voient également leur cycle de développement perturbé, ce qui affecte leur interaction avec la végétation. En particulier, tous les insectes ravageurs des forêts ont un cycle de développement qui est calé sur celui de leur arbre-hôte mais qui répond aussi aux conditions de température. Or chacun d'eux, l'arbre et l'insecte, voient leur cycle de développement modifié, mais pas forcément dans la même direction, ce qui peut provoquer des désynchronisations entre leurs deux cycles qui peuvent être fatales pour la population d'insectes (par exemple si les larves se nourrissant des nouvelles feuilles éclosent avant celles-ci ou inversement).

Contrairement à ce que certains auteurs ont supposé, les risques de dommage de gel ne devraient pas augmenter et devraient au contraire diminuer. Cette hypothèse avait en effet été formulée du fait de l'avancement important de la feuillaison pouvant avoir lieu lors de période gélive.

Une conséquence peu discutée de ces changements de phénologie devrait être des changements dans la répartition géographique des espèces. En effet, les problèmes de levée de dormance, du fait d'un manque de températures froides pendant l'hiver, peuvent littéralement empêcher les arbres de faire de nouvelles feuilles, ce qui est létal pour l'arbre à très court terme (un ou deux ans), ou de fleurir donc de se reproduire, ce qui est létal pour la population d'arbres à moyen terme (quelques décennies). En revanche, aux marges nord de la répartition actuelles des espèces, les nouvelles conditions climatiques pourront permettre notamment la fructification de certaines espèces qui étendront alors plus au nord leur répartition.

I.C.

Quels paysages pour demain ?

Résumé

par François LEFEVRE

Les différents scénarios du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prédisent, à l'échelle du siècle, en région méditerranéenne, une augmentation moyenne de la température et du nombre de jours de canicule durant l'été, une réduction moyenne des précipitations annuelles avec une sécheresse estivale plus marquée. Au-delà de cette tendance globale, les années climatiques difficiles pour la forêt (comme 2003) seront de plus en plus fréquentes. Les forêts méditerranéennes devront donc répondre à un changement global du climat et à une accélération du rythme des années difficiles. Au-delà des effets directs du changement de climat, les forêts seront aussi confrontées à un accroissement du risque d'incendies (extension de la période de risque et extension géographique de la zone concernée) et, vraisemblablement, à des bouleversements écologiques au niveau de tous les organismes vivants interagissant avec les arbres (mycorhizes, parasites, disperseurs de graines, pollinisateurs...). Seul l'effet direct du climat sur les arbres est considéré ici, les autres effets écologiques étant traités par ailleurs.

Les changements climatiques prévus sont significatifs : une élévation de température de 2° à 4°C, une diminution de 5 à 10% des précipitations annuelles (15 à 20% en été) nous rapprocheraient du climat actuel des côtes Algériennes, ces changements correspondent aussi à la variation sur plusieurs centaines de mètres de dénivelé en montagne. Or, on voit bien que les forêts actuelles sont différentes de part et d'autre de la Méditerranée, de bas en haut du Ventoux ou de la montagne de Lure. Deux facteurs aggravants sont à prendre en compte : la vitesse du changement (l'adaptation des forêts pourra-t-elle suivre ce rythme ?) et sa continuité (les années difficiles se succédant, il y aura peu de possibilité de « récupération »). Certes, la forêt méditerranéenne



Photos 1 et 2 :

Les dépérissements observés suite à l'épisode climatique de 2003, comme ici dans le département du Var, seront-ils circonscrits à quelques zones, à quelques individus, ou vont-ils conduire à la disparition locale de certaines essences ?
Photos MB (en haut) et DA (ci-contre)



François LEFEVRE
INRA, URFM
Directeur de l'Unité
de recherches
forestières
méditerranéennes
(UR629)
Domaine Saint Paul,
Site Agroparc
84914 Avignon cdx 9
Tél. : 04 32 72 29 01
Fax : 04 32 72 29 02
Mél : fran-
cois.lefevre@
avignon.inra.fr

se caractérise par une grande biodiversité (diversité des essences, diversité du patrimoine génétique au sein de chacune des essences) qui est un facteur essentiel de sa capacité d'adaptation, mais il y a des limites, des seuils qui ne pourront être franchis comme le montrent les dépérissements observés suite à l'épisode climatique de 2003 : de tels dépérissements seront-ils circonscrits à quelques zones, à quelques individus, ou vont-ils conduire à la disparition locale de certaines essences ?

Nous devons gérer de nombreuses incertitudes : sur les scénarios socio-économiques à

l'échelle globale, sur les prédictions climatiques pour chaque scénario, sur l'amplitude des variations annuelles (par exemple, l'augmentation de la température moyenne s'accompagnera-telle d'une élimination complète du risque de gel ?), sur les changements écologiques globaux, sur la capacité des arbres en place à survivre aux changements et sur la capacité d'évolution par sélection naturelle lors des phases de régénération. La recherche permet d'enrichir nos connaissances. Ainsi, en biologie, l'analyse de situations passées (conséquences à long terme des changements climatiques au quaternaire ou conséquences à court terme d'événements climatiques extrêmes comme 2003, mais aussi la naturalisation des essences introduites lors des grandes campagnes de reboisement du XIX^e siècle), l'expérimentation contrôlée et la modélisation théorique, nous informent sur la capacité d'adaptation à des changements environnementaux divers. Il restera malgré tout des incertitudes que nous n'aurons pas le temps de lever avant de prendre des décisions en terme de gestion, gestion locale ou gestion globale.

Il est alors indispensable de reconnaître que les forêts méditerranéennes que nous connaissons aujourd'hui ne sont pas immuables : la forêt de demain, si elle existe encore, sera différente. Il faut également admettre que nous sommes incapables de dire quelle sera la forêt idéale pour demain et, même si nous le pouvions, la continuité des changements fait qu'il serait illusoire de chercher à l'installer dès maintenant. Prétendre à la solution miracle risquerait de conduire à la catastrophe. L'objectif que nous devons nous fixer est de maintenir dans la durée, aujourd'hui comme demain, la capacité d'évolution de la forêt méditerranéenne, c'est-à-dire de maintenir une diversité des essences et une diversité génétique suffisante au sein de chaque espèce. Certaines essences pourront s'adapter par le jeu de leur plasticité et de la sélection naturelle, d'autres ne pourront franchir les seuils qui leurs sont imposés et devront atteindre de nouveaux espaces pour subsister, d'autres enfin pourront s'installer et contribuer à la mise en place d'un écosystème forestier favorable au maintien d'une biodiversité (en évitant les invasions). Il faudra sans doute aider ces dynamiques.

F.L.

De nouvelles espèces vont-elles envahir le milieu méditerranéen ?

Résumé

par Frédéric Médail

Les invasions biologiques causées par les plantes exotiques (ou xénophytes) à caractère envahissant (« espèces invasives ») représentent une menace importante pour le maintien de la biodiversité mondiale. Les plantes invasives modifient en général fortement la composition et le fonctionnement des écosystèmes, altèrent la structure des communautés et la dynamique des populations, et contribuent à la raréfaction voire à l'extinction locale des végétaux indigènes.

Or, une des conséquences probables des changements climatiques sera la montée en puissance des cas d'invasions biologiques. Diverses expérimentations montrent en effet que sous des taux élevés de CO₂, les xénophytes tirent mieux parti de la disponibilité en eau et ont une meilleure productivité que les plantes indigènes. L'augmentation de la fertilisation azotée devrait aussi favoriser ces végétaux invasifs déjà compétiteurs, au détriment des espèces indigènes.

En région méditerranéenne, les introductions et les cas d'invasions de végétaux exotiques sont anciens, mais en augmentation depuis les dernières décennies. Cette région constitue pourtant un ensemble écologique et biologique théoriquement bien structuré du fait des divers stress environnementaux, et donc peu propice, au moins dans ses biotopes peu perturbés, à l'implantation d'espèces non autochtones. Ainsi, l'implantation durable des xénophytes et des espèces invasives en forêt méditerranéenne est encore modérée, hormis dans les ripisylves. Par exemple, en Corse, sur les 480 xénophytes recensés, moins de 3% se rencontrent en forêt et sept espèces seulement sont naturalisées.

En situation préforestière ou d'ourlets forestiers, la progression de certaines invasives thermophiles devrait être facilitée par le réchauffement du climat ; tel est le cas du vernis du Japon (*Ailanthus altissima*), du robinier faux-acacia (*Robinia pseudo-acacia*), mais surtout de divers mimosas (*Acacia* spp.) et d'espèces lianescentes. L'extension de certains ligneux utilisés lors des reboisements risque d'être spectaculaire. Le cèdre (*Cedrus atlantica*) bénéficiera très probablement d'une augmentation des températures, en particulier en France méridionale où sa progression devrait

concerner la majeure partie de l'étage supra-méditerranéen des massifs du Ventoux et du Grand Luberon. A moindre titre, le cas des sapins méditerranéens dont la régénération naturelle à partir des plantations est déjà aujourd'hui importante, sera à surveiller car ils s'introgressent fréquemment avec les populations locales de sapin blanc.

Chez les feuillus, la naturalisation et l'extension de diverses essences sont probables, notamment dans les ripisylves où se développent en région nord-ouest méditerranéenne, le vernis du Japon, le robinier faux-acacia, l'arbre de Judée (*Cercis siliquastrum*), le platane commun (*Platanus x acerifolia*), l'érable negundo (*Acer negundo*), et plusieurs arbustes très dynamiques comme *Amorpha fruticosa*, *Buddleja davidii*, *Gomphocarpus fruticosus*, *Phytolacca americana*, *Ricinus communis*. Les ripisylves constituent d'ailleurs des territoires très vulnérables aux invasions biologiques, car les végétaux exotiques y montrent souvent une grande occupation spatiale ainsi qu'un fort dynamisme. L'invasibilité élevée des forêts riveraines s'explique par la nature profondément hétérogène et changeante de ces structures paysagères linéaires et connectées en corridor. La mosaïque complexe d'habitats, le niveau élevé des ressources qui déterminent des communautés hautement productives, les régimes de perturbation à l'origine du rajeunissement périodique des phytocénoses et les puissantes capacités de dispersion des taxons par l'eau — en particulier lors des crues — constituent autant de facteurs favorisant la dispersion, l'implantation et l'invasion des xénophytes ; ces derniers représentent, à une échelle locale, en moyenne 25 % de la richesse floristique des ripisylves de l'hémisphère Nord.

Mais savoir quelles nouvelles espèces invasives vont envahir ou progresser dans les forêts méditerranéennes reste actuellement bien difficile, et ce pour plusieurs raisons :

- les tentatives d'acclimatation sont tellement nombreuses et variées que les « candidates-invasives » représentent un contingent toujours plus imposant. Par exemple, les ripisylves méridionales de la péninsule ibérique sont le siège d'une implantation importante d'espèces subtropicales comme *Asclepias curassavica*, *Lantana camara* ou *Acacia farnesiana*, espèces qui pourraient très bien migrer plus au nord avec le réchauffement du climat ;
- la réussite d'une implantation ou d'une invasion est fortement dépendante des contextes environnemental local et biogéographique régional (pool d'espèces présentes), rendant souvent caduques les tentatives d'extrapolation à d'autres situations écologiques, même a priori proches ;

– malgré de nombreuses études, il n'est pas possible de dégager le « portrait-type » d'une espèce invasive, même si certains attributs biologiques sont statistiquement plus fréquents (reproduction asexuée ou clonale, dispersion de nombreuses graines par le vent, fort accroissement végétatif, potentialités allélopathiques...) chez ces espèces ;

– en raison des impacts anthropiques accrus et des modifications des régimes de perturbations, il est bien délicat d'en extraire la part imputable aux seuls changements climatiques. Dès lors, déconnecter le processus d'invasion biologique de la dynamique des systèmes écologiques perturbés n'a pas grand sens, d'autant que le rôle des espèces introduites dans la diversité fonctionnelle et le fonctionnement des systèmes biologiques reste très peu connu. Ainsi, dans quelles situations écologiques ou biogéographiques les xénophytes partagent la niche écologique des espèces autochtones induisant une exclusion compétitive de ces dernières ou, au contraire, occupent-elles des niches laissées vacantes ?

– les modélisations biogéographiques contraintes par les scénarios de changements climatiques futurs sont souvent basées sur l'enveloppe climatique des espèces ; il reste en effet très ardu d'intégrer les caractéristiques biologiques des végétaux et, a fortiori, les interactions biotiques nouées dans un milieu donné, sans parler de l'expression variable du potentiel adaptatif local d'une espèce. Les quelques simulations effectuées en milieu méditerranéen suggèrent que la progression d'une invasion dépend en premier lieu de la composition spécifique de l'écosystème initialement envahi et des conditions environnementales locales, mais de forts contrastes apparaissent entre les régions arides ou plus humides ;

– il existe des cas maintenant bien documentés « d'invasion cryptique », processus où des introgressions génétiques entre espèces apparentées conduisent à des modifications significatives de leurs génomes ; les conséquences, peu visibles sur le plan morphologique, peuvent être très fortes sur le plan de la biologie de l'espèce introgressée qui peut être dotée de capacités dynamiques accrues.

Ainsi, si les changements climatiques vont probablement augmenter l'intensité des phénomènes d'invasion biologique dans les milieux méditerranéens, il reste encore délicat de proposer des scénarios robustes visant à dépendre les forêts méditerranéennes du futur.

F.M.

Frédéric MEDAIL
IMEP-Université
Paul Cézanne
Europôle
méditerranéen
de l'Arbois
Bâtiment Villemin
B.P. 80. 13545 Aix-en-
Provence cedex 04
Tél. : 04 42 90 84 06
Fax : 04 42 90 84 48
Mél : f.medail@
univ-cezanne.fr

Les changements globaux ont-ils déjà induits des changements de croissance en forêt méditerranéenne ?

Le cas du pin d'Alep et du pin sylvestre
de la Sainte-Baume (Bouches-du-Rhône)

par Bruno VILA et Michel VENNETIER

avec la collaboration de Christian RIPERT, Olivier CHANDIOUX, Eryuan LIANG,
Frédéric GUIBAL et Franck TORRE

Un accroissement des températures, mais également celui des concentrations atmosphériques en CO₂, peuvent être à l'origine d'une augmentation de la croissance et de la productivité de certaines espèces. La forêt risque ainsi de produire davantage, tout irait donc bien serait-on tenter de penser ! Les auteurs nous montrent à travers l'étude du pin d'Alep et du pin sylvestre que les choses ne sont pas si simples que cela.

Introduction

Il est largement accepté que les facteurs climatiques interviennent de manière prépondérante dans la répartition des espèces par le jeu de facteurs limitants. Ainsi, dans le cadre des changements climatiques, l'aire de répartition des espèces pourrait être modifiée (CHUINE et COUR, 1999 ; WALTHER *et al.*, 2002 ; WOODWARD 1987). Si des modifications d'aires de répartition ont déjà été observées chez plusieurs espèces animales, aucune mesure directe n'a encore permis d'estimer les effets des changements climatiques sur les espèces végétales longévives comme les arbres.

Toutefois, à cause des changements climatiques, la longueur de la saison de croissance et les températures minimales (IPCC, 1995) ont déjà évolué. En effet, en Europe, MENZEL et FABIAN (1999) ont observé que la saison annuelle de croissance a augmenté de 10,8 jours depuis le début des années 1960. Sachant que la croissance des arbres des zones tempérées est contrôlée par ces facteurs, les études portant sur les

changements de croissance par l'intermédiaire d'analyses rétrospectives semblent constituer une approche intéressante.

Au cours des dernières décennies, de nombreuses études ont porté sur les changements à court et à long termes des croissances radiale et en hauteur chez de nombreuses espèces dans plusieurs régions de l'hémisphère Nord. En France, ces changements ont été observés sur *Abies alba* Mill. (BECKER *et al.*, 1994; Bert, 1992), *Picea abies* (L.) Karst (BECKER *et al.*, 1994), *Pinus laricio* Poir. (LEBOURGEOIS et BECKER, 1996), *Larix decidua* Mill. (BELINGARD et TESSIER, 1997), *Fagus sylvatica* L. (BADEAU *et al.*, 1995 ; PICARD 1991), *Quercus pubescens* Willd. (RATHGEBER *et al.*, 1999), *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. et *Quercus robur* L. (BERGES *et al.*, 2000 ; DHÔTE *et al.*, 2000) quel que soit le type de sylviculture.

Il est généralement accepté que ces changements de croissance sont liés aux changements climatiques et plus particulièrement à une augmentation des températures, mais également à une augmentation des concentrations atmosphériques de CO₂, à une fertilisation par des polluants azotés ou à une combinaison de ces facteurs (IPCC, 1995 ; JARVIS, 1998).

Le nombre limité d'études en région méditerranéenne, basées sur l'étude de la croissance passée ou sur des modélisations, montre des résultats parfois contradictoires entre les espèces considérées ou au sein d'une même espèce.

P. halepensis et *P. sylvestris* sont les deux principales espèces de conifères de la région méditerranéenne française (BARBÉRO et QUÉZEL, 1990). La distribution de *P. sylvestris* est pan-européenne et circum-méditerranéenne pour *P. halepensis*. Ces deux distributions se superposent sur une bande étroite dans quelques montagnes provençales. Là, la limite entre les deux espèces correspond exactement à la limite des bioclimats méso-méditerranéens et supra-méditerranéens (BARBÉRO *et al.*, 1998). Pour *P. halepensis* Mill., VENNETIER et HERVÉ (1999) ont mis en évidence une augmentation de la vitesse de croissance en hauteur. RATHGEBER *et al.* (2005) n'ont pas mis en évidence de tendance significative dans l'épaisseur des cernes, mais ont trouvé une augmentation de la densité du bois initial et une diminution de la densité du bois final et de la densité maximale. Pour *P. sylvestris* L. aucune étude ne s'est intéressée aux tendances de croissance passées. Des tendances de croissance en nette diminution ont cependant été modélisées dans le cadre des changements climatiques particulièrement pour les populations en limite de répartition d'aire (KELLER *et al.*, 1997, 2000).

L'objectif de cette étude est donc d'estimer les tendances de la croissance radiale de ces deux espèces poussant côte à côte sur le massif de la Sainte-Baume, le long d'un gradient altitudinal, afin d'envisager comment pourrait évoluer la forêt dans le cadre des changements climatiques.

Matériels et méthodes

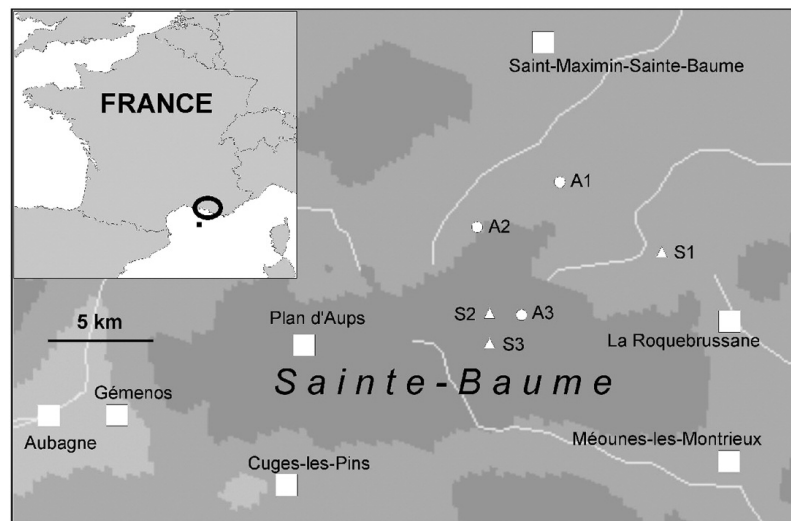
Zone d'étude

L'étude a porté sur des placettes situées le long d'un gradient altitudinal (Cf. Tab. I) sur la face nord de la Sainte-Baume (Cf. Fig. 1). Pour *P. sylvestris*, trois placettes ont été notées de S1 à S3 et pour *P. halepensis* de A1 à A3. Le climat peut y être défini comme méditerranéen humide avec des hivers frais et des étés chauds comprenant une période de sécheresse allant de 2 à 5 mois. Sur les

Tab. I (ci-dessous) :
Localisation des placettes

Fig. 1 (en bas) :
Placettes échantillonnées sur le massif de la Sainte-Baume et stations météorologiques. Les placettes de *Pinus halepensis* sont notées de A1 à A3 et celles de *Pinus sylvestris* de S1 à S3. Les variations de gris indiquent les variations d'altitude.

| Espèce | Placettes | Longitude | Latitude | Altitude (m) |
|----------------------|-----------|-----------|----------|--------------|
| <i>P. sylvestris</i> | S1 | 5°56' | 43°22' | 430 |
| <i>P. sylvestris</i> | S2 | 5°50' | 43°21' | 675 |
| <i>P. sylvestris</i> | S3 | 5°50' | 43°20' | 955 |
| <i>P. halepensis</i> | A1 | 5°50' | 43°24' | 380 |
| <i>P. halepensis</i> | A2 | 5°51' | 43°23' | 510 |
| <i>P. halepensis</i> | A3 | 5°50' | 43°21' | 650 |



trente dernières années à Plan d'Aups (altitude 679 m), la moyenne des températures annuelles est de 10,3 °C. La moyenne annuelle des précipitations est de 826 mm, mais est très irrégulière d'une année sur l'autre. Les événements climatiques exceptionnels comme les fortes gelées (minimum entre -10 et -25 °C en janvier et/ou février), les vagues de chaleur (maximum dépassant les 38 °C en juillet et/ou août) ainsi que de longues sécheresses (jusqu'à 8 mois) ont été observées au cours du siècle dernier. Les tendances climatiques observables sur le massif sont conformes à celles décrites par LEBOURGEOIS *et al.* (2001) en France. Au niveau des stations météorologiques entourant les placettes étudiées, les températures minimales ont augmenté de 0,8°C, les températures maximales ont augmenté de 1,8°C, alors qu'aucune tendance dans les précipitations n'a été observée. Toutes les placettes sont caractérisées par une roche-mère calcaire recouverte d'une altérite ou d'un colluvium plus ou moins épais.

Acquisition et traitement des données "cernes"

Pour chaque espèce, trois placettes de quinze arbres ont été échantillonnées. Trois carottes ont été prélevées par arbre et ont été préparées et mesurées selon le protocole classique en dendrochronologie (FRITTS, 1976 ; STOKES et SMILEY, 1968). Pour étudier les tendances de croissance, les séries de cernes ont été transformées. Afin de supprimer l'effet géométrique lié à la croissance en diamètre (RATHGEBER *et al.*, 1999), les séries ont été converties en surface à l'aide du logiciel PPPhalos (<http://www.imep-cnrs.com/> ; GUIOT et GOEURY, 1996). Afin d'éliminer les tendances d'âge, les séries de cernes ont été indexées en les divisant par une courbe régionale de standardisation (ESPER *et al.*, 2003). Enfin, pour atténuer les variations interannuelles, liées à des événements climatiques extrêmes (notamment l'effet des années exceptionnelles 1929, 1956, 1985, 1986 et 1987 chez le pin d'Alep) qui perturbent les tendances à long terme, nous avons calculé des indices moyens de croissance (classe de date de 10 ans) exprimés en surface pour chaque échantillon (BERGÈS *et al.*, 2000).

Nous avons ainsi obtenu pour chaque échantillon une série d'indices moyens par

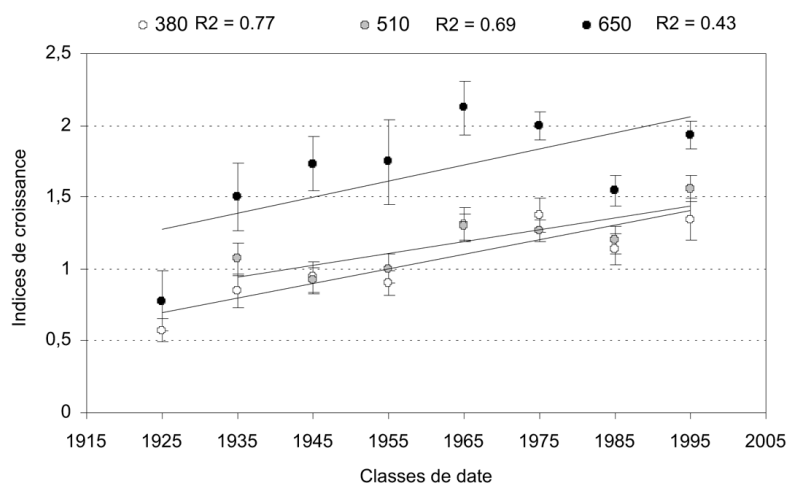


Fig. 2 : Tendances de croissance radiale (régression linéaire au sein des classes de dates et R2 associé) aux différentes altitudes considérées chez *Pinus sylvestris*.

classe de date auxquels nous avons adjoint un intervalle de confiance à 95%. Pour apprécier la variation de la croissance au cours du temps et faciliter les comparaisons, nous avons ajusté la série d'indices moyens par une régression linéaire qui rend mieux compte de la tendance à long terme. La significativité des tendances de croissance a été testée à l'aide d'un test de Fisher.

Résultats

Des tendances de croissance significatives ont été observées pour les deux espèces (F-test, $P < 0.001$). Pour *P. sylvestris*, les tendances de croissance diffèrent avec l'altitude (Cf. Fig. 2). Pour certaines placettes situées à la base du massif, la croissance a augmenté, pour une autre située en altitude, elle a diminué. Pour *P. halepensis* quelle que soit l'altitude considérée, la croissance a augmenté (Cf. Fig. 3).

Discussion

De nombreuses études ont mis en évidence de telles tendances de croissance radiale un peu partout en Europe au cours des dernières décennies. Néanmoins, cette étude apporte des informations nouvelles pour la zone méditerranéenne où ces observations faisaient défaut. Même si des biais d'ordre méthodologique peuvent être avancés, ils ne

peuvent expliquer les tendances observées à eux seuls et encore moins les tendances opposées.

Seul des changements au niveau des facteurs environnementaux, comme les facteurs climatiques et en particulier l'élévation des températures, l'augmentation de CO₂ atmosphérique ou l'augmentation des dépôts azotés, peuvent expliquer les modifications de croissance observées.

Les tendances positives de croissance sont souvent attribuées à la fertilisation directe par le CO₂ atmosphérique mais les études sont souvent contradictoires. Par exemple, KILPELÄINEN *et al.* (2003) ont montré l'existence d'une réponse sur des arbres jeunes ou aucune réaction, alors que RATHGEBER *et al.* (2003) ont montré la synergie existant entre les changements climatiques et l'augmentation du CO₂ atmosphérique par modélisation. Il en résulte que l'augmentation du CO₂ atmosphérique ne semble pas avoir d'effet seul.

L'azote qui représente un autre facteur limitant pour la croissance a fortement augmenté sous la forme de dépôts qui excèdent par endroits les capacités naturelles de fixation jouant ainsi un rôle de fertilisant. Cependant, ces effets sont spécifiques à certaines régions auxquelles la zone d'étude n'appartient pas (INERIS, 2004).

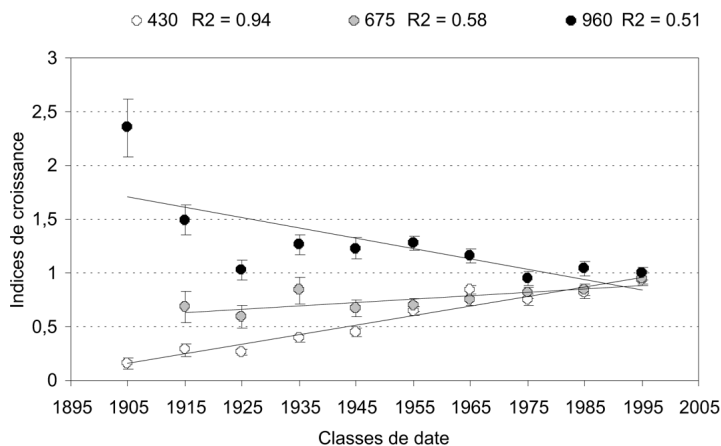
Du point de vue climatique, la croissance de *P. sylvestris* est stimulée par les précipitations d'avril à septembre et réduite par les fortes températures maximales et moyennes de mai, juin et juillet (TESSIER, 1984). La croissance de *P. halepensis* est influencée par le cumul des précipitations du mois d'octobre (année n-1), de mai et de juin et les températures moyennes des mois de mars et d'avril qui ont un effet positif sur la croissance. On

note cependant une grande sensibilité de *P. halepensis* aux grands froids et plus particulièrement aux minimorums de janvier à mars qui se traduisent par de très fortes diminutions de croissance, voire par des cernes manquants. Au niveau des stations météorologiques situées autour de la Sainte-Baume, l'augmentation des températures minimales correspond à une augmentation altitudinale de 133 m alors que l'augmentation des températures maximales correspond à une augmentation altitudinale de 300 m. De tels changements influencent donc la croissance des deux espèces considérées et expliquerait en partie les tendances observées.

Pour *P. sylvestris*, le patron de réponse est complexe et varie avec l'altitude. Dans notre étude, où les modifications climatiques correspondent à une détérioration des conditions de croissance avec une augmentation des températures estivales et de la sécheresse, la diminution de croissance des arbres au dessus de 700 m d'altitude apparaît cohérente. Par contre, l'augmentation de croissance des arbres au-dessous de 700 m d'altitude est surprenante. L'augmentation des températures minimales doit favoriser la croissance des arbres en dessous de 700 m d'altitude en leur permettant d'utiliser les réserves hydriques accumulées pendant la période automnale et hivernale. A haute altitude, la décroissance observée confirme les prédictions de KELLER *et al.* (1997, 2000).

Pour *P. halepensis*, l'augmentation des températures minimales en janvier et février et de mars à juin pourrait rallonger sa période de croissance. Les automnes plus chauds semblent lui permettre une seconde période de croissance. L'augmentation des températures maximales estivales n'affectent pas *P. halepensis* parce qu'il est en phase de repos pendant cette période (NICAULT, 1999). Les tendances positives de croissance observées sont en accord avec celles obtenues par VENNETIER et HERVÉ (1999) sur la croissance en hauteur.

Fig. 3 :
Tendances de croissance radiale (régression linéaire au sein des classes de dates et R2 associé) aux différentes altitudes considérées chez *Pinus halepensis*.



Conclusion

Cette étude met en évidence que les changements globaux ont déjà induit des changements de croissance chez les deux principales espèces de conifères de la région méditerranéenne française. Deux patrons de

croissance différents face au changement climatique se distinguent. La première espèce, *P. halepensis*, se caractérise par une augmentation de croissance quelle que soit l'altitude considérée. La seconde espèce, *P. sylvestris*, se caractérise par une tendance de croissance variant en fonction de l'altitude. Cependant d'autres études en cours sur le pin sylvestre dans le Haut-Var montrent des diminutions de croissance. Elles semblent indiquer l'existence d'une tendance générale du pin sylvestre à une diminution de croissance en région méditerranéenne française.

Remerciements

Cette étude a été financée par le Groupement d'intérêt public écosystèmes forestiers (Ecofor), la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et le Cemagref d'Aix-en-Provence. Les auteurs remercient les propriétaires forestiers privés.

Références

- Badeau V., Dupouey J.L., Becker M., and Picard J.F., Long-term growth trends of *Fagus sylvatica* L. in northeastern France. A comparison between high and low density stands, *Acta Oecol.* 16, 5 (1995) 571-583.
- Barbéro M., Loisel R., Quézel P., Richardson D.M. and Romane F., Pines of the Mediterranean basin, in: Richardson D.M. (Ed.), *Ecology and biogeography of Pinus*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, pp 153-170.
- Barbéro M. et Quézel P., La déprise rurale et ses effets sur les superficies forestières dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, *Bull. Soc. Linn. Prov.* 41 (1990) 77-88.
- Becker M., Bert G.D., Bouchon J., Picard J.F., and Ulrich E., Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du XIX^e siècle, *Rev. For. Fr.* XLVI-4 (1994) 335-341.
- Belingard C., Tessier L. Etude dendrochronologique comparée de vieux peuplements de *Larix decidua* Mill. dans les Alpes françaises du sud. *Dendrochronologia*, 11, (1997) 69-78.
- Bergès L., Dupouey J.L., Franc, A., Long-term changes in wood density and radial growth of *Quercus petraea* Liebl. in northern France since the middle of the nineteenth century, *Trees-Struct. and Funct.* 14 (2000) 398-408.
- Bert G.D., Influence du climat, des facteurs stationnels et de la pollution sur la croissance et l'état sanitaire du sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. Etude phytoécologique et dendrochronologique, Thèse de Doctorat, Université Henri-Poincaré, Nancy, 1992.
- Chuine I. and P. Cour, Climatic determinants of budburst seasonality of temperate-zone trees. *New Phytol.* 143 (1999) 339-349
- Dhôte J.F., Dupouey J.L., Bergès L., Modifications à long terme, déjà constatées, de la productivité des forêts françaises, *Rev. For. Fr.* LII. numéro spécial (2000) 37-48.
- Esper J., Cook E.R., Krusic P.J., Peters K., and Schweingruber F.H., Tests of the RCS method for preserving low frequency variability in long tree-ring chronologies. *Tree-ring Research*, 59, 2, (2003) 81-98.
- Fritts H.C., *Tree ring and climate*, Academic Press, New York, 1976.
- Guiot J. and Goeury C., PPPBase, a software for statistical analysis of paleoecological and paleoclimatological data, *Dendrochronologia*, 14 (1996) 295-300.
- IPCC, *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- INERIS, Effet des dépôts atmosphériques de soufre et d'azote sur les sols et les eaux douces en France, ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Paris, 2004.
- Jarvis P.G., *European Forest and Global Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- Keller T., Guiot J., Tessier L., Climatic effect of atmospheric CO₂ doubling on radial tree-growth in southeastern France, *J. Biogeogr.* 24 (1997) 857-864.
- Keller T., Edouard J.-L., Guibal F., Guiot J., Tessier L., Vila B., Impact d'un scénario climatique de réchauffement global sur la croissance des arbres, *C. R. Biol.* 323, 10 (2000) 913-924.
- Kilpeläinen A., Peltola H., Ryyppö A., Sauvala K., Laitinen K. and Kellomäki S., Wood properties of Scots pines (*Pinus sylvestris*) grown at elevated temperature and carbon dioxide concentration. *Tree Physiol.* 23 (2003) 889-897.
- Lebourgeois F., Granier A., and Bréda N., Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexions en terme de conséquences pour les écosystèmes forestiers. *Ann. For. Sci.* 58 (2001) 733-754.
- Lebourgeois and Becker M., Dendroécologie du pin laricio de Corse dans l'Ouest de la France. Evolution du potentiel de croissance au cours des dernières décennies. *Ann. Sci. For.* 53 (1996) 931-946.
- Menzel A., and Fabian P., Growing season extended in Europe. *Nature* 397 (1999) 659.
- Nicault A., Analyse de l'influence du climat sur les variations inter et intra-annuelles de la croissance radiale du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Provence calcaire, Thèse, Université d'Aix-Marseille III, Marseille, 1999.
- Picard J.F., Evolution de la croissance radiale du hêtre dans les Vosges. Premiers résultats sur le versant lorrain. *Ann. Sci. For.* 52 (1995) 11-21.
- Rathgeber C., Guiot J., Roche P, Tessier L., Augmentation de productivité du chêne pubescent en région méditerranéenne française, *Ann. For. Sci.* 56 (1999) 211-219.

Bruno VILA (a*)
Michel VENNETIER (b)

avec la collaboration de
Christian RIPERT (b)
Olivier CHANDIOUX (b)
Eryuan LIANG (c)
Frédéric GUIBAL (a)
Franck TORRE (a)

a - Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie
CNRS UMR 6116
Faculté des Sciences et Techniques
de Saint-Jérôme
Avenue Escadrille
Normandie-Niemen
13397 Marseille
cedex 20, France

b - Cemagref
UR écosystèmes méditerranéens et risques
Groupement d'Aix-en-Provence
Le Tholonet - BP 31
13612 Aix-en-Provence, France

c - The Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences
P.O.Box 2871
Beijing 100085
China

* auteur correspondant :
Tél. : 04 91 28 81 21
Fax : 04 91 28 87 07
Mél : bruno.vila@univ-mrs.fr

- Rathgeber C., Nicault A., Kaplan J.O. and Guiot J., Using a biogeochemistry model in simulating forests productivity responses to climatic change and [CO₂] increase: example of *Pinus halepensis* in Provence (south-east France), *Ecol. Model.* 166, 3 (2003) 239-255.
- Rathgeber C., Nicault A. and Guiot J., Evolution de la croissance radiale du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Provence calcaire (Sud-Est de la France). *Ecologia mediterranea* 31, 1 (2005) 75-82.
- Stokes M.A. and Smiley T.L., An introduction to tree-ring dating. Chicago, Univ. of Chicago Press, 1968.
- Tessier L., Dendroclimatologie et écologie de *Pinus sylvestris* L. et *Quercus pubescens* Willd. dans le Sud-Est de la France. Thèse d'Etat, Université d'Aix-Marseille III, Marseille, 1984.
- Vennetier M., Hervé J.C., Short and long term evolution of *Pinus halepensis* (Mill.) height growth in Provence, and its consequences for timber production. in: Timo Karjalainen T., Spiecker H., Laroussine O., (Ed.), Tree growth acceleration in Europe, Nancy mai 1998. EFI Proceedings 27 1999, pp 263-265.
- Walther G.R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J., Fromentin J-M., Hoegh-Guldberg O. and Bairlein F., Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416 (2002) 389-395.
- Woodward F.I., Climate and plant distribution. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1987.

Résumé

Il est admis que les facteurs climatiques (températures et précipitations) sont en partie responsables de la répartition des espèces et que dans le cadre de changements climatiques, ces répartitions peuvent varier. Chez les espèces longévives, pour lesquelles on ne peut pas effectuer de mesures directes afin d'appréhender ces modifications, nous avons étudié les changements de croissance à l'aide d'une analyse des séries de cernes. Dans la zone méditerranéenne française, où les changements climatiques sont caractérisés par une augmentation des températures, nous avons utilisé un gradient altitudinal le long du flanc nord de la Sainte-Baume (Bouches-du-Rhône, France) où la répartition des deux espèces, *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis*, se superpose. Deux patrons de croissance différents ont été identifiés. La croissance de *P. halepensis* a augmenté quelle que soit l'altitude considérée indiquant que le changement climatique a amélioré les conditions de croissance de l'espèce à sa limite de répartition. Chez *P. sylvestris*, des tendances de croissance opposées en fonction de l'altitude ont été mises en évidence. Cependant d'autres études au niveau régional mettent en évidence une tendance générale de décroissance pouvant conduire au dépérissement des peuplements les moins adaptés.

Changement global / limite bioclimatique / croissance radiale / *Pinus halepensis* / *Pinus sylvestris*

Summary

**Have global changes already brought change to growth in Mediterranean woodlands ?
The case of Aleppo and Scotch pines at Sainte-Baume (Bouches-du-Rhône, S.-E. France)**

It is agreed that climatic regimes influence species distribution through temperature and precipitation tolerance and that with climate change, a species' range will be altered. In the absence of direct measurement for long-lived tree species, we studied growth changes by means of retrospective analysis of tree-ring series. In the French Mediterranean region where climate change was characterized by increases temperatures, we used an altitudinal transect on the north-facing slope of the Sainte-Baume mountain (Bouches-du-Rhône, France) where the distribution of two species, *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis*, overlaps. Two growth patterns were identified. For *P. halepensis*, growth has increased whatever the altitude considered, indicating that climate change has improved growth conditions of trees at their bioclimatic limit. For *P. sylvestris*, unexpected opposite trends were evidenced, depending on altitude. However, other studies in the south-east of France have revealed a general negative growth trend that, in the most unfavourable cases, can lead to the progressive withering of the less adapted stands.

Global change / bioclimatic limit / radial growth / *Pinus halepensis* / *Pinus sylvestris*

Impact du changement climatique sur les feux de forêt

par Eric RIGOLOT

Une des questions cruciales posée par le changement climatique dans les régions méditerranéennes est : la forêt brûlera-t-elle davantage ? Outre le fait que les événements extrêmes, tels que les périodes de sécheresse, seront plus fréquents et donc le risque incendie augmenté, on prévoit également un déplacement des aires bioclimatiques des essences méditerranéennes vers le nord. On peut donc s'attendre aussi à une augmentation de la fréquence des incendies dans des régions qui n'y sont pas habituées, ni préparées.

Introduction

Le changement climatique est l'une des composantes du changement global qui inclut aussi les changements d'usage. Les incendies de forêt en région méditerranéenne constituent un phénomène complexe piloté par des composantes à la fois climatiques, biologiques et anthropiques. L'aggravation des conditions météorologiques favorise le déclenchement et la propagation des incendies. Ce phénomène peut être renforcé par la poursuite des tendances actuelles concernant la démographie et l'urbanisation de la région méditerranéenne, ainsi que la déprise rurale qui conduit à des espaces sensibles au feu toujours plus étendus et homogènes. Or, les contributions respectives de ces différents facteurs sont difficiles à établir. D'autant plus que les politiques publiques dans le domaine de la prévention et de la lutte contre les incendies de forêt évoluent elles-mêmes et qu'on en attend plus d'efficacité au cours du temps.

Les changements climatiques vont opérer des bouleversements à l'échelle mondiale dans différents domaines, parfois très éloignés de celui qui nous occupe ici, mais qui peuvent avoir en retour des effets majeurs sur le phénomène des incendies de forêt. Par exemple, l'évolution de la politique énergétique et notamment de la demande en bois-énergie et en biocarburant, va avoir des conséquences sur les pratiques de gestion des espaces forestiers en général et sur les actions de prévention des incendies en particulier.

Enfin, les changements annoncés vont se dérouler sur le long terme et il conviendra sans doute de distinguer plusieurs périodes caractérisées chacune par un contexte particulier, par des déterminants spéci-

fiques et pour lesquelles les leviers de décisions différeront. Cette dimension temporelle n'est certainement pas la plus facile à prendre en compte, mais elle doit rester à l'esprit afin de garder une capacité d'adaptation et d'ajustement nécessaire aux actions entreprises.

Nous nous attacherons plus particulièrement dans ce qui suit aux conséquences des changements climatiques sur les incendies de forêt. Néanmoins, la manière dont les changements d'usage peuvent aggraver ou atténuer le phénomène sera aussi évoquée.

Vers une aggravation du risque météorologique d'incendie

Le changement climatique est en marche depuis la révolution industrielle. Au cours du siècle passé, la température moyenne du globe a subi une augmentation générale de +0,8°C. Des facteurs naturels liés aux variations de l'énergie solaire, aux éruptions volcaniques... interviennent dans la modification du climat. Cependant, la communauté scientifique internationale s'accorde majoritairement pour attribuer l'essentiel de ce changement à l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre, générés par l'activité humaine. La décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important du XX^e siècle.

Le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dans son rapport d'avril 2007 (CHRISTENSEN & HEWITSON 2007), a évalué la gamme des changements projetés pour 2091-2100 selon différents scénarios. Pour un scénario moyen (une concentration de 700 ppm de CO₂), il prédit que les températures moyennes annuelles en région méditerranéenne devraient augmenter de +2,2°C à 5,1°C, avec des températures estivales maximales augmentant probablement plus que les moyennes annuelles.

En comparant les données pour la période 1980-1999 aux prévisions moyennes de 21 modèles pour 2080-2999 avec le scénario moyen A1B, les auteurs de ce rapport annoncent que les précipitations moyennes annuelles devraient très probablement baisser pratiquement partout en zone méditerranéenne, avec des prévisions variant de -4% à -27% selon les modèles. En zone méditerra-

néenne, les plus fortes baisses des précipitations sont attendues en été, mais elles vont concerner également les autres saisons, et le nombre de jours de précipitation par an devrait très probablement baisser. Le risque de sécheresse estivale devrait probablement augmenter en région méditerranéenne et en Europe centrale.

Dans cette perspective, le cas de l'Espagne est intéressant à analyser car il préfigure une évolution annoncée des autres pays méditerranéens européens. En effet, l'Espagne est le pays le plus aride d'Europe, et 31% de son territoire est en voie de désertification (SACQUET, 2007).

L'analyse des données météorologiques de ce pays sur 30 ans (1971-2000), révèle que l'évapotranspiration potentielle que l'on peut assimiler à la sécheresse de l'atmosphère, est passée de 1000 mm/an au début du XX^e siècle à plus de 1150 mm/an de nos jours, ce qui représente une augmentation de plus de 15% (AYALA-CARCEDO 2004). D'après les données de l'Observatoire météorologique de Nevacerrada dans la région de Madrid, la baisse durant cette période est même supérieure à 27% et il se pose à l'heure actuelle des problèmes d'alimentation en eau de cette ville.

Les conséquences du déficit hydrique en Espagne sur le problème des incendies de végétation sont évidentes puisque la valeur journalière de l'indice d'aridité entre dans la formule de calcul du risque d'incendie. Comme nous le verrons plus loin, on constate non seulement l'augmentation de la valeur de cet indice, mais aussi du nombre et de l'intensité des feux eux-mêmes. Ayala-Cerrado (2004) conclut d'ailleurs à une africanisation du climat de l'Espagne continentale.

En Europe, et particulièrement en Europe du Sud, le nombre d'événements extrêmes, comme la vague de chaleur de l'été 2003, devrait également augmenter. Ainsi, la probabilité d'avoir une température maximale supérieure à 35°C en été, qui était de 1% pour la période 1961-1990 dans le delta du Rhône, devrait atteindre 20% pour la période 2071-2100 selon le scénario A2 (concentration de 840 ppm en CO₂) (DÉQUÉ 2004) (Cf. Fig. 1).

La gamme d'incendies générés dans ce contexte climatique exceptionnel, est caractérisée par des niveaux de puissance et de vitesse de propagation du feu eux-mêmes

exceptionnels, et des pays comme la France en 2003, le Portugal en 2003 et en 2005 ou la Grèce en 2007 ont déjà subi ces types d'incendies. Ces incendies de sévérité inattendue ont surpassé les capacités actuelles des systèmes nationaux de prévention et de lutte.

Actuellement, les services de Météo France travaillent à la régionalisation pour la zone méditerranéenne des modèles de changement climatique fonctionnant à l'échelle mondiale. Les premiers résultats de ces travaux prédisent une diminution du nombre de dépressions et des vents forts associés (JACQ 2007). Dans les projections climatiques futures, se dessinent une tendance à un renforcement de l'anticyclone des Açores associé à une anomalie positive de l'Oscillation Atlantique Nord et à des perturbations atlantiques rejetées plus au Nord. Ces phénomènes, qui restent à confirmer, pourraient favoriser une diminution du mistral et cette baisse serait alors la seule conséquence bénéfique du changement climatique dans le domaine des feux de forêt. Encore faut-il se rappeler que des incendies très intenses et très rapides se sont déroulés dans le Var durant l'été 2003 dans des conditions de vent plutôt modérées (PERCHAT & RIGOLOTT 2005).

Ce qui précède permet donc d'établir qu'une augmentation du risque météorologique feu de forêt est déjà observée en Espagne et qu'elle est prévisible en France. A ces changements climatiques, il convient d'ajouter les autres composantes agissant sur le risque d'incendie qui relèvent des contextes socio-économique et démographique. Nous savons par exemple que les prévisions démographiques en région méditerranéenne (CHATAIN 2004) annoncent un

renforcement du problème des interfaces habitat – forêt qui accroissent les enjeux et les difficultés de lutte contre les incendies de forêt (LAMPIN *et al.* 2007).

Les conditions météorologiques conditionnent le déclenchement et la propagation des incendies, mais déterminent aussi les conditions de croissance et de survie de la végétation combustible. Il convient donc d'étudier les conséquences directes du changement climatique sur la végétation avant d'examiner les conséquences de l'évolution du combustible sur le régime des incendies.

Premiers constats des effets du changement climatique sur la végétation

Les premiers effets des changements climatiques sur la végétation sont déjà visibles en région méditerranéenne, avec des dépérissements d'arbres, des changements de distribution de plantes et des modifications du régime des perturbations.

Concernant les dépérissements d'arbres, on observe en effet des dépérissements depuis 2003 du pin sylvestre dans le haut Var (Cf. Photo 1), du sapin en Vésubie, sur le mont Ventoux (DREYFUS 2007) et dans l'Aude. On pourrait citer aussi le déclin du chêne-liège dans les Maures dont la mortalité atteint 20 à 25% et du chêne blanc en versant nord du massif du grand Luberon. Ces dépérissements, en augmentant la nécromasse présente dans les formations végétales, peuvent avoir une incidence sur le régime des feux de végétation.

Fig. 1 : Probabilité d'avoir une température maximale supérieure à 35°C en été pour la période 1961-1990 (à gauche) et pour la période 2061-2090 (à droite) selon un scénario A2 (DEQUÉ 2004)

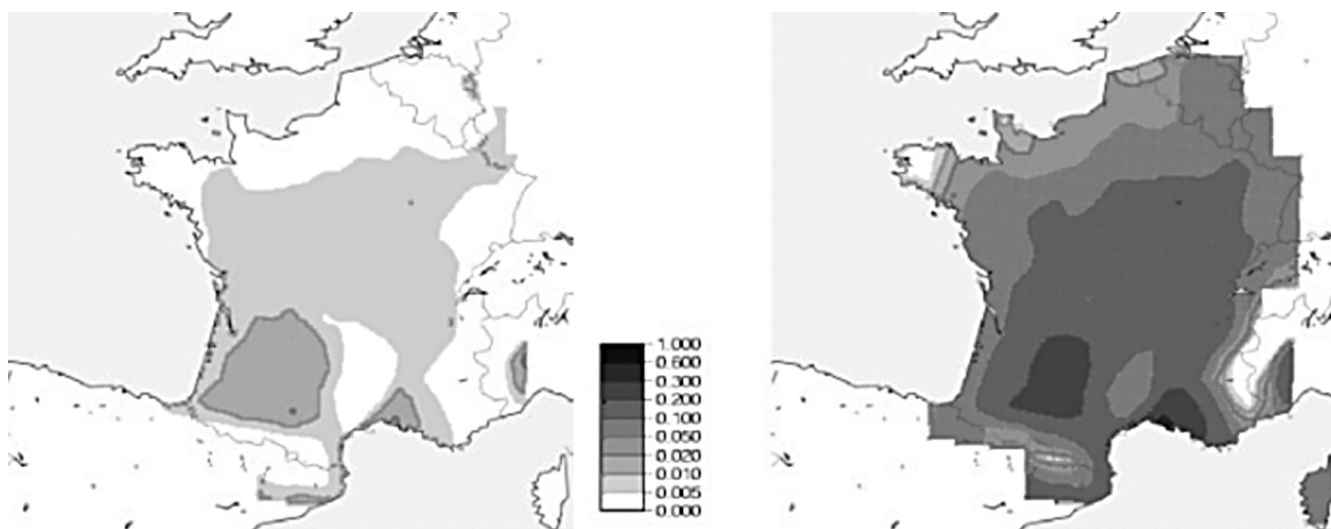




Photo 1 :
Dépérissements du pin
sylvestre dans le Haut Var
(montagne du Lachens)
Photo D.A.

Concernant les changements de distribution de plantes, Peñuelas et Boada (2003) ont observé sur le Montseny au nord-est de l'Espagne sur la période 1950 – 2000, une remontée du hêtre d'environ 70 m avec un remplacement par le chêne vert à moyenne altitude (800 m – 1400 m). Ces changements de distribution de plantes en altitude vers des formations plus xériques préfigurent les changements attendus en latitude.

Lavergne *et al.* (2006), ont réalisé une évaluation des changements de long terme des espèces rares de la flore méditerranéenne, dans la région Montpellier - Béziers, avec des données historiques sur 115 ans (1886-2001). Les espèces rares de distribution eurosibérienne, dont la région d'étude constitue les marges sud de leur aire de distribution, ont fortement décliné ou ont disparu de la région d'étude pendant la période 1886–2001 ; alors que les espèces rares d'affinité méditerranéenne sont restées significativement stables.

On comprend bien que ces évolutions qui concernent la composition, la structure et le comportement hydrique de la couverture végétale combustible peuvent avoir des conséquences sur la dynamique des incendies de forêt.

Premiers constats des effets du changement climatique sur le régime des feux

Si on s'intéresse maintenant directement aux effets des changements climatiques sur le régime des perturbations lui-même, des

études rétrospectives espagnoles montrent des modifications du régime des incendies déjà à l'œuvre. Il s'agit d'analyses des statistiques des incendies (occurrence, surface) sur le siècle passé confrontées aux enregistrements climatiques. Piñol, Terradas et Lloret (1998), pour la Catalogne, ont utilisé deux indices de risque d'incendie à base météorologique, destinés à estimer la teneur en eau du combustible fin, respectivement mort et vivant. Les valeurs moyennes de chacun de ces indices pour les mois de juin à septembre et pour la période 1968-1994, étaient positivement corrélées avec le nombre annuel d'incendies et avec la surface brûlée. Ces auteurs en concluent que les tendances climatiques plus chaudes et plus sèches observées ces dernières décennies ont probablement contribué à augmenter l'activité des incendies dans le nord-est de l'Espagne depuis 1968.

Pausas (2004) pour la région de Valencia en Espagne, montre une augmentation nette du nombre annuel d'incendies et de la surface annuelle brûlée sur le siècle passé, qui accompagne une augmentation des températures annuelles et estivales sur la même période, ainsi qu'une légère tendance à la baisse des précipitations estivales.

Pour ce qui concerne les régions à climat méditerranéen ailleurs dans le monde, Ronald Neilson, professeur à l'Université de l'Oregon, bioclimatologiste à l'USDA Forest Service et membre du GIEC, souligne que les incendies catastrophiques de l'automne 2007 dans le sud de la Californie sont des phénomènes d'une amplitude conforme à ce que prévoient les modèles climatiques depuis des années et qu'ils ne sont que le prélude de phénomènes futurs équivalents beaucoup plus nombreux (*ScienceDaily* 2007).

A notre connaissance, aucune étude rétrospective du type de celles menées en Espagne n'a été conduite en France. L'analyse des statistiques feux de forêt françaises sur les dernières décennies n'indique à ce jour aucun effet décelable des changements climatiques sur le régime des feux dans notre pays. En effet, hormis le caractère exceptionnel de l'année 2003, on observe une tendance à la baisse des surfaces moyennes brûlées. Les bilans feux de forêt les plus récents (2006 et 2007) ont même été particulièrement bons. En revanche compte tenu des changements déjà observés dans les régions les plus méridionales de l'Europe, il est légi-

time de s'interroger sur les prévisions pour la France dans ce domaine.

En terme de prédictions, un certain nombre d'études françaises soulignent les impacts potentiels des changements climatiques sur la végétation.

Prévisions des effets du changement climatique sur la végétation

Les analyses du projet Carbofor prévoient un déplacement des aires bioclimatiques des essences méditerranéennes vers le nord de l'Europe (INRA-IFN 2004). L'aire potentielle des forêts de type méditerranéen pourrait s'étendre en France de 9% à 28% à l'horizon 2100. On peut donc s'attendre à une augmentation de la fréquence des incendies dans des régions qui n'y sont pas habituées, ni préparées. Le risque d'incendie pourrait ainsi concerner une bonne partie des forêts de production. Dans ce cas, les espoirs placés dans une forêt « puits de carbone », ou ressource en matière première et en énergie renouvelable pourraient être déçus (BOURGAU, LERAT & CAILMAIL 2007).

La question est maintenant de savoir si les espèces de type méditerranéen seront capables de suivre l'évolution de leur aire potentielle. Cela dépendra de leur capacité à ajuster leur comportement notamment hydrique (plasticité), de leur évolution génétique (adaptation) et de leur capacité de dispersion sur de longues distances (migration). Les recherches actuelles portent sur ces questions et notamment sur les rythmes de ces phénomènes au regard de la vitesse du changement climatique (LEFÈVRE 2007). Il est aussi question du maintien ou de la réduction de l'aire méditerranéenne actuelle. Un argument en faveur du maintien, au moins temporaire, de l'aire est que les écosystèmes méditerranéens seraient plus résilients car adaptés aux fortes températures et aux forts stress hydriques. Quoi qu'il en soit, même sans changement de végétation, les régions nouvellement soumises au climat de type méditerranéen verront le risque d'incendie augmenter au moins par sa composante météorologique.

La forêt de type méditerranéen s'accroîtrait en surface, mais aussi en biomasse. En effet l'augmentation du CO₂ dans

l'atmosphère accélère la croissance des arbres au moins tant que l'alimentation en eau ou en nutriments ne devient pas limitante (SABATE, GRACIA & SANCHEZ 2002). Cette stimulation de la croissance s'accompagnerait naturellement de celle de la biomasse combustible sous les arbres, c'est-à-dire d'une augmentation de l'aléa d'incendie et d'une réduction de la durée d'efficacité du débroussaillage.

A terme, la végétation des zones les plus méridionales ne devrait plus bénéficier de l'effet de l'augmentation du taux de CO₂ sur la croissance de la végétation du fait de stress hydriques de plus en plus prononcés. Au contraire, les zones méditerranéennes actuelles devraient, dans la seconde partie du siècle, connaître une baisse de productivité de la végétation et des difficultés de régénération défavorisant les formations hautes. Il est difficile de dire si cette réduction de biomasse aura l'ampleur suffisante pour atténuer significativement le risque d'incendie. Néanmoins, la remontée vers le nord prévue de l'aire bioclimatique de type méditerranéen laisse envisager qu'il existera toujours une frange plus ou moins large où cette compensation ne s'opérerait pas et où globalement l'accumulation de biomasse de combustible aggraverait le risque feux de forêt. L'extension vers l'ouest de l'aire bioclimatique méditerranéenne invite à envisager pour la façade océanique de la France le scénario alternant des hivers doux et pluvieux, propices à l'accumulation de biomasse, et des étés plus secs et chauds favorisant l'augmentation des risques d'incendie. Quoiqu'il en soit, ce point illustre l'intérêt d'envisager plusieurs phases où les déterminants agissant sur le phénomène feux de forêt pourraient radicalement changer, toute la difficulté étant de borner ces phases dans le temps.

Prévisions des effets du changement climatique sur le régime des feux

Les études rétrospectives espagnoles déjà citées (PIÑOL *et al.* 1998, PAUSAS 2004) montrent que les effets du changement climatique sur le régime des feux est déjà visible sur la péninsule ibérique et qu'il faut

s'attendre à une augmentation future de la fréquence et de la gravité des incendies.

Au Portugal, une étude des effets du changement climatique sur les feux de forêt a analysé le risque d'incendie au travers de sa seule composante météorologique en utilisant l'indice feux de forêt canadien FWI (Canadian Fire Weather Index) (PEREIRA *et al.* 2002). Le modèle climatique régional HadRM (version 2) a été utilisé selon le scénario HadCM2 GGa2 correspondant à une augmentation annuelle de la concentration en CO₂ de 1% par an à partir de 1990 (MIRANDA *et al.* 2002). A l'horizon 2080 – 2100, les résultats prédisent une augmentation de la sévérité des incendies pour toutes les localisations testées sur le territoire portugais, ainsi qu'un allongement de la saison à risque qui débiterait à la mi-mai pour ne s'achever qu'à la mi-octobre. L'allongement de la saison des incendies aura pour conséquence une plus grande sollicitation des services de lutte contre les incendies, qui devront maintenir un niveau d'alerte élevé sur des périodes considérablement plus longues. Le changement climatique pourrait changer très rapidement le régime des feux, lequel pourrait avoir un effet plus important que le changement climatique lui-même sur la végétation (DALE *et al.* 2001). La fréquence des incendies est certainement la composante du régime des feux qui a l'effet le plus important sur la végétation ; en effet l'augmentation de la fréquence des incendies devrait conduire à un rajeunissement des formations végétales et à une réduction globale de la biomasse sur pied (PEREIRA *et al.* 2002).

D'autres études prospectives ont été menées dans les régions actuellement à climat méditerranéen ailleurs dans le monde. L'Australie devrait connaître une augmentation du risque d'incendie sur tout son territoire dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère (WILLIAMS, KABOLY & TAPPER 2001). En particulier en Australie du Sud-Est, Hennessy *et al.* (2005) prévoient que la fréquence du nombre de jours avec des indices de risque d'incendie de niveaux très élevé à extrême, augmentera probablement de 4-25% à l'échéance 2020 et de 15-70% à l'échéance 2050.

En Californie, Fried, Torn & Mills (2004) analysent les résultats du couplage d'un modèle climatique général et d'un modèle

empirique d'attaque initiale sur incendie. Pour un scénario doublant le taux de CO₂ dans l'atmosphère par rapport au milieu du XX^e siècle, ils prévoient des incendies généralement plus intenses et se propageant plus rapidement. Malgré une montée en puissance des efforts de lutte, les simulations prévoient en moyenne annuelle, pour l'ensemble du nord de la Californie, le doublement des feux échappant à l'attaque initiale et une réduction par deux du temps de retour des incendies dans les formations de pelouses et de matorrals. Le renforcement des vitesses de vent a été identifié comme la principale cause d'augmentation du risque d'incendie, même si une augmentation des températures estivales est aussi prévue.

Pour ce qui concerne les onze états de l'ouest des Etats-Unis, McKenzie *et al.* (2004) prévoient qu'une augmentation de la température moyenne annuelle de 1.5°C pourrait doubler la surface brûlée, avec des conséquences les plus extrêmes dans les états du Montana, du Wyoming et du Nouveau Mexique.

Ailleurs dans le monde, de nombreuses études non spécifiques aux régions à climat méditerranéen ont analysé les conséquences du changement climatique sur les incendies de forêt. Ces résultats confirment ou complètent le spectre des changements caractérisant le régime des feux auxquels on peut s'attendre.

Stocks *et al.* (1998) ont mis en évidence un allongement de la saison à risque d'incendie au Canada et en Russie, ainsi qu'une augmentation significative des territoires de ces deux pays concernés par des niveaux de risque d'incendie élevé à extrême.

On s'attend de plus à une augmentation de la fréquence des épisodes orageux dans l'hémisphère Nord (FOSBERG *et al.* 1990, PRICE & RIND 1994) engendrant plus de feux liés à la foudre. Cette tendance aurait déjà été observée en région méditerranéenne française où cette cause de déclenchement d'incendie dépasserait depuis 2003 la moyenne de 4 à 7% antérieurement établie sur la base des données de Prométhée. Cette observation nécessite néanmoins d'être confirmée sur un plus long terme.

L'extension des formations forestières déperissantes va s'accompagner aussi d'une augmentation de la combustibilité des formations végétales touchées, par accumulation de la quantité de combustible mort.

Selon la dynamique spatiale des dépérissements, en bouquets isolés ou sur des versants entiers, et en fonction de leur échelonnement dans le temps, le phénomène peut avoir des conséquences plus ou moins sensibles sur le régime des incendies.

Le dispositif de prévention et de lutte contre les feux de forêt peut être aussi concerné indirectement par le changement climatique. Ainsi, il a déjà été mentionné la baisse de la durée d'efficacité des opérations de débroussaillage si la croissance de la végétation arbustive est stimulée par un taux élevé en CO₂ dans l'atmosphère. De même, l'allongement de la saison à haut risque d'incendie peut s'accompagner, comme déjà anticipé par Hennessy *et al.* (2005) pour le sud-est de l'Australie, d'une diminution des périodes favorables à l'emploi du brûlage dirigé qui se recentrerait sur l'hiver. Des difficultés d'intervention accrues, rendant le dispositif de lutte moins efficace, peuvent survenir dans le cas d'incendies plus rapides, ou touchant des zones de dépérissements massifs avec de nombreux arbres morts enchevêtrés. De même, des difficultés d'accès peuvent se présenter dans le cas d'incendies survenant sur des territoires jusqu'alors rarement touchés par les feux et donc moins bien aménagés.

Dans la perspective du changement climatique la dimension multirisques peut être renforcée. Les conséquences écologiques des incendies de forêt peuvent être aggravées par le risque supplémentaire d'érosion ou de glissement de terrain, en particulier dans les montagnes méditerranéennes. On garde en mémoire l'incendie de « Chamatte » qui en 1982 a parcouru 950 ha sur les communes de Saint-André, Saint-Julien-du-Verdon, Angles et Vergons dans les Alpes de Haute-Provence et qui a été suivi par une coulée de boue dévastant le village de Saint-André des Alpes. On peut s'attendre à ce que les peuplements de Restauration des terrains en montagne (RTM) eux-mêmes soient de plus en plus concernés par les incendies. La plus lente cicatrisation post-incendie de la couverture végétale des bassins versants sensibles, peut les exposer plus durablement à des précipitations torrentielles ponctuellement marquées. Ces risques accrus peuvent nécessiter le renforcement de mesures préventives à objectifs mixtes (incendie et RTM) ou de mesures curatives d'urgence plus ou moins étendues dans les bassins de risque.

Recommandations et mesures d'accompagnement

Dans ce contexte, il convient de ne surtout pas baisser la garde en matière de prévention des incendies de forêt en zone méditerranéenne actuelle. Il est recommandé de promouvoir les mesures d'atténuation du risque comme le débroussaillage, les mesures agri-environnementales favorisant le pâturage contrôlé et le développement du brûlage dirigé comme outil de prévention. La compartimentation des massifs par des réseaux de coupures de combustible devra être renforcée en respectant les bonnes pratiques de conception et d'entretien de ces ouvrages.

Les interventions de débroussaillage et d'éclaircie peuvent avoir des conséquences positives sur le fonctionnement des peuplements des écosystèmes méditerranéens dans le contexte du changement climatique. En réduisant la biomasse qui transpire, ces interventions peuvent augmenter la disponibilité de l'eau pour les arbres maintenus ce qui peut être très important pour soutenir les écosystèmes forestiers et leur permettre de supporter des périodes sévères de sécheresse et de fortes températures (GRACIA *et al.* 1999).

La pratique du brûlage dirigé devra atteindre un développement significatif pour contribuer efficacement et de manière économique au contrôle du combustible. Cette technique peut aussi contribuer à réduire les émissions de CO₂ produites par les incendies (NARAYAN *et al.* 2007). A ce titre, il peut donc être considéré comme une technique de limitation des émissions, mais ne permettant d'atteindre les objectifs du protocole de Kyoto que dans les pays où les incendies sont fréquents. Pour toute l'Europe, les émissions annuelles dues aux incendies sont estimées à 11 millions de tonnes, elles tomberaient à 6 millions de tonnes si les brûlages dirigés étaient généralisés (NARAYAN *et al.* 2007).

Il convient aussi de renforcer l'emploi du feu dans la lutte par une utilisation accrue du feu tactique. Il faut se préparer à des événements extrêmes en passant d'une logique implicite de protection des milieux naturels à une logique clairement affichée de protection civile favorisant la protection des biens et des personnes. Les services de lutte devront anticiper l'évolution des risques (allongement de la saison à risque, extension des

régions concernées par les incendies) pour ajuster le dispositif de secours aux enjeux futurs. Il est prévisible que les moyens nationaux soient plus souvent sollicités sur des crises majeures, et dans cette perspective l'entraide interdépartementale et les dispositifs bilatéraux d'assistance mutuelle à l'échelle européenne devront être facilités et renforcés.

La maîtrise de l'urbanisme en lisière et au sein des espaces naturels sensibles aux incendies est une mesure indispensable pour réduire le risque de perte de vies humaines et pour limiter les dommages matériels.

Finalement, compte tenu des menaces climatiques encore plus marquées qu'ailleurs en zone méditerranéenne, on peut s'attendre à une persistance et à une aggravation du phénomène des incendies de forêt. Il convient donc d'orienter résolument la sensibilisation du public dans le sens d'une meilleure connaissance du phénomène et de la manière de s'en protéger. Cette sensibilisation doit comprendre des actions favorisant l'autoprotection des biens et des personnes avant la saison à risque avec notamment le débroussaillage autour des habitations. Il comprend aussi l'apprentissage des comportements de sauvegarde individuels et collectifs pendant le déroulement du feu lui-même.

En zone méditerranéenne, dans sa répartition géographique future, il convient de définir les mesures de prévention à mettre en place progressivement, en utilisant tous les outils réglementaires et de planification disponibles. Les lois et règlements applicables aux trente-deux départements du grand Sud devront être progressivement étendus aux départements plus au nord, tout en renforçant partout la qualité de leur application.

Discussion et conclusion

Les conditions extrêmes accompagnant le changement climatique vont vraisemblablement augmenter le risque d'incendie de végétation. Cette augmentation est déjà observée en Espagne et devrait très probablement toucher la France dans les années à venir. On attend une augmentation de la fréquence des périodes de risque extrême, un allongement de la saison des incendies, une extension de la zone géographique concernée et plus de très grands feux.

De plus, les conséquences des changements climatiques sur le régime des feux peuvent se traduire par des modifications rapides et profondes de la végétation, qui pourraient surpasser l'effet direct du changement climatique sur la migration, la substitution et l'extinction des espèces (FLANNIGAN & LAVOREL 2000). L'effet conjugué de l'extension des zones concernées par les incendies de forêt sur le territoire français et de l'augmentation de la fréquence des incendies peut conduire à une réduction globale de la biomasse sur pied, compromettant la stratégie nationale de la forêt "puits de carbone".

Le solde migratoire positif actuellement observé en région méditerranéenne, que les prévisions démographiques annoncent comme durable, résistera-t-il aux changements climatiques ? La région méditerranéenne conservera-t-elle son attractivité si les saisons estivales caniculaires se multiplient et si le régime des feux augmente significativement les menaces sur les biens et les personnes ? Si le renversement de tendance démographique s'amorce effectivement, aura-t-il l'ampleur nécessaire pour avoir les effets significatifs attendus sur le phénomène feux de forêt ? Dans tous les cas, la remontée vers le nord de la zone à bioclimat méditerranéen s'accompagnerait concomitamment de la remontée de la frange plus hospitalière susceptible d'accueillir les populations attirées par un climat de type méditerranéen et ne ferait que déplacer vers le nord le problème de la présence diffuse d'habitations en zones sensibles aux incendies.

La question se pose également de l'impact d'un changement de politique énergétique ayant pour conséquences une consommation accrue de bois-énergie ou une exploitation des ressources végétales naturelles à des fins bio-énergétiques. L'exploitation de la biomasse peut en effet contribuer à l'atténuation du risque d'incendie par le débroussaillage ciblé (coupures de combustible, interfaces habitat forêt) ou extensif (auto-protection des peuplements forestiers). Il s'agirait de changements d'usage qui pourraient avoir un effet compensatoire intéressant. Dans une perspective de changement climatique, les mesures de prévention comprenant le débroussaillage seront en effet amenées à se développer pour faire face à l'augmentation du risque et pour maintenir voire étendre le niveau de prévention actuel. L'exploitation de la biomasse peut être une

réponse économiquement intéressante à ce défi. Mais cette spéculation peut être de courte durée si la ressource est rapidement épuisée sous les effets combinés du prélèvement accru, de conditions de croissance difficiles de la végétation méditerranéenne et des effets destructeurs des incendies eux-mêmes. N'oublions pas enfin, que le bois-énergie a été la grande cause de la dégradation des forêts méditerranéennes, il n'y a encore pas si longtemps.

E.R.

Références

- Ayala-Carcedo, F. J. (2004) La realidad del Cambio Climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos. *Industria y Minería*, 10-15.
- Bourgau, J.-M., J.-F. Lerat & F. Cailmail. 2007. Adaptation de la gestion des forêts au changement climatique. 57p. : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche ; Conseil général de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Espaces Ruraux.
- Chatain, J. (2004) Aspects démographiques et urbanisation dans le Var. *Forêt Méditerranéenne*, XXV, 293-296.
- Christensen, J. H. & B. Hewitson. 2007. Regional Climate Projections. 847-940. GIEC ; IPCC.
- Dale, V. H., L. A. Joyce, S. McNulty, R. P. Neilson, M. P. Ayres, M. D. Flannigan, P. J. Hanson, L. C. Irland, A. E. Lugo, C. J. Peterson, D. Simberloff, F. J. Swanson, B. J. Stocks & B. M. Wotton (2001) Climate Change and Forest Disturbances. *BioScience*, 51, 723-734.
- Dreyfus, P. (2007) Les dynamiques en cours et l'impact des pratiques sylvicoles. *Forêt Méditerranéenne*, XXVIII, 419-426.
- Déqué, M. 2004. Les scénarios climatiques de réchauffement. In *Journées de la Mission Changement Climatique et Effet de Serre*, 6p. Avignon.
- Flannigan, M. & S. Lavorel. 2000. Global change impacts on landscape fires. 4.
- Fosberg, M. A., J. G. Goldammer, D. Rind & C. Price. 1990. Global Change: Effects on Forest Ecosystems and Wildfire Severity. In *Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges*, ed. J. G. e. Goldammer, 483-486. Berlin: Springer-Verlag.
- Fried, J. S., M. S. Torn & E. Mills (2004) The Impact of Climate Change on Wildfire Severity: A Regional Forecast for Northern California. *Climatic Change*, 64, 169-191.
- Gracia, C. A., S. Sabate, J. M. Martinez & E. Albeza. 1999. Functional responses to thinning. In *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*, eds. F. Roda, J. Retana, C. Gracia & J. Bellot, 329-338. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hennesy, K., C. Lucas, N. Nicholls, J. Bathols, R. Suppiah & J. Ricketts. 2005. Climate change impacts on fire re-weather in south-east Australia. 91p.: CSIRO Marine and Atmospheric Research; Bushfire CRC; Australian Bureau of Meteorology.
- INRA-IFN. 2004. Impact du réchauffement climatique sur la répartition des essences forestières françaises : Modélisation des aires de répartition des groupes chorologiques. In *Dossiers scientifiques*. INRA-IFN.
- Jacq, V. 2007. Conséquences des changements climatiques dans les régimes de vent en région méditerranéenne Française. Météo France.
- Lampin, C., M. Jappiot, M. Long, D. Morge, C. Bouillon, L. Galiana, G. Herrero, J. Solana, A. Mantzavelas, T. Lazaridou, T. Partozis, G. Loddò, G. Delogu, S. Brigalia & G. Dettori. 2007. Characterization and mapping of wildland-urban interfaces: a methodology applied in the case study area in Sardinia. In *IV^o International Wildland Fire Conference*. Sevilla, Spain.
- Lavergne, S., J. Molina & M. Debussche (2006) Fingerprints of environmental change on the rare mediterranean flora: a 115-year study. *Global Change Biology*, 12, 1466-1478.
- Lefèvre, F. (2007) Le mont Ventoux : laboratoire d'étude dans le cadre du changement climatique. *Forêt Méditerranéenne*, XXVIII, 427-432.
- McKenzie, D., Z. Gedalof, D. L. Peterson & P. Mote (2004) Climatic change, wildfire, and conservation. *Conservation Biology*, 18, 890-902.
- Miranda, P. M. A., F. E. S. Coelho, A. R. Tomé, M. A. Valente, A. Carvalho, C. Pires, H. O. Pires, V. C. Pires & C. Ramalho. 2002. 20th century Portuguese Climate and Climate Scenarios. In *Climate change in Portugal: Scenarios, impacts and adaptation measures (SIAM project)*, eds. F. D. Santos, K. Forbes & R. Moita, 23-83.
- Narayan, C., P. M. Fernandes, J. van Brusselen & A. Schuck (2007) Potential for CO2 emissions mitigation in Europe through prescribed burning in the context of the Kyoto Protocol. *Forest Ecology and Management*, 251, 164-173.
- Pausas, J. G. (2004) Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic Change*, 63, 337-350.
- Perchat, S. & E. Rigolot. 2005. *Comportement au feu et utilisation par les forces de lutte des coupures de combustible touchés par les grands incendies de la saison 2003*. Morières: Ed. de la Cardère Morières.
- Pereira, J. S., A. V. Correia, A. P. Correia, M. Branco, M. Bugalho, M. Caldeira, C. Cruz, H. Freitas, J. M. C. Oliveira, R. M. Reis & M. J. Vasconcelos. 2002. Forests and Biodiversity. In *Climate change in Portugal: Scenarios, impacts and adaptation measures (SIAM project)*, eds. F. D. Santos, K. Forbes & R. Moita, 369-409.
- Peñuelas, J. & M. Boada (2003) A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, 9, 131-140.
- Piñol, J., J. Terradas & F. Lloret (1998) Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change*, 38, 345-357.
- Price, C. & D. Rind (1994) Possible implications of global climate-change on global lightning distributions and frequencies. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 99, 10823-10831.
- Sabate, S., C. A. Gracia & A. Sanchez (2002) Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecology and Management*, 162, 23-37.
- Sacquet, A.-M. 2007. Le développement durable, l'affaire de tous. In *365 jours pour réfléchir à notre terre*, ed. Y. Arthus-Bertrand. Paris: Editions de la Martinière.
- Author. 2007. Massive California Fires Consistent With Climate Change, Experts Say. *ScienceDaily* Oct. 24, 2007.
- Stocks, B. J., M. A. Fosberg, T. J. Lynham, L. Mearns, B. M. Wotton, Q. Yang, J. Z. Jin, K. Lawrence, G. R. Hartley, J. A. Mason & D. W. McKenney (1998) Climate change and forest fire potential in Russia and Canadian boreal forests. *Climatic Change*, 38, 1-13.
- Williams, A. A. J., D. J. Kaboly & N. Tapper (2001) The sensitivity of Australian fire danger to climate change. *Climatic Change*, 49, 171-191.

Eric RIGOLOT
INRA, UR 629
Ecologie des forêts
méditerranéennes
Domaine Saint Paul
Site Agroparc
84914 Avignon
Cedex 9
Tél. : 04 32 72 29 21
Fax : 04 32 72 29 02
Mél : rigolot@
avignon.inra.fr

Résumé

Le changement climatique est déjà en marche depuis la révolution industrielle. La température moyenne du globe a subi une augmentation générale de +0.8°C sur le siècle passé. Des facteurs naturels liés aux variations de l'énergie solaire, aux éruptions volcaniques... interviennent dans la modification du climat. Cependant, la communauté scientifique internationale est très majoritairement d'accord pour attribuer l'essentiel de ce changement à l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre, générés par l'activité humaine. La décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important du XX^e siècle.

Le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dans son rapport d'avril 2007, pour un scénario moyen comparant les périodes 1980-1999 à 2080-2999, prédit que :

- les températures moyennes annuelles en région méditerranéenne devraient augmenter de +2,2°C à 5,1°C, avec des températures estivales maximales augmentant probablement plus que la moyenne ;
- les précipitations moyennes annuelles devraient très probablement baisser pratiquement partout en zone méditerranéenne avec des prévisions variant de -4% à -27% selon les modèles. En zone méditerranéenne, les plus fortes baisses sont attendues en été ;
- le nombre d'événements extrêmes, comme la vague de chaleur de l'été 2003, devrait aussi augmenter.

Les premiers effets sur la végétation des changements climatiques sont déjà visibles en région méditerranéenne, avec notamment des dépérissements depuis 2003 du pin sylvestre dans le Haut-Var, du sapin en Vésubie, sur le mont Ventoux et dans l'Aude. Concernant les changements de distribution des plantes, Peñuelas *et al.* (2003) ont observé sur le Montseny en Espagne une remontée du hêtre d'environ 70 m sur la période 1950 – 2000, avec un remplacement par le chêne vert à moyenne altitude. L'étude rétrospective des statistiques des incendies (occurrence, surface) sur le siècle passé confrontées aux enregistrements climatiques montre des modifications du régime des incendies déjà à l'œuvre. Pour la Catalogne, Piñol *et al.* (1998) montrent que depuis le début des années 70, la fréquence des incendies augmente concomitamment avec l'augmentation de la température globale.

En terme de prédictions, un certain nombre d'études soulignent les impacts potentiels des changements climatiques sur la végétation. Le projet Carbofor prévoit un déplacement des aires bioclimatiques des essences méditerranéennes vers le nord. L'aire potentielle des forêts de type méditerranéen pourrait augmenter en France de 9% à 28% à l'horizon 2100. On peut donc s'attendre à une augmentation de la fréquence des incendies dans des régions qui n'y sont pas habituées, ni préparées. Le risque d'incendie pourrait ainsi concerner une bonne partie des forêts de production.

Summary

Impact of climate change on forest wildfires

Climate change has been under way since the industrial revolution. During the last century, the average worldwide temperature has increased overall by 0.8°C. Natural factors linked to variations in solar energy, volcanic eruptions... induce modifications to climate. Nevertheless, the international scientific community is very largely in agreement in attributing the main cause of this change to an increase in the atmospheric concentrations of greenhouse gases generated by human activity. The decade of the 1990s saw the biggest warming of the 20th century.

The GIEC (IGCC – intergovernmental group on climate change), in its report of April 2007, compares an average scenario for the periods 1980-1999 and 2080-2999 and on this basis predicts that :

- average annual temperatures around the Mediterranean Rim are likely to rise by between 2.2°C and 5.1°C, with summer temperatures no doubt going up even more than the average ;
- annual mean rainfall levels are expected to fall just about everywhere in the Mediterranean region, with forecasts of -4% to -27%, depending on the model. Around the Mediterranean, the biggest drops are predicted for the summer ;
- the number of extreme events, such as the heatwave of 2003, are also likely to increase ;
- the first effects of climate change on vegetation are already visible around the Mediterranean Rim, notably on the Scotch pine in the higher Var (Provence, France), on firs in the Vésubie region and on the Mont Ventoux (Provence, France) and in the Aude (South-Central France). As to changes in the distribution of species, Peñuelas *et al.* (2003) observed on the Montseny, in Spain, that the lower limit for beech moved up 70 m from 1950-2000, with the holm oak encroaching at middle altitudes. A retrospective study of statistics on wildfire (occurrence, surface areas) for the last century, when compared to data on climate, shows that a change in the regime of wildfire is already under way. Piñol *et al.* (1998) have shown that in Catalonia, the frequency of wildfires since the beginning of the 1970s has risen hand in hand with the increase in global temperatures ;
- concerning predictions, a certain number of studies have highlighted the potential impact of climate change on vegetation. The Carbofor project forecasts a northerly extension of the bioclimatic zones colonised by Mediterranean species. The potential area for Mediterranean-type woodlands in France could well go up by 9%-28% by 2100. Thus, we can expect a rise in the frequency of wildfire in areas that are neither used to, nor prepared for them. Indeed, wildfire may come to involve a big part of productive forests.

Bilan des dépérissements forestiers dans les Alpes-de-Haute-Provence

par Patrick LE MEIGNEN et Lilian MICAS

A travers ce témoignage, nous pouvons constater que les effets des changements climatiques sont déjà en œuvre sur certains peuplements. Ainsi, les premiers signes de dépérissement des forêts de la zone préalpine des Alpes-de-Haute-Provence, conséquence directe de la canicule de 2003, sont bien visibles. Les répercussions, tant du point de vue des risques liés aux incendies ou à des reprises d'érosion, que du point de vue paysager ou encore de la valeur des bois, sont importantes. Ces événements vont redessiner le paysage des Alpes du Sud et amener les gestionnaires à définir une autre sylviculture.

Introduction

Le département des Alpes-de-Haute-Provence, d'une superficie totale de 700 000 ha, est boisé au taux de 49 %.

L'Office national des forêts (ONF) y gère plus de 186 000 ha d'espaces forestiers et pastoraux, soit 25% de ce territoire des Alpes du Sud, avec 209 unités de gestion. Celles-ci sont réparties dans tous les étages altitudinaux et de végétation depuis les formations méditerranéennes en colline, au sud-ouest, en limite du Vaucluse, jusqu'aux pelouses alpines, au nord-est, notamment en Ubaye et dans le Haut-Verdon.

Les boisements domaniaux sont importants en surfaces et issus, en grande partie, des opérations RTM (Restauration des terrains en montagne) conduites depuis la fin du XIX^e siècle, afin de stopper les phénomènes d'érosion et leurs conséquences pour les personnes et les biens, à l'appui des ouvrages de correction torrentielle introduits à la même époque. A partir des dernières données de l'Inventaire forestier national (IFN), les principales essences forestières relevées dans l'ordre décroissant d'importance, sont les suivantes :

- les pins sylvestres,
- les pins noirs,
- les mélèzes,
- les formations de chênes blancs et de hêtre,
- les sapins et épicéas.

Il est important de rappeler quelques définitions de base. Tout d'abord, le terme « dépérissement » est avant tout un terme de symptomatologie qui traduit : « *une altération durable de l'aspect extérieur des*

arbres (mortalité d'organes pérennes, réduction de la qualité et de la quantité du feuillage) et une réduction de la croissance. Ces anomalies correspondent à une détérioration globale de la santé de l'arbre. La mort d'un certain nombre de sujets est observée, mais l'issue n'est pas obligatoirement fatale même si la situation est préoccupante » (DELATOUR, 1990 ; NAGELEISEN, 2006).

Il s'agit d'un « phénomène complexe évolutif, dans lequel interviennent des facteurs de plusieurs types : prédisposants, déclenchants, aggravants, en partie interchangeables » (MANION, 1981).

Selon le Département Santé des forêts (DSF), un arbre dépérissant est un arbre dont le houppier a perdu plus de 50 % de ses ramifications (mortalité, chute, réduction) (NAGELEISEN, 2006).

Les constats

Les premiers signes de dépérissement sont apparus dans les Alpes-de-Haute-Provence, dès le mois de janvier 2004, sur la commune de Peyroules, au sud-est du département, en limite du Var et des Alpes-Maritimes. Ils se sont répandus sur l'ensemble des Préalpes de Castellane (Triangle Barrême, Saint-

André-les-Alpes, Castellane), au cours de l'hiver. Au printemps 2004, les symptômes se sont étendus à l'ensemble des Préalpes de Haute Provence (Cf. Photo 1).

Les premiers peuplements touchés furent des pinèdes sylvestres en versant nord ou est, sur des sols relativement profonds. Ces dégâts étaient la conséquence directe de la canicule de 2003. En effet, ces peuplements, par leur exposition abritée, n'avaient pas « l'habitude » de souffrir de la chaleur. Le dépérissement fut aggravé par le manque chronique, en 2004, de précipitations et le déficit d'enneigement. Au cours de l'été, d'autres essences — pin noir d'Autriche, pin à crochets et sapin pectiné — furent atteintes à leur tour, ainsi que le pin sylvestre sur sol squelettique (affleurements rocheux, bancs calcaires et marnes) et des expositions plus difficiles (sud et sud-ouest).

Dès l'apparition des premiers dégâts s'est posée la question de la mesure de l'ampleur du phénomène.

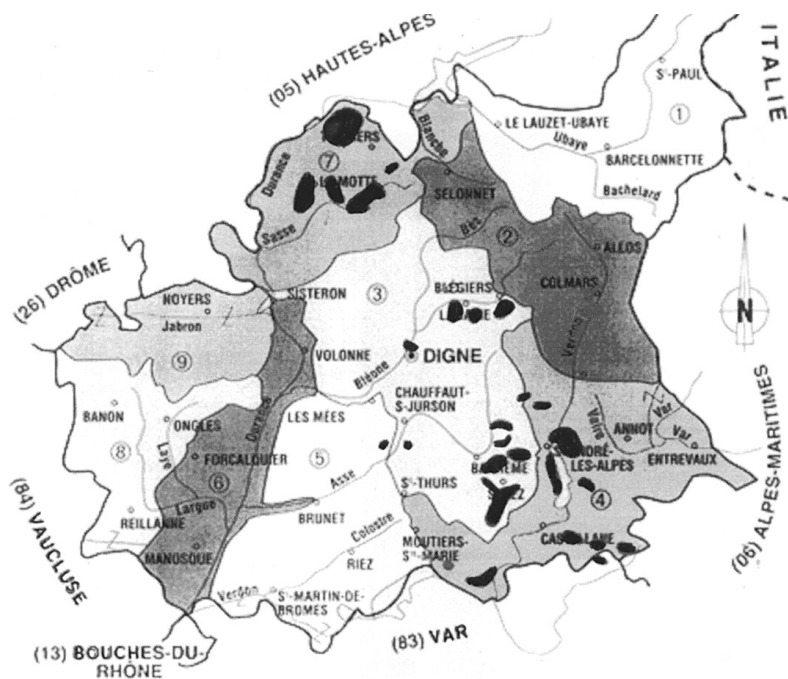
La réponse apportée fut d'établir une cartographie des peuplements, dressée sur le terrain, par vision lointaine des changements de couleur des arbres (rougissement), à l'aide d'une planche de référence des pourcentages de décoloration. Cette solution décidée conjointement par le Département Santé des forêts (Serge Normand) et l'Office national des forêts (Lilian Micas) est facilitée par le relief de la région affectée qui permet, presque toujours de se positionner sur le versant en face et d'avoir une vue complète de la zone à cartographier. Sur le terrain, la cartographie est réalisée aux échelles 1/10 000^e ou 1/25 000^e, puis l'ensemble est compilé au 1/100 000^e, à la demande du DSF.

Afin de pouvoir utiliser ces données dans l'avenir, l'ensemble des cartes a été saisi pour être numérisé et analysé, à l'Agence ONF de Digne, sur un système d'information géographique.

Ces précieuses données concernent les années 2004 et 2005, années où le dépérissement a été suivi d'une mortalité de masse. En effet, plus de 90% des pins sylvestres signalés dépérissants sont morts au cours de ces deux années.

Elles ont permis de mettre en évidence un axe nord-ouest/sud-est, couvrant la zone Préalpine des Alpes-de-Haute-Provence. La surface totale de forêt touchée dans le département était d'environ 10 000 ha pour les deux années, tous propriétaires confondus.

Carte 1 :
Dépérissement résineux
(en noir) dans les Alpes-
de-Haute-Provence,
années 2004 - 2005



Le taux de dépérissement est très variable suivant le peuplement (pur ou mélangé), l'essence ou la nature du sol ; il varie de 10 % (limite de prise en compte du phénomène) à 80% pour les peuplements les plus atteints.

Le pin sylvestre représente à lui seul 90 % de la surface et les taux les plus élevés. Le pin noir a surtout souffert sur les sols difficiles (marnes pures et compactes). Le pin à crochets, déjà en difficulté ces dernières années, car souvent planté au XIX^e siècle hors de son optimum écologique, a connu de fortes mortalités, mais il occupe de faibles surfaces.

Enfin, le sapin pectiné a réagi par des jaunissements d'aiguilles et la chute de celles-ci, réduisant leur nombre habituel d'années d'aiguilles de 7-9 années, à 4 ou 5 années. Les arbres présentaient des silhouettes clairsemées, mais la mortalité a été ponctuelle, et n'a rien de comparable avec les problèmes que connaît cette essence dans l'Aude ou dans les Alpes-Maritimes. Il est étonnant de constater une reprise des signes de dépérissement en 2007 sur cette essence, alors que la situation s'améliorait depuis 2005. Il est vrai également que les déficits pluviométriques furent marqués au cours de cette année.

La synthèse nationale des dépérissements de résineux, contenue dans la base technique du DSF, montre bien que l'axe Préalpin nord-ouest/sud-est des dégâts, mis en évidence dans les Alpes-de-Haute-Provence, se prolonge au nord, dans la Drôme et les Hautes-Alpes, au sud, dans le Var et les Alpes-Maritimes.

Fin 2005, la situation du pin sylvestre, essence toujours la plus touchée, était la suivante :

- des versants entiers morts ou presque ;
- d'autres aux peuplements encore vivants mais très affaiblis.

A partir de 2006, les choses évoluent : nous assistons à la fin des mortalités de masse, mais les dépérissements se poursuivent, plus sournois car moins visibles. Ils se présentent sous forme de mortalité disséminée dans les peuplements, d'arbres vivants mais très faibles, de pertes d'années d'aiguilles et de jaunissement d'une partie des houppiers.

Ils sont aggravés par un hémiparasite thermophile, le gui (*Viscum album* ssp. *austriacum*) qui « pompe » l'arbre en eau et en éléments minéraux pour réaliser lui-même sa photosynthèse. Ce gui, très abondant



dans toutes les pinèdes sylvestres, noires ou à crochets, des Préalpes du Sud, entraîne une réduction de la masse des aiguilles, laquelle, combinée à la sécheresse, accroît la mortalité des pins (RIGLING *et al.*, 2006).

Autre facteur aggravant : la sécheresse plus que persistante qui sévit depuis 2003 et qui se poursuit jusqu'à cet automne 2007, extrêmement sec. Météo-France estime que le déficit hydrique cumulé en région méditerranéenne depuis 2003 correspond à plus d'une année moyenne de précipitations. Les faibles précipitations en période d'activité des arbres ne sont même plus compensées par les pluies et les chutes de neige hivernales. Les symptômes se caractérisent par des jaunissements estivaux dès août, des pertes précoces de feuilles, dès le mois de septembre.

Il doit être souligné également que le dépérissement atteint maintenant de nouvelles

Photo 1 :

Les premiers peuplements touchés par les dépérissements dans les Alpes-de-Haute-Provence sont les pinèdes sylvestres, dès 2004

Photo ONF

essences comme le hêtre ou le chêne pubescent. Pour le hêtre, il est aggravé par la pollution à l'ozone comme nous avons pu le constater sur les hêtraies des environs de la Motte-du-Caire, en 2007, où plus de 600 ha présentaient des signes de dépérissement, y compris dans les stations les plus favorables (Cf. Photo 2).

Pour le chêne pubescent, le problème est ancien, puisque les précédents correspondants du DSF des Alpes-de-Haute-Provence, signalaient des mortalités de rameaux, dès la fin des années 80 (REBOUL D., communication personnelle). Après une période plus favorable à la fin des années 90, une reprise de ce phénomène a eu lieu depuis 2003. Cette mortalité touche les rameaux de la périphérie du houppier, et peut aller jusqu'à la mort de grosses branches. On note, également, depuis trois ans une augmentation et une remontée en altitude des dégâts du bupreste du chêne (*Coroebus florentinus*).

Photo 2 :

Le hêtre présente de nombreux signes de dépérissement, aggravés par la pollution à l'ozone
Photo ONF



Les conséquences

Les conséquences de ces dépérissements et mortalités sont multiples dans notre département.

En premier lieu, la masse de combustible énorme créée par ces arbres en partie secs ou morts, augmente les risques d'incendies et leurs conséquences (puissance des feux et vitesse de propagation). Près des axes routiers publics, l'enchevêtrement de troncs avec la végétation basse entrave le déplacement et l'action des pompiers. Or, notre département a déjà payé un lourd tribut aux feux de forêts, au cours de ces dernières années, avec, entre autres, les incendies majeurs de Saint-André-les-Alpes en 1982 (2000 ha) et ceux de Manosque (430 ha) et de Gréoux - Esparron (2013 ha), en 2005.

Le deuxième risque est celui d'une reprise de l'érosion, la plupart des forêts jouant un rôle essentiel dans le maintien des sols. Les pinèdes noires, mais aussi de nombreux autres résineux touchés, sont issus des anciens périmètres RTM (Restauration des terrains en montagne) et à ce titre participent à la protection des villages, des infrastructures routières et des terrains agricoles. Les pinèdes sylvestres, constituées le plus souvent d'accrus naturels à la suite de friches assises sur la très forte déprise agricole qui suivit la seconde guerre mondiale, n'étaient pas des peuplements de protection, à l'origine. Elles ont, tout de même, tenu ce rôle au cours des soixante dernières années, évitant de coûteux reboisements et jouant un rôle protecteur pour les feuillus qui ont pu s'installer en sous-étage.

Ces pinèdes présentent également une importance non négligeable dans l'activité de la filière bois des Préalpes du Sud. Même si ces pins ont pour destination principale la pâte à papier, la dégradation technologique du matériau bois n'est pas sans effet sur leur valeur et sur leur commercialisation. De surcroît, les conditions d'exploitation de ces arbres secs sur pied sont rendues plus dangereuses pour les opérateurs.

Enfin, un dernier point est à souligner, pour un département comme les Alpes-de-Haute-Provence où le tourisme constitue une des principales activités économiques : ce sont la dégradation des paysages et les risques d'accidents pour les promeneurs. Des pans de montagne couverts de squelettes

d'arbres morts n'offrent pas une image de promotion de la région auprès des touristes qui viennent ou veulent la visiter, tout en évoquant aussi les possibles chutes d'arbres fragilisés, sur certains itinéraires de randonnée (Cf. Photo 3)

Toutefois, nous avons quelques raisons d'espérer. On peut penser, en effet, que l'on va assister, dans un avenir proche, à un changement dans la composition de cette forêt préalpine. Une nouvelle dynamique forestière se fait jour, assise davantage sur des essences aujourd'hui secondaires, telles que les érables, les alisiers, les merisiers, les tilleuls ou des résineux plus résistants comme le cèdre, ou plus haut en altitude, le mélèze.

Cependant, il faudra surveiller, dans les années à venir, la réaction des feuillus qui vont brutalement être mis en lumière par la disparition de la couverture offerte par les pins, car il est probable que certains auront du mal à supporter le stress engendré par cet éclaircissement brutal (VENNETIER M., 2006, communication personnelle).

Pour les résineux, la vigilance sera également de mise lorsque l'on voit les difficultés du cèdre de l'Atlas, au Maroc ou en Algérie (BENTOUATI A., 2007) ou bien les nombreuses infestations subies par le mélèze en zone préalpine avec des parasites de faiblesse comme la pourriture grise (*Botrytis* sp.), des insectes ravageurs comme le coléophore (*Coleophora laricella*) ou le kermès du mélèze (*Adelges laricis*) (MICAS L., 2006).

Ce qui est certain, c'est que les paysages des Préalpes du Sud vont être en partie redessinés, à moyen terme.

Conclusion

Nous avons connu deux phases distinctes, dans l'apparition et l'évolution des dépérissements :

- une période allant de 2004 à 2005, marquée par une mortalité de masse des pinèdes sylvestres, conséquence directe de la canicule de 2003 ;
- une deuxième période qui a débuté en 2006, et dont nous ne savons pas jusqu'à quand elle durera, qui se caractérise par la poursuite du dépérissement lié essentiellement à la sécheresse persistante.

L'analyse des différents éléments, nous permet de dire que les facteurs prédisposants sont l'âge avancé des peuplements (pins noirs, hêtre), des problèmes parasitaires récurrents (gui et scolytes sur pins sylvestres, infestation par les chenilles processionnaires) et, pour certaines zones, les faibles potentialités du sol.

Le facteur déclenchant fut, sans conteste, la canicule de 2003, même si des signes avant-coureurs étaient visibles lors des années précédentes.

Le déficit hydrique chronique, enregistré depuis plus de quatre ans, constitue le facteur aggravant.

Les mesures à prendre sont avant tout sylvicoles, les gestionnaires forestiers seront amenés à définir une autre sylviculture, à la fois adaptative et anticipative. Des réponses techniques sont possibles à partir des pistes ouvertes par la recherche appliquée et celles issues de l'observation de terrain. Pour autant, il ne faudrait pas que les évolutions climatiques actuellement constatées connaissent une nouvelle accélération dans un sens négatif pour certains paramètres, car la capacité d'adaptation des essences forestières serait alors vite dépassée.

P.L.M., L.M.

Patrick LE MEIGNEN
Directeur de l'Office national des forêts des Alpes-de-Haute-Provence
Mél : patrick.le-meignen@onf.fr

Lilian MICAS
Technicien opérationnel
Unité ONF de St-André-les-Alpes
Correspondant départemental du réseau «Département Santé des Forêts»
Mél : lilian.micas@onf.fr

Photo 3 :
Les dépérissements ont également pour conséquence une dégradation des paysages et des risques d'accident pour les promeneurs
Photo ONF



Bibliographie

- BENTOUATI A. - Communication au colloque "Changements climatiques et forêt méditerranéenne" La situation du cèdre de l'Atlas en Algérie. Université de Batna. Marseille. 2007.
- DELATOUR C. - Déperissement des chênes et pathogènes - *Revue Forestière Française*, vol. 42, n° 2, 1990 pp. 182-185.
- MANION P.D., - TREE DISEASE CONCEPTS. Englewood Cliffs, New Jersey, USA, Prentice-Hall. 1981.
- MICAS L. - Courrier du Département Santé des Forêts, Alpes-de-Haute-Provence. Bilan annuel. 2006
- NAGELEISEN L.M.- Communication au colloque "Changement climatique et adaptation de la gestion forestière". Département de la Santé des forêts. Paris, 2006.
- RIGLING A.; DOBBERTIN M.; BURGI M.; GIMMI U.; GRAF PANNETIER E.; GUGERLI F.; HEINIGER U.; POLOMSKI J.; REBETEZ M.; RIGLING D.; WEBER P.; WERMELINGER B.; WOHLGEMUTH T. - Les chênes pubescents chassent-ils les pins sylvestres valaisans ? Institut fédéral de recherches WSL Birmensdorf, 2006.

Résumé

Les premiers signes de dépérissement visibles des forêts de la zone préalpine des Alpes-de-Haute-Provence, conséquence directe de la canicule de 2003, ont été observés dès le début de l'année 2004. Ce phénomène a perduré jusqu'à fin 2005, aggravé par un déficit hydrique chronique. Il a pris alors la forme de spectaculaires mortalités de masse atteignant essentiellement le pin sylvestre. Depuis ces deux dernières années, d'autres essences, y compris feuillues, ont été concernées sans que la mortalité ou les surfaces atteintes soient aussi importantes que pour le pin.

Pour mesurer l'ampleur du phénomène, une cartographie des peuplements affectés du département des Alpes-de-Haute-Provence a été lancée par le Département Santé des forêts et l'ONF en 2004 et 2005. Depuis, les mortalités de masse ont cessé, mais les dépérissements se poursuivent touchant d'autres essences. Ce phénomène, devenu plus sournois car moins visible, est certainement aggravé par des parasites, la pollution et une sécheresse plus que persistante.

Les conséquences, tant du point de vue des risques liés aux incendies ou à des reprises d'érosion, que du point de vue paysager ou encore de la valeur des bois, sont importantes.

Ces événements vont redessiner le paysage des Alpes du Sud et amener les gestionnaires à définir une autre sylviculture.

Summary

Status of coniferous forest decline in "Alpes-de-Haute-Provence"

First signs of obvious forest decline in the Prealpine zone of « Alpes de Haute Provence » are the direct result of 2003's heat wave. Such signs were noticed from the beginning of 2004 and the phenomenon has till the end of 2005. A chronic deficit in rainfall has made it worse.

Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands were especially damaged and most of them died.

For the last two years other species (included deciduous forest) have been involved but over smaller surfaces and not with the same intensity. To take the measure of the decline, a cartography has been established by the State Service for Forest Health.

For the last two years, pines have continued to decline but less than before. In any case, pollution, long droughts and parasites have worsened the decline.

The prevailing situation is going to :

- induce more risks of fire and soil erosion...

- alter landscapes.

- depreciate softwood value.

In conclusion, forest management and silviculture have to adapt to these events which are going to change considerably both landscape and forest economics.

Les effets de la canicule et de la sécheresse sur la forêt de la Massane (Pyrénées Orientales)

par Joseph GARRIGUE, Jean-André MAGDALOU et Christophe HURSON

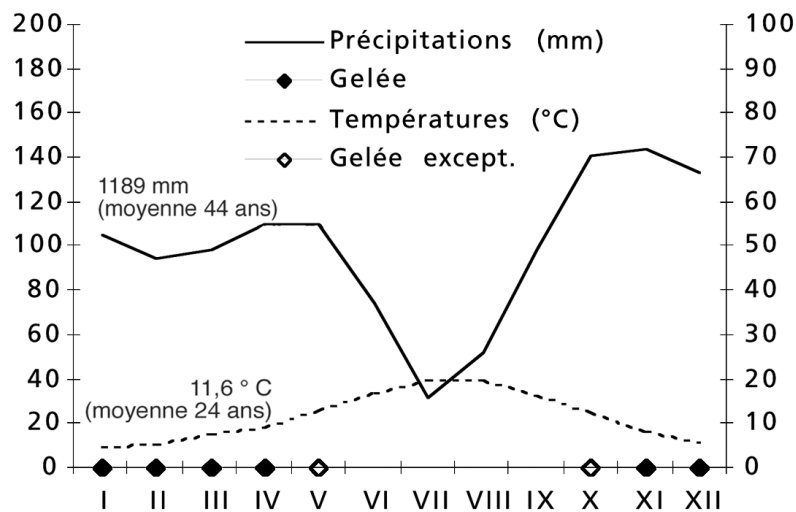
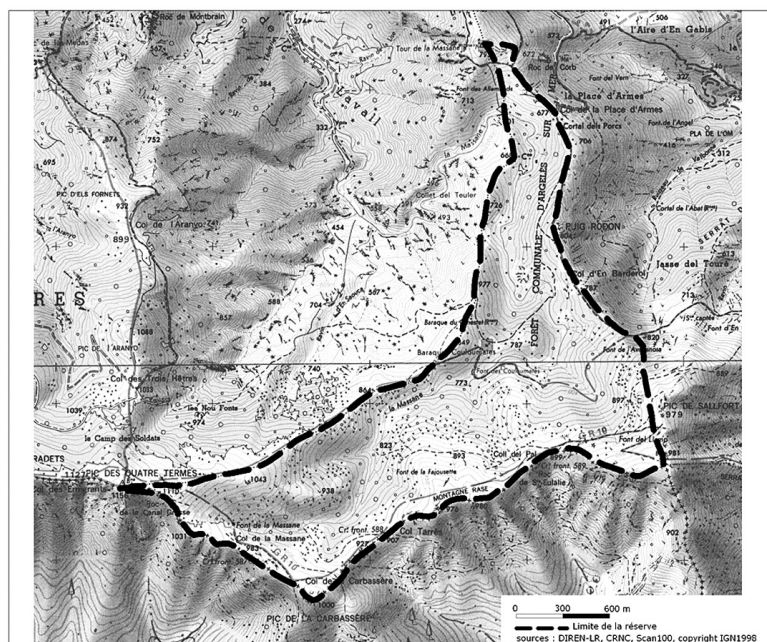
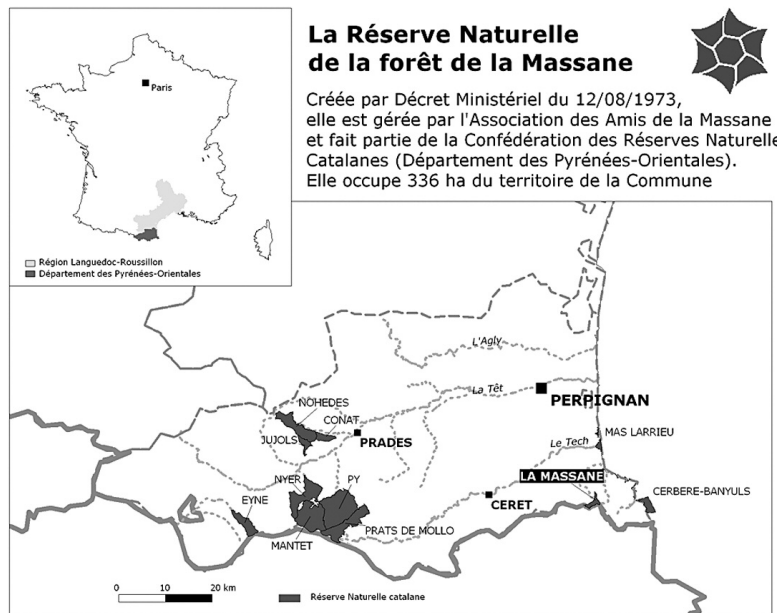
Depuis 2003, la réserve naturelle de la Massane subit les effets des canicules et des sécheresses répétées. De nombreux travaux ont été menés sur le site, qui ont permis de suivre l'impact de ces phénomènes sur les écosystèmes.

Située à l'extrémité orientale des Pyrénées, la Réserve naturelle de la Massane appartient au massif de l'Albera. Elle occupe toute la haute vallée de la rivière Massane, de 600 à 1158 m d'altitude sur la commune d'Argelès-sur-Mer. Créée par un arrêté ministériel du 30 juillet 1973, elle protège 336 hectares. C'est la sixième au niveau national, l'une des plus anciennes. Au fil du temps, elle est devenue une station de référence en Europe et cumule plusieurs statuts de protection : Réserve biogénétique du Conseil de l'Europe, Réserve naturelle, Réserve de chasse, ZNIEFF, ZICO, puis faisant partie de la ZPS et de la ZSC (Natura 2000) de l'Albera.

Depuis la création du Laboratoire Arago à Banyuls-sur-Mer (Université de Paris VI) en 1882, de nombreux travaux ont été menés sur le site, ce qui en fait un des espaces naturels les mieux connus en France avec près de 6000 espèces répertoriées.

Elle est constituée principalement de hêtres et est considérée comme une hêtraie méridionale. L'exploitation forestière a été abandonnée à la fin du XIX^e siècle et la seule activité qui subsiste est l'élevage extensif de bovins.

ZNIEFF : Zone naturelle d'intérêt écologique,
faunistique et floristique
ZICO : Zone d'intérêt communautaire
pour les oiseaux
ZPS : Zone de protection spéciale
ZSC : Zones spéciales de conservation



Un suivi météorologique est effectué depuis 44 ans et permet de présenter le diagramme ombrothermique en figure 1.

Ce diagramme est caractéristique d'un climat de type méditerranéen, avec un creux estival marqué, mais il ne montre pas la grande variabilité de la pluviométrie. Une grande partie des eaux reçues lors de pluies torrentielles automnales ou printanières n'est que partiellement assimilable par la végétation. Elle l'est encore moins sur les versants pentus sur lesquels le transfert des eaux pluviales vers les fonds de vallée est encore plus rapide.

D'après QUÉZEL & MÉDAIL (2003) dans leur ouvrage « *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen* », si l'on place la Massane en fonction des valeurs de la moyenne des minima du mois le plus froid, c'est-à-dire janvier avec 1,9°C, cette hêtraie se trouve en situation exceptionnelle dans l'étage méso-méditerranéen selon tous les auteurs cités.

Face aux nombreuses interrogations quant à la fréquence future d'épisodes climatiques exceptionnels, la Réserve naturelle dispose depuis 1999 d'une base de données cartographique permettant un suivi individuel de plus de 30 000 arbres de trente espèces différentes, sur une surface de 28,8 ha correspondant à 15% de l'habitat forestier de la Réserve naturelle, dont 9,4 ha en réserve intégrale et 19,4 ha en ripisylve.

Cette base de données nous permet d'avoir une information sur l'état physiologique des arbres avant l'épisode climatique exceptionnel de 2003. A partir de cette connaissance, les données relevées postérieurement permettent de préciser l'évolution de l'état physiologique des individus due en partie aux contraintes hydriques et thermiques de l'été 2003, puis celles de 2006.

Petit rappel sur l'évènement de 2003, la Massane n'a pas échappé à la situation que l'on a connue sur l'ensemble du territoire : quatre mois consécutifs très secs, avec seulement 30 mm de juin à août ; la canicule d'août avec des maxima supérieurs à 30° C pendant 19 jours, dont 14 jours consécutifs à partir du 1^{er} août (température record enregistrée le 13 août avec 37,3°C).

Fig. 1 :
 Diagramme ombrothermique (P=2T)
 inspiré de R. FOLCH I GUILLEM (1981)

On voit sur le diagramme ombrothermique (Cf. Fig. 2), l'étendue de cette conjonction sécheresse et canicule, de mi-juin à mi-septembre.

Sur les trente espèces représentées dans les suivis, seize sont concernées par des cas de mortalité. Parmi celles-ci, le hêtre (*Fagus sylvatica*), le chêne pubescent (*Quercus humilis*) et l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) sont les plus touchées.

Le cas du hêtre

4,14% des hêtres semblent avoir succombés à la conjonction canicule-sécheresse de 2003 et 15,42% ont présenté un dessèchement pendant les périodes de végétation 2004 et 2005 (Cf. Fig. 3).

Le cas de l'aulne

C'est l'essence qui a payé le plus lourd tribut à cet épisode. Plus de 12% des arbres sont morts. Les causes sont à rechercher également dans les événements antérieurs qui ont affectés la ripisylve, notamment la crue violente de novembre 1999 qui avait endommagé de nombreux arbres (Cf. Fig. 4).

Sur l'ensemble du peuplement étudié en décembre 2002, la proportion d'arbres morts (souches et chandeliers) est de 9,4%, c'est-à-dire au plus loin où l'on puisse remonter dans l'évaluation des mortalités. Cette mortalité passe à 11,9% en novembre 2005, soit une augmentation de 2,5 points.

Et en 2006 ? Mêmes constats : une sécheresse importante : 63,8 mm seulement, d'avril à août et un épisode caniculaire en juillet avec 20 jours au dessus de 30°C. Août sera plus frais avec aucune journée au-dessus de 30°C et seulement 10 jours au dessus de 25°C.

4,5% des arbres sont morts sur l'intervalle 2003-2007. Une analyse par classes de diamètres permet de préciser ce taux de mortalité : 15% des arbres de diamètre supérieur à 50 cm par exemple. On peut dire, sur ce point, que ce type d'évènement a accéléré la mortalité des vieux sujets.

2601 arbres sont concernés par des cas de dépérissement (mortalité de branche ou descente récente de cimes). Sur les 1728 dont on a l'information, 37% sont encore vivants, 17% sont morts l'année suivante, 12% meurent après deux années consécutifs de dépérissement, et 34% suite à trois années.

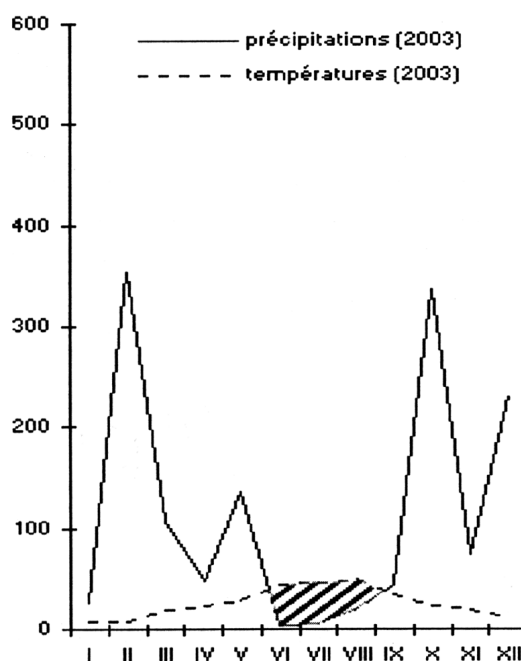


Fig. 2 : Graphiques ombrothermiques (P=2T) d'après les enregistrements de la station de la Massane pour l'année 2003.

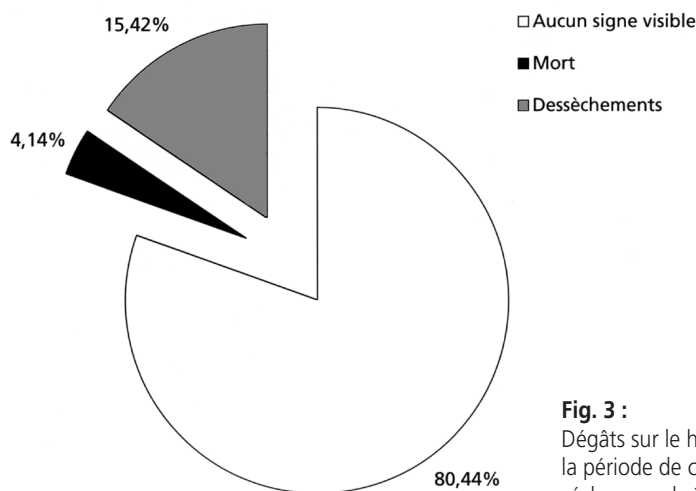


Fig. 3 : Dégâts sur le hêtre après la période de canicule-sécheresse de 2003

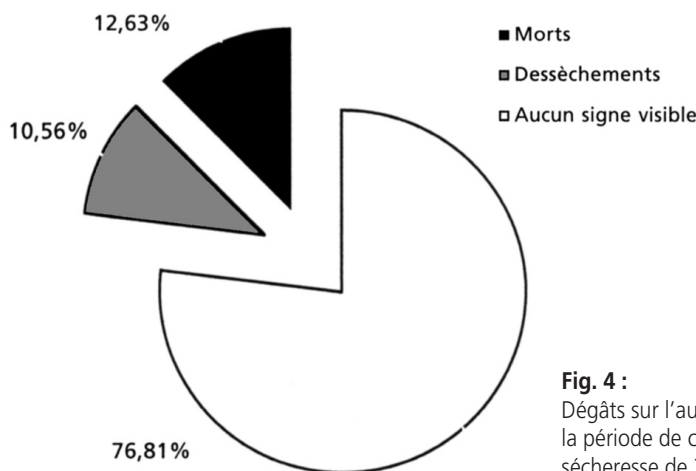


Fig. 4 : Dégâts sur l'aulne après la période de canicule-sécheresse de 2003

A qui profite le crime ?

Entre 2003 et 2007, 587 arbres morts supplémentaires sont répertoriés dans la réserve intégrale. L'inventaire des différents groupes d'espèces, permet de constater l'importance du bois mort et des cavités à travers la richesse spécifique (sous réserve de connaître la biologie des espèces) : 34% des champignons sont dépendants du bois mort, 37% des Coléoptères et ce chiffre peut

monter à plus de 90% si l'on s'en réfère à des groupes comme les myxomycètes. 26% des mammifères dépendent de la partie morte des arbres avec les gîtes dans les cavités, et 17% des oiseaux.

Ce qui a pu être mesuré, c'est l'augmentation du nombre d'arbres atteints par des champignons lignicoles. Une trentaine d'espèces est incluse dans la base, mais c'est surtout sur trois espèces que reposent la plupart des observations : l'amadouvier (*Fomes fomentarius*) et *Oudemansiella mucida* sur le hêtre, et *Inonotus radiatus* sur les aulnes. Suite à l'évènement climatique de 2003, le nombre d'arbres touchés par champignons a été multiplié par quatre en 2005.

Si l'on prend l'exemple de l'amadouvier (*Fomes fomentarius*), chaque sporophore correspond à un microhabitat dans lequel toute une faune se développe et participe à sa décomposition. Rien que pour les Coléoptères, 26 espèces se succèdent avant le stade ultime de décomposition dans lequel on va trouver le rare Tenebrionidae *Bolitophagus reticulatus*. A travers cet exemple, on voit bien toutes les espèces à qui profitent de tels évènements climatiques.

On peut citer également les principaux groupes de microarthropodes qui ont été suivis durant 14 ans sur un hêtre de 1,20 m de diamètre tombé au sol (J. TRAVÉ, F. DURAN, 1999). La densité moyenne annuelle de l'ensemble des microarthropodes récolté est très élevée avec 893,3 individus par 100 g de poids sec : on se rend bien compte que le bois mort est un milieu qui grouille de vie !

Les espèces patrimoniales d'invertébrés à la Massane sont toutes liées au bois mort ou déperissant, que ce soit la Rosalie alpine (*Rosalia alpina*), le Lucane cerf-volant (*Lucanus cervus*), le Grand capricorne (*Cerambyx cerdo*) ou la plus grande cétoine d'Europe (*Osmoderma eremita*).

Autres perturbations pouvant avoir une influence sur l'écosystème forestier

L'ampleur des conséquences sur les peuplements forestiers (mortalité, déperissement) d'évènements climatiques comme ceux de l'été 2003 dépendent souvent des accidents antérieurs ou des contraintes à venir.

Inventaire faunistique et floristique de la réserve naturelle de la Massane

| | | | | | |
|-------------------------|-------------|-----|-------------------------------|-------------|-----|
| FUNGI | 710 | | Insectes | 3186 | |
| Champignons | 432 | ** | <i>Collemboles</i> | 80 | *** |
| Lichens | 278 | *** | <i>Thysanoures</i> | 7 | ** |
| VEGETAUX | 898 | | <i>Diploures</i> | 4 | ** |
| Muscinées | 186 | *** | <i>Protoures</i> | 3 | ** |
| Cryptogames vasculaires | 18 | *** | <i>Ephéméroptères</i> | 22 | ** |
| Phanérogames | 694 | *** | <i>Odonates</i> | 20 | ** |
| PROTISTES | 133 | | <i>Plécoptères</i> | 26 | ** |
| Thécamoebiens | 44 | *** | <i>Orthoptères</i> | 48 | *** |
| Gregarines | 14 | ** | <i>Phasmidés</i> | 2 | *** |
| Myxomycètes | 75 | *** | <i>Dermaptères</i> | 3 | *** |
| ANIMAUX | 4142 | | <i>Embioptères</i> | 2 | *** |
| Invertébrés | 3987 | | <i>Dictyoptères</i> | 7 | ** |
| Hydraires | 1 | ** | <i>Isoptères</i> | 1 | *** |
| Turbellaries | 8 | * | <i>Psocoptères</i> | 5 | * |
| Nématodes-Gardiens | 35 | * | <i>Hétéroptères</i> | 123 | *** |
| Trématodes | 3 | * | <i>Homoptères</i> | 21 | * |
| Cestodes | 9 | * | <i>Thysanoptères</i> | 1 | * |
| Annélidés | 40 | ** | <i>Névroptères</i> | 6 | * |
| Mollusques | 35 | ** | <i>Mécoptères</i> | 1 | * |
| Tardigrades | 5 | * | <i>Lépidoptères</i> | 383 | *** |
| Crustacés | 23 | * | <i>Trichoptères</i> | 46 | ** |
| Arachnides | 597 | | <i>Diptères</i> | 430 | ** |
| <i>Scorpions</i> | 1 | *** | <i>Siphonaptères</i> | 5 | * |
| <i>Palpigrades</i> | 1 | * | <i>Hyménoptères : fourmis</i> | 60 | *** |
| <i>Araignées</i> | 253 | *** | <i>Hyménoptères : autres</i> | 254 | * |
| <i>Opilions</i> | 8 | *** | <i>Coléoptères</i> | 1626 | *** |
| <i>Pseudoscorpions</i> | 3 | ** | Vertébrés | 155 | |
| <i>Acarions</i> | 331 | ** | Poissons | 2 | *** |
| Myriapodes | 45 | | Amphibiens | 8 | ** |
| <i>Pauropodes</i> | 10 | ** | Reptiles | 12 | ** |
| <i>Symphyles</i> | 5 | ** | Oiseaux | 100 | *** |
| <i>Chilopodes</i> | 22 | ** | Mammifères | 33 | *** |
| <i>Diplopodes</i> | 8 | * | TOTAL | 5883 | |

Inventaire au 1^{er} octobre 2006. Les chiffres indiquent le nombre d'espèces recensées
* mal connues ** assez bien connues *** bien connues

Le milieu méditerranéen est déjà soumis à des gels tardifs, des vents violents ou bien des périodes de sécheresse ou de fortes chaleurs, de violentes précipitations... Tous ces événements, s'ils surviennent dans un avenir proche, viendront certainement aggraver les conséquences d'un événement climatique exceptionnel, tel que ceux de 2003 et 2006.

Les fortes crues ont un impact important sur l'écosystème forestier de la Massane, et viennent souvent se combiner aux autres perturbations. La crue du 5 septembre 2005 notamment, a emporté 69 arbres !

D'autres perturbations sont plus insidieuses, c'est le cas des polluants atmosphériques comme l'ozone. Durant l'été 2000, la Massane était le site le plus pollué de la côte des Pyrénées-Orientales. Ce polluant peut avoir un impact important sur les végétaux.

Conclusions

La sécheresse et la canicule doivent être considérées comme des perturbations majeures avec des répercussions visibles dès les années suivantes sur l'espérance de vie de certains arbres.

Cependant, elles ont des effets positifs sur la biodiversité, en particulier sur le maintien et le développement des espèces liées à la décomposition du bois mort (champignons, insectes, acariens...)

Même si on note une mortalité élevée chez les plus vieux arbres (de l'ordre de 15% pour la classe de diamètre de plus de 50 cm), nous n'avons pas d'informations qui nous permettent de remettre en cause le maintien de la hêtraie à la Massane suite à ce type d'événements climatiques.

Sous fortes influences méditerranéennes, la hêtraie de la Massane peut être considérée comme un poste avancé du changement climatique, étant déjà soumise à l'ensemble de perturbations dont les experts du climat prédisent une fréquence accrue sur tout le territoire : vents violents, sécheresses, canicules, fortes précipitations...

Conscients de sa responsabilité, le gestionnaire s'est doté d'un outil qui pourrait servir de modèle pour observer comment réagissent les peuplements forestiers face aux perturbations et plus particulièrement la hêtraie méditerranéenne.

Concernant l'intérêt de la non exploitation de la forêt, nous citerons le philosophe et photographe B. Boisson (1996) : « *Par rapport à ce tout transformé au fil des siècles par notre civilisation, la forêt restituée dans sa dimension sauvage devrait être considérée comme un "biotope primordial" ayant valeur de diapason pour nous faire sentir la justesse ou la dérive de toute intervention humaine.* »

J.G., J.-A.M. , C.H.

Bibliographie

- DALSTEIN, L. et al., 2004 – Dégradation de la forêt française en relation avec l'ozone, première approche. *Environnement & Technique* N°236 : 42-44
- Département de la santé des forêts (DSF), février 2004 – Sécheresse et canicule de l'été 2003, Quelle incidence visuelle sur les peuplements forestiers ? *Information Santé des Forêts*.
- FOLCH i GUILLEM, F., 1981 – Vegetació dels Països Catalans, Institució Catalana d'Història Natural, memoria num. 10 : 1-513.
- FROMAGE-MARIETTE, et al., 2001 – Mesure de l'ozone et des BTX par échantillonnage passif sur le littoral des Pyrénées-Orientales. Été 2000. Air Languedoc-Roussillon : 1-30 et 17 annexes.
- GARRIGUE, J, MAGDALOU, J.-A., 2000 - Suivi forestier & Cartographie assistée par Système d'Information Géographique ; Réserve naturelle de la Massane, Travaux 55 : 1-44 et carte.
- GARRIGUE, J, MAGDALOU, J.-A., 2003 - Suivi forestier & Cartographie assistée par Système d'Information Géographique ; Réserve naturelle de la Massane, Travaux 55 Complément n°1 : 1-7 et annexes.
- MAGDALOU, J.-A., HURSON, Ch., GARRIGUE, J., 2002 - Suivi ripisylve & Cartographie assistée par Système d'Information Géographique ; Réserve naturelle de la Massane, Travaux 62 : 1-28 et annexes.
- MAGDALOU, J.-A., HURSON, Ch., GARRIGUE, J., 2005 - Etude des effets de la conjonction sécheresse/canicule de 2003 sur la forêt de la Massane ; Réserve naturelle de la Massane, Travaux 72 : 1-38
- QUÉZEL, P., MEDAIL, F., 2003 - *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen* ; Ed. Elsevier : 572
- TRAVÉ, J., GARRIGUE, J., DURAN, F., 1996 – Le mésoclimat de la réserve naturelle de la Massane. Réserve naturelle de la Massane, Travaux 45 : 1-28
- TRAVÉ, J., DURAN, F., GARRIGUE, J., 1999 - Biodiversité, richesse spécifique, Naturalité. L'exemple de la Réserve naturelle de la Massane ; Réserve naturelle de la Massane, Travaux 50 : 1-30
- TRAVÉ, J., GARRIGUE, J., MAGDALOU, J.-A., 1996 – Plan de gestion de la Réserve naturelle de la Massane. Réserve naturelle de la Massane, Travaux 71 : 1-141 et annexes

Joseph GARRIGUE
Jean-André
MAGDALOU
Réserve naturelle de
la Massane,
Mél : massane.rn@
wanadoo.fr

Christophe HURSON
Fédération
des réserves
naturelles catalanes
Mél : christophe.
hurson@espaces-
naturels.fr

Résumé

Située à l'extrémité orientale des Pyrénées, la Réserve naturelle de la Massane appartient au massif de l'Albera. Elle occupe toute la haute vallée de la rivière Massane de 600 à 1158 m d'altitude sur la commune d'Argelès-sur-Mer. Elle est constituée principalement de hêtres et est considérée comme une hêtraie méridionale. L'exploitation forestière a été abandonnée à la fin du XIX^e siècle et la seule activité qui subsiste est l'élevage extensif de bovins. Depuis la création du Laboratoire Arago à Banyuls-sur-Mer (Université de Paris VI) en 1882, de nombreux travaux ont été menés sur le site, qui en font un des espaces naturels les mieux connus en France avec près de 6 000 espèces répertoriées. Un suivi météorologique est effectué depuis 44 ans.

Face aux nombreuses interrogations quant à la fréquence future d'épisodes climatiques exceptionnels, la Réserve naturelle dispose depuis 1999 d'une base de données cartographique permettant un suivi individuel de plus de 30 000 arbres de 30 espèces différentes, sur une surface de 28,8 ha correspondant à 15% de l'habitat forestier de la Réserve naturelle dont 9,4 ha en réserve intégrale et 19,4 ha en ripisylve.

Grâce à ces outils, il a été possible de suivre l'impact de la conjonction canicule et sécheresse de 2003, puis celle de 2006.

Sur l'ensemble du peuplement étudié, en décembre 2002, la proportion d'arbres morts (souches et chandeliers) est de 9,4% alors qu'elle est de 11,9% en novembre 2005, soit une augmentation de 2,5 points. De 2003 à 2007, 15% des arbres de plus de 50 cm de diamètre sont morts.

Les résultats montrent que ces épisodes climatiques doivent être considérés comme des perturbations majeures du milieu naturel.

Summary

The effects of prolonged heat and drought on the Massane forest (Pyrénées-Orientales, South-Central France)

Located at the extreme eastern (Mediterranean) end of the Pyrenees range, the Massane Nature Reserve forms part of the Albera massif, occupying the upper valley of the Massane River from 600m to 1,158m, in the municipality of Argeles-sur-Mer. It is mainly home to the beech and is considered to be a southern or Mediterranean beech forest. Forestry activity was abandoned at the end of the 19th century and today the only surviving activity is pastured (non-intensive) cattle raising. Since the establishment in 1882 of the Arago Research Laboratory (belonging to the University of Paris-VI), many studies have been conducted here, so that it is now one of France's best understood sites, with more than 6,000 species inventoried. Meteorological monitoring has been ongoing for the last 44 years.

Given the numerous imponderables linked to the frequency of exceptional climatic events to come, the Massane Nature Reserve has maintained a mapped database since 1999, permitting the individual monitoring of more than 30,000 trees from 30 species, covering 28.8 hectares. The area involved, corresponding to 15% of the Reserve's woodland habitat, is made up of 9.4 ha of complete reserve and 19.4 ha of riverside woodland. Thanks to such tools, it has been possible to monitor the impact of the 2003 heatwave as well as that of 2006.

For the whole of the area under study, the proportion of dead trees (stumps and standing skeletons) in December 2002 was 9.4%, whereas in November 2005 it was 11.9%, an increase of 2.5%. Between 2003 and 2007, 15% of trees of more than 50 cm diameter died.

The results show that these climatic events should be considered as disturbances.

Le dépérissement du sapin sur le plateau de Sault (Aude)

par Dominique MICAUX

La sapinière de l'Aude a subi à partir de 2003 de forts phénomènes de dépérissements liés à la sécheresse. L'importance des surfaces affectées a entraîné un changement de paysage, ainsi qu'un effondrement local des cours du bois. Aujourd'hui et dans l'optique du renouvellement de ce genre d'incident, les gestionnaires se posent la question de l'adaptation de la sylviculture de ces peuplements aux nouvelles conditions.

Situation géographique

Le Pays de Sault (Région IFN n° 813 « Inventaire forestier national ») est un territoire situé au sud-ouest du département de l'Aude avec à l'ouest une partie en Ariège et à l'est une partie dans les Pyrénées-Orientales. Sa surface est de 64 000 ha (Cf. Fig. 1).

C'est une région montagneuse appartenant à la chaîne pyrénéenne. Il est constitué d'un ensemble de plateaux et de crêtes creusées par les vallées.

Le climat est de type montagnard humide, marqué par deux influences principales :

- l'influence océanique avec des pluies de printemps, des vents de nord-ouest et un brouillard fréquent,
- l'influence méditerranéenne, moins marquée du fait de l'altitude (comprise en 800 et 1600 m).

La pluviométrie est de 1000 mm et la température moyenne annuelle de 9,3°C.

Les forêts du Pays de Sault sont pour la plupart des forêts de production. Le taux de boisement est de l'ordre de 67 % du territoire, dont 60 % en résineux (sapin 38 %) et 40 % en feuillus (hêtre 23%).

La forêt de production (sapinière - hêtraie) occupe principalement les versants nord.

Les versants sud sont plutôt occupés par le chêne pubescent et le buis.

Conséquences sur la gestion des peuplements

Fig 1 (ci-contre) :

La région IFN
du Pays de Sault,
64 000 ha
au sud-ouest
du département de
l'Aude

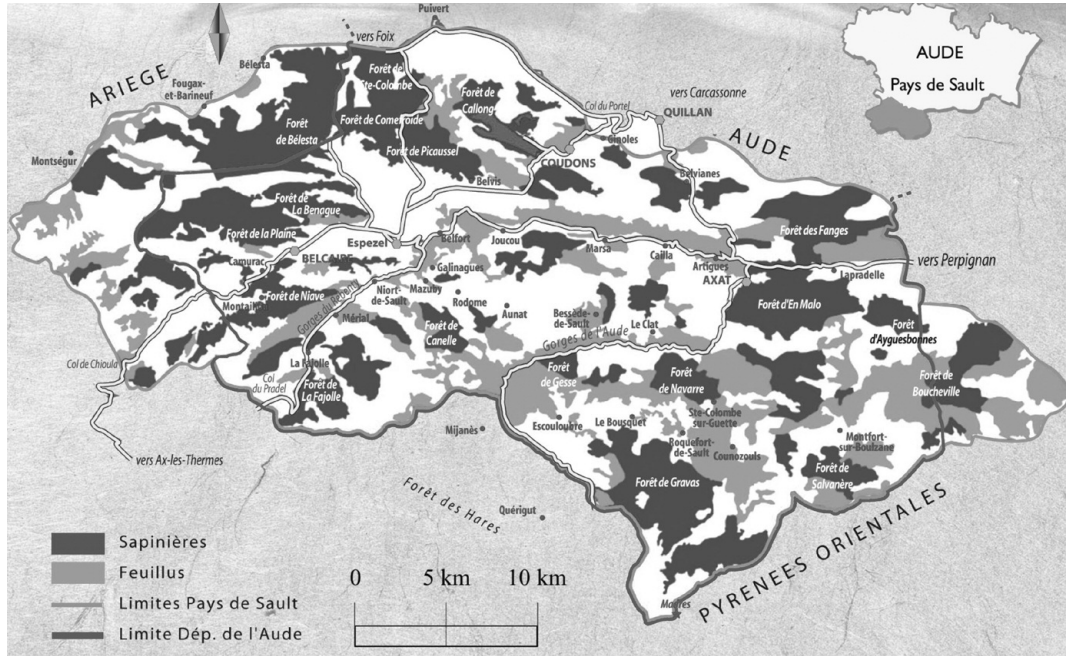


Photo 1 (ci-dessous) :

Sapinière – hêtre
en versant nord

Photo 2 (en bas) :

Pâturage d'altitude
Photos D. Micaux



La répartition des surfaces boisées est la suivante :

- forêts domaniales : 21% des surfaces boisées pour 1 477 millions de m³ sur pied,
- forêts communales : 24% des surfaces boisées pour 0,781 millions de m³ sur pied,
- forêts privées : 55% des surfaces boisées pour 1 735 millions de m³ sur pied.

Le Sapin occupe une part importante dans l'activité économique du plateau de Sault et pour certaines communes, la vente de bois représente une part non négligeable du budget communal.

Au-delà de 1600 à 1800 m d'altitude, on trouve souvent des pâturages d'altitude.

Le dépérissement

Suite à une succession d'incidents climatiques sur le Plateau de Sault en 2003, 2004 puis 2006, la sapinière a commencé à souffrir voire à disparaître, en premier lieu sur les sols superficiels et à faible réserve utile¹ des versants sud, sud-ouest et sud-est.

La période de sécheresse des mois de juin, juillet et août 2003 a été le facteur déclenchant, d'autant plus que cette sécheresse s'est doublée d'une canicule.

¹ - Réserve utile : quantité d'eau utilisable par les plantes contenue dans l'épaisseur du sol et prospectée par les racines.

Dès le début du mois d'août, les chênes pubescents stoppent leur activité et les feuilles roussissent.

A ce moment, la sapinière ne semble pas affectée, mais dès l'automne, les sapins perdent énormément d'aiguilles encore vertes. Au cours de l'hiver, les aiguilles virent au rouge et à la montée de sève, la catastrophe devient visible. Des centaines de sapins rougissent, parfois par parcelles entières. Par manque de chance, l'été 2004 bien que moins chaud, fut encore plus sec que l'été 2003, ce qui a accentué le phénomène de dépérissement.

Conséquences de ces dépérissements massifs sur la filière bois

Les arbres secs sont martelés et mis en vente. Parallèlement, certaines parcelles présentant des signes de faiblesse, situées sur des zones à risques et ayant atteint l'âge d'exploitabilité sont également mises en vente ; le but étant de vendre des arbres encore verts, mais présentant un fort risque de dépérissement dans les mois suivants.

Le marché du sapin sur le Pays de Sault est très local. Les acheteurs habituels ont été très rapidement saturés en bois sec et bois « anticipés ».

L'offre étant largement supérieure à la demande, les cours se sont effondrés. Les prix ne retrouveront un cours normal qu'à partir de 2007. Pour un prix de chablis en 2002 de 23 €/m³ en moyenne, on est passé à 18, 15 puis 14 €/m³ en moyenne. Des prix planchers de 8 €/m³ pour un volume unitaire de 2,5 m³ ont même été atteints. Cela pour les lots qui ont trouvé preneurs.

Les propriétaires forestiers (publics et privés) furent donc relativement démoralisés de ne pas ou peu vendre leurs chablis, même à bas prix.

De haut en bas :

Photo 3 : Roussissement des chênes pubescents

Photo 4 : Sapins dépérisants sur la forêt domaniale de la Plaine-Comus

Photo 5 : Parcelles où les peuplements de sapin ont complètement disparus

Photos D.M.





Conséquences de ces dépérissements sur les paysages

La conséquence immédiate, celle qui marqua le plus les esprits, car la plus spectaculaire, fut le changement de couleur du sapin sur certains versants du Pays de Sault.

Ensuite, au gré de l'évolution de l'arbre mort, les forêts sont passées du stade de cimetière d'arbre au stade de strate arbuscive, puis de vides à certains endroits.



Quelles solutions face à l'accident climatique ?

Sur le plateau de Sault, le sapin en dessous de 1 000 m d'altitude n'a probablement plus sa place. Il faut donc éviter de le régénérer ou alors en essence secondaire.

Changement d'essence ?

Une essence pourrait convenir et résister à ce genre d'incident : c'est le Cèdre de l'Atlas. Les peuplements en place sur le plateau, âgés d'une quarantaine d'années pour les plus anciens, n'ont pas subi de dépérissement, même pour ceux situés sur les parcelles les plus « ingrates ».

Mais une substitution d'essence ne peut s'envisager que par la plantation. Ces plantations auraient un coût d'autant plus élevé qu'il faudrait procéder à une protection totale des plantations (clôture de 2,5 m de haut). En effet, la présence de cerf sur le plateau avec les densités actuelles rend impossible une régénération artificielle du Cèdre sans engrillagement. Depuis les quinze dernières années, toutes les plantations de Cèdre se sont soldées par des échecs, malgré les répulsifs appliqués.

Changement de sylviculture ?

Il faut aussi et surtout conduire le Sapin d'une manière différente :

– adopter la structure irrégulière (ce qui se fait de plus en plus) avec un mélange d'essence plus important (le hêtre a bien résisté),

Photo 6 (en haut) :
Conséquences sur le paysage

Photo 7 (ci-dessus) :
Parcelle 15 en forêt domaniale de Comefroide Picaussel
Photos D.M.

Bilan économique de « l'incident »

83 500 m³ de sapins, dont 38 000 m³ de sec et 45 500 m³ en anticipation ont été mis en marché sur trois ans. Ces chiffres sont à comparer aux 2 500 m³ annuels de chablis secs mis en marché habituellement.

Il faut rajouter à cela 11 000 m³ d'inventus.

Ces chiffres concernent uniquement les forêts publiques, communales et domaniales. Mais les forêts privées ont payé également un lourd tribut, le morcellement des parcelles n'ayant en outre pas facilité la vente des bois issus de ces forêts.

– avoir des densités de tiges à l’hectare plus faibles,

– et surtout ne pas laisser vieillir les peuplements de sapins au delà de la centaine d’années.

Voilà une solution qui pourrait faire face à un changement climatique « très modéré », mais dans le cas de changements plus importants (comme on peut le craindre), le Sapin n’y survivrait probablement pas.

Changement climatique, augmentation des températures annuelles ?

Il est souvent curieux de voir les modélisations sur les augmentations de températures et pluviométries dans les années à venir.

Ces quelques degrés qui ne disent rien au grand public ne sont pas le seul facteur à prendre en compte. Les températures et pluviométries annuelles moyennes du plateau de Sault en 2003 et 2004 ont en effet été conformes aux moyennes habituelles. La pluviométrie moyenne de 2004 a même été supérieure à la moyenne.

Mais depuis les années 1980, on n’avait pas connu d’années avec plus de deux mois consécutifs de sécheresse. Or en 2003, la sécheresse, cumulée avec la canicule, a duré trois mois.

Sur des sols à faible réserve utile comme les sols karstiques du plateau de Sault, un accident climatique pendant la période de végétation suffit à provoquer un grand stress pour les arbres avec les conséquences que l’on a vu en terme de dépérissement.

D.M.

De haut en bas :

Photo 8 : Ne pas laisser vieillir les peuplements au delà d’une centaine d’années

Photo 9 : Parcelle 8, forêt communale de Belcaire en janvier 2005

Photo 10 : Parcelle 8, forêt communale de Belcaire en octobre 2007

Photos D.M.

Dominique MICAUX

Responsable de l’Unité territoriale du Plateau de Sault, Office national des forêts, Maison forestière, 2 rue Rival 11340 Belcaire
Mél : dominique.micaux@onf.fr



Résumé

La sapinière audoise est essentiellement située dans la région IFN « Pays de Sault » en piémont pyrénéen.

Elle couvre environ 21 000 ha de forêts relevant du régime forestier et 29 000 ha de forêts privées.

Il s'agit de peuplements d'origine naturelle et de bonne qualité.

Cette sapinière a subi à partir de 2003 de forts phénomènes de dépérissements liés à la sécheresse.

L'importance des surfaces affectées a entraîné un changement de paysage, ainsi qu'un effondrement local des cours du bois.

Dans l'hypothèse d'un renouvellement de ce genre d'incident, il nous appartient d'adapter notre sylviculture.

Summary

The dying off of firs on the Plateau de Sault (Aude, South-Central France)

The fir stands in France's Aude area lie mainly in what the national forestry inventory (IFN) calls the « Pays de Sault » region, itself a part of the higher foothills of the Pyrenees.

The fir forests here cover about 21,000 hectares of public land (subject to the *Régime forestier*) and 29,000 hectares of private holdings. The stands are natural in origin and are of good quality.

As of 2003, these forests have been suffering major dying-off related to drought. The widespread extent of the areas affected has resulted in a change in the landscape as well as a collapse in wood prices on the local market.

Assuming that a renewal of such an event is likely, our duty is to adapt our silvicultural practices.

Riassunto

Il deperimento dell'abete sull'altopiano di Sault (Aude)

L'abetaia dell'Aude è essenzialmente situata nella regione IFN "paese di Sault" in piémonte dei Pirenei. Copre circa 21 000 ha di foreste rientrando nell'ambito del regime forestale e 29 000 ha di foreste private.

Si tratta di popolamenti di origine naturale e di buona qualità

Questa abetaia ha subito dal 2003 forti fenomeni di deperimenti legati alla siccità.

L'importanza delle superficie intaccate ha determinato un cambiamento di paesaggio, anche un crollo dei corsi del legno.

Nell'ipotesi di un rinnovo di questo tipo di incidente, tocca a noi di adattare la nostra silvicoltura.

Dépérissements forestiers dans les Alpes-Maritimes

Actions déjà entreprises par les communes forestières et l'Office national des forêts

par Frédéric DENTAND

Dans le département des Alpes-Maritimes, le phénomène des dépérissements était déjà connu depuis 1990, mais son ampleur a pris des proportions inquiétantes depuis la sécheresse de 2003.

Dans ce département, des actions ont été mises en place très vite : exploitation des bois, avec l'aide notamment du Conseil général, travaux de régénération et de plantation...

Les aménagements forestiers réalisés dorénavant dans ces forêts intègrent aujourd'hui cette nouvelle donnée. Un protocole de suivi de l'état sanitaire des peuplements forestiers des Alpes-Maritimes a également été élaboré.

Forêts et peuplements dépérissants dans les Alpes-Maritimes

La superficie forestière des Alpes-Maritimes est élevée (225 000 ha) et surtout le taux de boisement (52,3 %) situe le département parmi les plus boisés de France.

Cette forêt a un rôle majeur au niveau de ses fonctions environnementale, protectrice et sociale ; la fonction de production, importante à la fois pour l'équilibre économique des vallées et pour le renouvellement de la forêt, ne vient qu'en second plan, avec une production mobilisée annuelle d'environ 50 000 m³.

Déjà connu dans les années 90 dans les forêts de la vallée de la Roya, un dépérissement d'ampleur jamais relevé localement s'est déclenché à partir de l'été 2003 dans les sapinières de la vallée de la Vésubie. Par ailleurs, de nombreuses observations de dépérissements de sapin et de pin sylvestre ont été faites dans l'ouest du département (massif de l'Audibergue en particulier).

Ces phénomènes locaux méritent une attention d'autant plus soutenue que les changements climatiques globaux, aujourd'hui avérés, laissent craindre à l'avenir une amplification de ces phénomènes.

Le contexte particulier des Alpes-Maritimes, se caractérisant par une gestion plutôt extensive de la forêt et par des possibilités d'intervention assez limitées du fait des difficultés induites par le relief, rend de surcroît plus nécessaire qu'ailleurs une bonne anticipation des problèmes.

De nombreuses forêts communales et domaniales connaissent aujourd'hui des phénomènes importants de dépérissement. Il s'agit essentiellement de sapinières, et dans une moindre mesure des pinèdes à pin sylvestre et pin noir. On peut citer les communes suivantes dont les forêts sont les plus marquées par ce phénomène : La Brigue, Saorge, La Bollène-Vésubie, Lantosque, Utelle, Roquebillière, Venanson, Valdeblorre, Marie, Roubion, Beuil, Péone, Guillaume, Sauze, Villeneuve-d'Entraunes, Rigaud, Lieuche, Thierry, Villars-sur-Var, Malaussène, Cuébris, Roquestéron Grasse, Le Mas, Les Mujouls, Saint-Auban, Briançonnet, Valderoure, Andon, Escragnolles, Caille et Séranon.

Exploitation et commercialisation des bois

Mobilisation des bois de 2004 à 2006

En trois ans, ce sont donc 21 000 m³ de bois qui ont été commercialisés et exploités, ce qui est relativement important au regard de la récolte annuelle moyenne (Cf. Tab. I).

Tous les modes de vente ont pu être utilisés : contrat de bois sur pied à l'unité de produit, coupes vendues en bloc et sur pied, bois vendus façonnés après abattage et débardage.

Si généralement ces coupes ont été débardées par tracteurs forestiers, le câble mât a également été utilisé pour la vidange des bois.

Tab. I :
Volumes de bois commercialisés de 2004 à 2006

UP = Unité de production

| Forêts | Volume (m ³) | Essence | Mode vente | Débardage |
|---------------|--------------------------|---------------|---------------|-----------|
| La Bollène V | 5583 | Sapin | Contrat UP | Tracteur |
| La Brigue | 1011 | Sapin | Bois sur pied | Tracteur |
| Caille | 314 | Sapin | Bois façonnés | Tracteur |
| Lantosque | 3100 | Sapin | UP | Tracteur |
| Roquebillière | 1772 | Sapin | UP | Tracteur |
| | 3914 | Sapin | Bois façonnés | Câble |
| Saint Auban | 1906 | Sapin | Bois sur pied | Tracteur |
| | 273 | Sapin | Bois façonnés | Tracteur |
| Séranon | 491 | Sapin | Bois façonnés | Tracteur |
| | 150 | Pin sylvestre | Bois façonnés | Tracteur |
| Utelle | 2484 | Sapin | Bois façonnés | Tracteur |
| | 20 998 m ³ | | | |

La question s'est rapidement posée de savoir quel type d'intervention sylvicole il fallait envisager. En constatant sur les premiers massifs atteints de dépérissement que le phénomène enclenché à partir de l'été 2003 était rapide et inéluctable, nous avons été conduits à mettre en place un traitement sylvicole de choc. Deux types d'intervention ont été réalisées : coupe rase et coupe de fort rajeunissement par prélèvement de tous les sapins vivants de diamètre supérieur à 35 cm. Ces coupes ont été réalisées sous forme d'exploitations équilibrées du point de vue économique, ce qui nous a conduit dans la plupart des cas à ne pas extraire les arbres secs (notamment ceux au beau milieu des parcelles) qui sont par définition économiquement moins intéressants que des arbres encore verts qui eux trouvent une utilisation comme bois d'œuvre.

Aspect économique de la récolte de bois dans les sapinières dépérissantes

La valeur des bois sur pied, donc celle qui revient in fine au propriétaire, est la résultante entre la qualité des bois et le coût de la récolte.

Du point de vue de la qualité, on peut dire que les bois qui ont été exploités dans ces peuplements dépérissants sont très majoritairement des bois de qualité palette, et donc assez peu de qualité charpente. En effet, les sapins, puisqu'il s'agit majoritairement de sapinières, ont généralement poussé dans des conditions difficiles, c'est-à-dire sur des sols relativement superficiels, et ont été parasités par le gui : cela a eu comme conséquences de produire des arbres décroissants, noueux et dont la partie supérieure a été perforée par les suçoirs des guis. De plus, ces bois une fois exploités se conservent mal, ils sont beaucoup plus sensibles aux piqûres d'insectes que des bois issus de peuplements sains. Tout cela contribue à déprécier la valeur des bois.

Les coûts d'exploitation ont été généralement élevés. Des coupes ont été exploitées par câble, mode de débardage plus coûteux que le tracteur. De plus, ces peuplements sont situés généralement sur fortes pentes avec la présence fréquente de buis et de blocs rocheux, ce qui a renchéri les coûts de bûcheronnage.

La résultante inéluctable de ces deux éléments est que la valeur des bois sur pied est très faible.

Sollicité par certaines communes et l'association des communes forestières du département, le Conseil général a alors mis en place dès 2005 une aide financière. Cette aide, correspondant à 15 € /m³ exploité, est versée au propriétaire de la forêt déperissant ; elle a pour but de compenser le handicap particulier de la récolte de bois dans un peuplement déperissant. Cette mesure s'inscrit dans le cadre plus général de la politique forestière du Conseil général. Celui-ci a en effet mis en place une série d'aides visant la prise en compte de contraintes d'exploitation (routes limitées en tonnage, débardage par câble, détection de bois mitraillés).

Par ailleurs, la relative importance du volume mis sur le marché a également contribué à fragiliser les cours des bois, notamment pendant les années où le marché n'était pas très bien orienté (2003 à 2005). Afin de minimiser ce phénomène, des coupes de bois issus de peuplements sains ont été différées afin de présenter prioritairement des coupes urgentes à réaliser dans des peuplements déperissants.

On doit par contre signaler ici un aspect positif de ce phénomène massif de déperissement : les gisements de bois forestiers pour la filière bois-énergie sont importants, même en se limitant aux peuplements les plus accessibles, c'est-à-dire les plus proches des voies de vidange. C'est un élément positif pour une filière en train de se structurer afin de répondre à une demande naissante, mais appelée à se développer, pour alimenter les chaufferies bois.

Travaux de régénération

Les premiers travaux de régénération entrepris, suite à une exploitation de peuplement déperissant, ont été réalisés de 1992 à 1996 en forêt communale de La Brigue. Une coupe rase a d'abord été effectuée en 1992 sur 28 ha. Des plantations ont ensuite été réalisées essentiellement à base de mélèzes et également de douglas ; des épicéas, des pins noirs, des pins Laricio et des érables sycomores ont complété la plantation. Après une quinzaine d'années de recul, on peut dire que cette régénération effectuée entièrement par plantation a été une réussite.

Sur les autres forêts du département des Alpes-Maritimes plus récemment atteintes par ces phénomènes de déperissement (à partir de 2003), on n'en est encore qu'au stade de projets de régénération. Parce que le phénomène est d'une ampleur sans commune mesure avec celui connu à la Brigue dans les années 1990, et parce que les sites sont généralement très pentus et peu desservis, le renouvellement de ces forêts devra essentiellement s'appuyer sur la régénération naturelle.

On citera pour exemple le contenu de l'Avant Projet Sommaire de la forêt communale de La Bollène-Vésubie. Les travaux projetés concernent 25 ha, soit une partie seulement de la zone exploitée. Ils combinent les travaux élémentaires suivants :

- travaux de préparation à la régénération, de mise en sécurité et de traitement paysager : abattage d'arbres secs perpendiculairement à la pente en laissant les souches à 1,30 m du sol afin de caler les troncs et les branches ; les zones où seront effectuées ces travaux seront sélectionnées en fonction des enjeux de sécurité (bordure des voies et sentiers) et paysagers (secteurs les plus marquants pour le paysage) ;

Photo 1 :
Massif de l'Albéras
en forêt communale
de Roquebillière
Photo
Frédéric DENTAND (ONF)



– travaux de dégagement et recépage de feuillus existants de manière à favoriser une régénération naturelle à base d'essences feuillues (érable sycomore, tilleul et sorbiers et charme houblon en sous-étage) ;

– travaux de plantation d'appui de hêtres (aucun semencier de hêtre n'est présent dans cette forêt) sous abri de sapins par placeaux de 20 m x 20 m, en réalisant six placeaux par hectare, soit une densité de 2 222 tiges de hêtres par hectare en moyenne.

Ces travaux coûtent naturellement chers. Des financements devront être mobilisés (Europe, Etat, Région, Département) pour pouvoir les réaliser sur une période de trois ans.

Prise en compte du dépérissement dans la gestion forestière

Les aménagements forestiers (plans de gestion) réalisés dorénavant dans des forêts connaissant des problèmes de dépérissement, intègrent bien évidemment cette donnée.

Un aménagement commence d'abord par réaliser un diagnostic. Sont notamment faites les cartes des peuplements forestiers et des stations forestières (potentialités de croissance des arbres). Cela permet de superposer le contour des peuplements dépérissants sur les stations forestières. On met ainsi généralement en évidence, en tout cas pour les dépérissements de sapinières, la forte corrélation qui existe avec la station. Cela conduit bien évidemment à choisir l'essence (ou les essences) objectif(s) en fonction des stations.

Tab. II :
Division en série de la forêt de Roquebillière

| N° de la série | Surface (ha) | Type de série | Essences objectif |
|----------------|--------------|------------------------------------|--|
| 1 | 206,95 | Série de production | Sapin (station du montagnard humide) |
| 2 | 242,71 | Série de production – protection | Pin sylvestre, pin noir et divers feuillus (stations du montagnard frais et du montagnard mésophile), sapin (zones les plus fraîches montagnard frais) |
| 3 | 550,43 | Série pastorale | |
| 4 | 309,49 | Série d'intérêt écologique général | |

Voici l'exemple de la forêt communale de Roquebillière. L'aménagement forestier a prévu une division de la forêt en séries qui sont fonction des stations (Cf. Tab. II).

La première série, essentiellement sur station du montagnard humide, privilégie le sapin comme essence objectif, alors que la deuxième série ne conserve le sapin comme essence objectif que sur les stations les moins défavorables et privilégie les autres essences.

De même, les critères d'exploitabilité sont adaptés en fonction des stations et donc des séries. Sur station favorable de la première série, il est proposé de produire du sapin de 50 cm de diamètre en 120 ans. Par contre, sur stations moins favorables de la deuxième série, le diamètre d'exploitabilité est ramené à 35 cm pour le sapin et l'âge d'exploitabilité à 90 ans.

Veille sanitaire : mise en place d'un suivi de l'état sanitaire des forêts des Alpes-Maritimes

Un protocole de suivi de l'état sanitaire des peuplements forestiers des Alpes-Maritimes a été élaboré pour la période 2007 - 2012. La maîtrise d'ouvrage est assurée par le Conseil général des Alpes-Maritimes.

Il est prévu d'intervenir selon trois axes. Le premier consiste à faire un suivi cartographique des phénomènes constatés de dépérissement, répété tous les trois ans de manière à en suivre l'évolution. Six classes de mortalité sont distinguées dans les peuplements.

Les peuplements analysés seront les futaies résineuses à l'exception du mélèze (pas de dégâts observés à ce jour). Par contre, ce type de suivi paraît inopérant pour les feuillus, souvent sous forme de taillis.

D'après les données IFN, ce sont environ 100 000 ha de forêts qui seront ainsi suivies, sans distinction de propriétaires.

Cette cartographie sera réalisée à l'automne (état de départ) et actualisée avec une périodicité de trois ans et mise sous SIG. La méthode préconisée consiste en une reconnaissance par hélicoptère avec photographies et report sur carte.

Ces opérations seront complétées par une reconnaissance au sol des sites identifiés.

Dans l'intervalle séparant deux cartographies, une veille technique sera organisée au sol.

Le deuxième axe consiste à cartographier les zones à risques de dépérissements forestiers.

Cette cartographie sera réalisée pour les essences sapin et pin sylvestre, en forêt publique d'abord, puis étendue à la forêt privée.

Le travail à réaliser consistera à déterminer à partir des cartographies de peuplements forestiers, des cartographies des stations forestières et d'une clé de détermination du risque des dépérissements (bâtie à partir de connaissances et de modèle simple), le risque qu'une zone forestière de sapin ou de pin sylvestre soit victime d'un dépérissement dans un délai court (20 ans).

Cette analyse sera affinée grâce aux enseignements tirés de zones à dépérissement observé (aspect « feed back »). Il est précisé en l'état actuel des connaissances, que les données concernant les zones à risque pour le sapin sont beaucoup plus abouties que pour le pin sylvestre. Aussi, pour cette dernière essence, l'information tirée des zones à dépérissement observé sera-t-elle particulièrement importante.

Le troisième axe du protocole de suivi consiste à mettre en place et suivre un réseau de placettes sur le modèle du réseau européen suivi par le Département Santé des forêts (DSF). Ces placettes seront décrites selon les techniques du manuel de notation des dommages forestiers du DSF. On s'intéressera à sept essences pour lesquelles seront mises en place soixante placettes :

| | |
|-----------------|--------------------------|
| Sapin | 20 placettes, 400 arbres |
| Pin sylvestre | 15 placettes, 300 arbres |
| Mélèze | 5 placettes, 100 arbres |
| Epicéa | 5 placettes, 100 arbres |
| Pin d'Alep | 5 placettes, 100 arbres |
| Chêne pubescent | 5 placettes, 100 arbres |
| Chêne vert | 5 placettes, 100 arbres |

Les peuplements échantillonnés devront représenter une surface minimale de 20 ha d'un seul tenant. Toutes les placettes devront être positionnées dans un peuplement adulte :

- sapin, pin sylvestre, mélèze, épicea > 60 ans ;
- pin d'Alep > 50 ans ;
- chêne pubescent, chêne vert, charme houblon > 40 ans.

Pour sapin et pin sylvestre, une stratification préalable plus précise sera réalisée afin de bien distinguer les stations forestières "limites" des stations forestières favorables.

Les mesures à réaliser

Paramètres descriptifs

Un nombre important de paramètres descriptifs des placettes devra être relevé afin de fournir des facteurs explicatifs à l'évolution sanitaire des peuplements.

Données géographiques, topographiques, géologiques et pédologiques

Seront relevées sur les placettes :

- altitude, exposition, positions topographiques générale et locale ;
- la profondeur du sol et le type de substrat.

Données météorologiques

A partir des postes météorologiques situés dans les Alpes-Maritimes et les modèles existants, les données météorologiques et climatiques seront estimées pour chaque placette. L'échantillonnage initial devra tenir compte du positionnement des postes météorologiques existants.

Données dendrométriques

La structure globale du peuplement sera décrite, et seront mesurés :

- la surface terrière par catégories de diamètre (perchis, petits bois, bois moyens, gros bois),
- la hauteur totale du plus gros des arbres échantillons et du troisième plus gros,
- l'âge du plus gros des arbres échantillons.

Données écologiques générales

Seront relevées les principales espèces présentes par la méthode d'abondance-dominance de Braun-Blanquet ; et une extinction de la régénération de l'espèce considérée ainsi que son état sanitaire.

Données supplémentaires

Des données supplémentaires spécifiques pourront être réalisées ultérieurement après mise en place des placettes et sur proposition des laboratoires spécialisés.



Photo 2 :
Exploitation par câble
en forêt communale
de Roquebillière
Photo F.D. (ONF)

Il pourrait s'agir :

- d'analyses foliaires (nombre de prélèvements et fréquences à déterminer) ;
- d'analyse et de suivi mycologique (représentatif du cortège symbiotique et de son évolution).

Ces actions seront précisées ultérieurement.

Les arbres échantillons

Le protocole précis est celui du manuel de notation des dommages forestiers rédigé en avril 2005 par le Département Santé des forêts.

Nombre d'arbres échantillons

Vingt arbres échantillons sont désignés par placette. Ces arbres échantillons sont obligatoirement des arbres dominants ou codominants.

En cas de changement de statut ou en cas de coupe, on choisira de nouveaux arbres échantillons.

Observations à effectuer

Les observations porteront sur les critères suivants et permettront la comparaison par rapport à un arbre de référence (arbre sain dans la station considérée) :

- deux symptômes fondamentaux dans le houppier : la coloration anormale et la mortalité de branches ;
- les causes de dommages ou en absence de diagnostic possible, les symptômes sur

l'ensemble de l'arbre autres que la mortalité des branches et la coloration anormale ;

- le déficit foliaire par rapport à l'arbre de référence.

Périodes de notation

Les notations s'effectueront chaque année entre le 1^{er} juillet et le 31 août, période où le feuillage est normalement à son maximum. Chaque année, il est recommandé de procéder à la notation d'une placette à la même époque que la notation précédente.

Assurance qualité

Les notateurs opèrent toujours par deux, afin d'avoir une notation homogène, mais dépendante du notateur. Dans le cas où plusieurs équipes de deux seraient constituées, il y aurait nécessité de faire des rotations de notateurs au cours de la période de notation.

D'une année sur l'autre, il y a par contre nécessité de garder au moins un notateur ayant déjà parcouru la placette.

Il conviendra de prévoir chaque année une journée d'intercalibration avant la campagne de notation.

Les suivis devront être poursuivis durablement après 2010.

Communication et information

Sur ce sujet particulièrement visible du dépérissement forestier, il est important de communiquer. Dans les Alpes-Maritimes, il avait été souhaité dès 2005 de réaliser une vaste communication sur ce thème. Cela a notamment été réalisé le 7 novembre 2005 au Conseil général des Alpes-Maritimes à l'occasion d'un colloque. Des intervenants de l'association des communes forestières ainsi que des élus des communes forestières, de l'INRA (Institut national de la recherche agronomique), du Département Santé des forêts, de Météo-France, du Conseil général des Alpes-Maritimes et de l'ONF sont venus témoigner de la situation et ont indiqué l'état de la recherche. Relayé par les médias, ce colloque a permis de toucher un large public.

F.D.

Frédéric DENTAND
Responsable
du service domaine
forestier
Office national
des forêts
Agence
départementale
des Alpes-Maritimes
62, route
de Grenoble
Nice Leader Immeuble
Apollo
06205 Nice cedex
Mél : frederic.
dentand@onf.fr

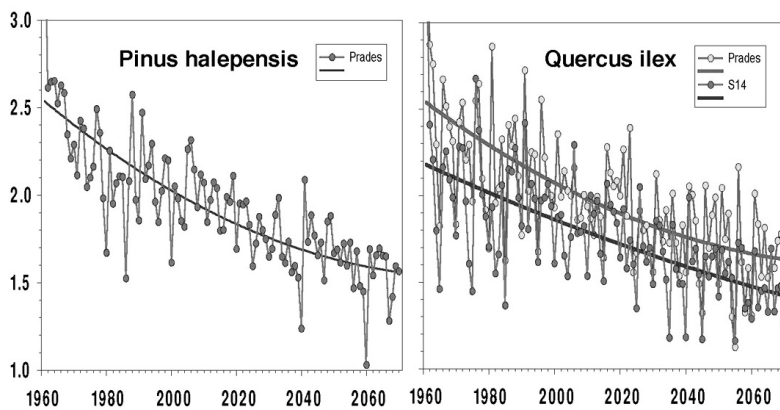
Les conséquences du changement climatique sur les espaces forestiers en Espagne

Résumé

par Carlos GRACIA

Si on regarde l'évolution des variables climatiques en Espagne pendant les dernières décades, on peut constater, au delà de la variabilité qui est propre au climat méditerranéen, un modèle de changement très clair. Le nombre de jours avec une température supérieure à 25°C est maintenant cinq fois plus grand qu'il ne l'était en 1970. Parallèlement, les précipitations, soit sous forme d'eau, soit sous forme de neige dans les montagnes, montrent une claire tendance à la diminution. A l'observatoire de Navacerrada (Madrid), le nombre de jours avec neige a diminué de 40 pour cent durant les quarante dernières années. 2006 a été l'année la plus chaude, les enregistrements de la température dans une bonne partie des observatoires espagnols le montre.

En outre, l'évapotranspiration potentielle — donc, si on veut, la sécheresse de l'atmosphère — est passée de 1000 mm/an au début du XX^e siècle, à plus de 1150 mm/an de nos jours : une augmentation de plus de 15 pour cent. Les conséquences sont évidentes si on calcule la valeur journalière des index d'aridité qui nous permet d'évaluer le risque de feux de forêt. On constate aussi une augmentation, non seulement de la valeur de ces index, mais aussi du nombre et de l'intensité des feux eux-mêmes. Il est vrai que le feu de forêt est un phénomène très complexe qui n'est pas uniquement affecté par les variables climatiques, mais aussi par des transformations du paysage, associées aux



changements sociologiques de nos sociétés. Cependant, en Espagne, on constate un rôle important de la composante climatique et, plus particulièrement, de l'augmentation des températures et de la diminution des précipitations.

Liées à ces changements climatiques, on a constaté aussi des modifications des variables phénologiques des arbres. Par exemple, le hêtre (*Fagus sylvatica*) dans le Montseny (Barcelone) commence maintenant le débourrement des feuilles un mois en avance comparativement à il y a 50 ans. On constate également des déplacements en altitude, le hêtre colonise maintenant des altitudes que jamais il n'avait occupées auparavant. De la même façon, les espèces à feuilles pérennes, telles que le chêne vert et le pin

d'Alep, accélèrent la chute des feuilles, ce qui se traduit par un taux de renouvellement du feuillage plus élevé (Cf. Fig. 1). En d'autres termes, maintenir la masse foliaire revient maintenant plus cher du point de vue bilan de carbone. Etant donné que la précipitation montre une tendance à la diminution, cela se traduira par un degré de sensibilité de l'état de santé des arbres, chaque fois plus important.

Dans un avenir immédiat, les modèles de simulation des processus physiologiques nous permettent d'anticiper une élongation progressive de la période végétative. Les effets de cette augmentation seront très différents selon les conditions de chaque forêt. En particulier, la survie des forêts à forte limitation hydrique peut être sévèrement menacée contrairement aux forêts à régime hydrique plus favorable, comme les forêts qui se localisent, par exemple, dans les fonds des vallées.

Finalement, dans le cadre de la forêt méditerranéenne, dont la variable limitante la plus forte est l'eau, il est très important de placer cette variable dans un contexte international. Dans le Protocole de Kyoto, par exemple, on parle de la forêt comme étant un réservoir de carbone, mais on oublie que pour fixer 1kg de carbone, les arbres doivent transpirer entre 300 et 500 kg d'eau, ce qui montre l'importance de l'eau dans le monde méditerranéen. Un point important, à mon avis, qui doit être inscrit dans l'agenda des Nations-Unies devant négocier la continuité du Protocole de Kyoto. Et bien sûr, et c'est notre challenge pour le futur, il faut nous préparer à un aménagement adaptatif de la forêt méditerranéenne. L'aménagement traditionnel de nos espaces forestiers devra être modifié afin de répondre aux impacts du changement climatique.

C.G.

Carlos GRACIA
Département
d'écologie
Université
de Barcelone
CREAF :
Centre de recherche
écologique
et d'applications
forestières
08193 Bellaterra
Barcelone
Tel. +34.935814674
Fax +34.935814151
Mél : cgracia@ub.edu

Photo 1 :

En un siècle, les risques de feux de forêts ont augmenté en Espagne parallèlement à l'augmentation de l'aridité. Les feux de forêts sont plus intenses et plus nombreux.

Fig. 1 :

Les espèces à feuilles pérennes accélèrent le renouvellement de leurs feuilles
Source Gracia et Sabaté, 2001

La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie)

par Abdallah BENTOUATI

Ce témoignage d'Algérie nous montre que si les forêts des pays du nord de la Méditerranée sont déjà touchées par les périodes de sécheresse et de canicule de plus en plus fréquentes, les pays du Sud le sont de façon encore plus préoccupante. L'état de la cédraie des Aurès en est, malheureusement, un exemple des plus révélateurs.

Répartition naturelle du cèdre de l'Atlas

L'aire de répartition naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) est limitée aux massifs montagneux de l'Algérie et du Maroc (Cf. Fig. 1).

En Algérie, la surface couverte par le cèdre est très restreinte et son aire est disjointe. Les données sont très hétérogènes et les carences sont liées principalement à l'insuffisance des inventaires forestiers. Les derniers aménagements forestiers datent de 1984 et n'ont pas été renouvelés. D'après Quézel (1998), la surface du cèdre ne dépasse guère les 30 000 hectares. Ce même auteur estime que cette superficie a encore diminué pour ne représenter à l'heure actuelle que seulement 20 000 hectares.

Dans les Aurès, le cèdre occupe moins de 10% de la surface boisée. C'est une essence caractéristique de l'étage montagnard. Les massifs concernés sont le Chélia (8000 ha), le massif de Ouled Yakoub (3327 ha) (BNEF, 1984) et dans une moindre mesure le S'gag (500 ha). Dans le Belezma, le cèdre couvre 5 000 ha (BENTOUATI et OUDJEHIIH, 1999). Il existe aussi un peuplement relique de cèdres âgés qui prolonge au sud-ouest le massif du Belezma et qui compose la cédraie de Refaa. Notons aussi la présence d'une cédraie assise complètement sur marne, située dans la partie la plus méridionale des Aurès (200 ha), celle de djebel Lazreg (Cf. Fig. 2).

Citons enfin l'existence de deux petites cédraies isolées un peu marginalisées : celle de Ichmoul (150 ha) au sud de Chélia et celle de djebel Guetiane qui prolonge les monts du Hodna à la limite ouest des Aurès (300 ha). Ce morcellement s'explique probablement par la présence de conditions écologiques favorables, notamment une humidité importante et des précipitations annuelles assez élevées qui caractérisent les stations où le cèdre est présent.

Structure de la végétation

Les exigences climatiques font du cèdre une essence caractéristique de l'étage montagnard (QUÉZEL, 1998). Dans les Aurès, les plus beaux peuplements de cèdre se rencontrent sur les versants nord et nord-ouest, entre 1600 et 1800 m. Le cèdre de l'Atlas descend rarement en dessous de 1400 m en raison de l'aridité du climat. Il peut pénétrer exceptionnellement dans les bas-fonds lorsque les conditions de station sont favorables. Il est aussi présent sur versant sud, mais d'une façon éparse et moins venante au niveau des crêtes et à des altitudes qui s'élèvent à plus de 1800 mètres.

La structure de la végétation qu'on rencontre dans les Aurès est relativement simple, selon SCHOENEMBERGER (1970), il est possible de distinguer schématiquement deux horizons en fonction des situations géographiques :

- l'étage subhumide supérieur à hiver froid, de 2000 à 2200 m ;
- l'étage subhumide inférieur à hiver froid, de 1600 m à 2000 m.

Du point de vue exigence altitudinale et bioclimatique, les cédraies des Aurès se rattachent à des bioclimats sub-humide et semi-aride pour les plus méridionales (QUÉZEL, 1998), recevant ainsi une pluviométrie variant de 350 à plus de 700 mm.

Le gradient altitudinal détermine un étalement végétal constitué successivement par des pelouses de hautes montagnes à plus de 2000 m d'altitude. A ce niveau, le froid et le vent limitent le développement du cèdre. Vient ensuite la cédraie pure entre 1800 et 2000 m d'altitude qui se caractérise tantôt par des peuplements bien venants par endroits conduisant à une densité assez importante des tiges, tantôt par des arbres âgés et dépérissants, localisés surtout dans les escarpements du relief à forte pente où le taux de régénération est quasiment nul. Le substrat est variable allant des grès calcaires et siliceux à la dolomie. Dans les bas-fonds, des individus isolés de cèdre côtoient le pin d'Alep.

Dans les stations plus fraîches, sur les berges des oueds, on peut rencontrer quelques pieds d'if (*Taxus baccata*) en mélange avec l'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*) et le sorbier (*Sorbus aria*). Par contre, le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha*) plus fréquent, se présente sous un aspect buissonnant en raison du broutage intensif qu'il subit constamment.

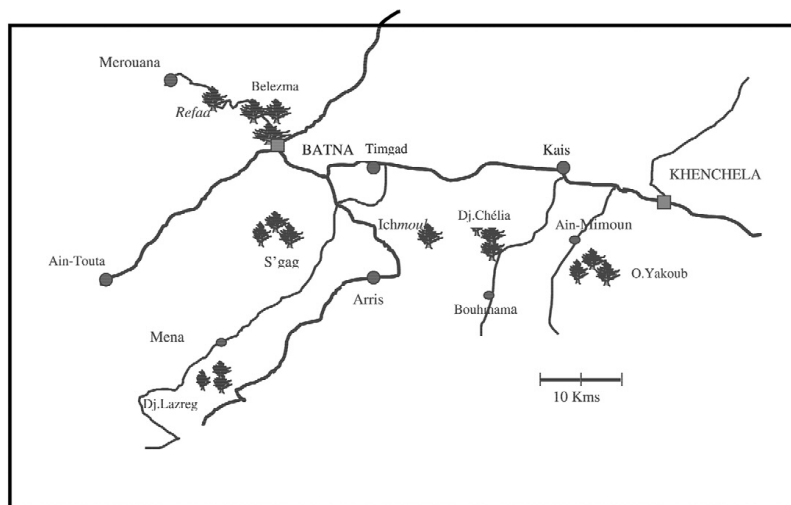
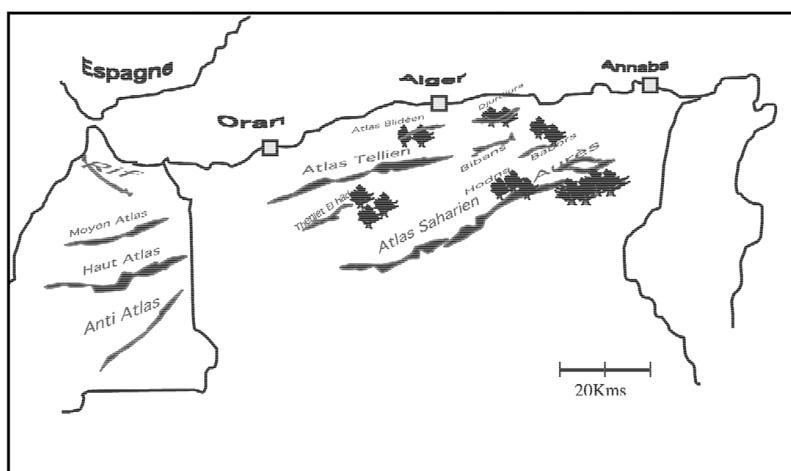
A moins de 1600 m d'altitude, sur marne et calcaire, on retrouve une cédraie claire à dominance chêne vert constituant un taillis dense en mélange avec d'autres espèces telles que le diss (*Ampelodesma mauritanica*) ou le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*).

Dans cet ensemble, l'individualisation des groupements végétaux n'a pas été définie, mais, selon Abdessemed (1981) et M'hirit (1982), l'association caractéristique pour une cédraie mixte de l'étage méditerranéen montagnard est celle du Cedreto-Querquetum illi-cis, l'ordre Querco-Cedretalia atlanticae, qui évolue dans un bioclimat humide frais et froid entre 1500 et 2200 m d'altitude (BENTOUATI, 2005).

Afin de mieux saisir la signification écologique des principales essences, nous avons figuré sur un schéma (Cf. Fig. 3) leurs exi-

Fig. 1 (ci-dessous) :
Répartition du cèdre de l'Atlas en Algérie

Fig. 2 (en bas) :
Localisation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès



gences respectives vis-à-vis des étages altitudinaux de végétation. Cette figure a été établie pour l'ensemble du massif de Chélia. Il en est de même pour les autres massifs de cèdre.

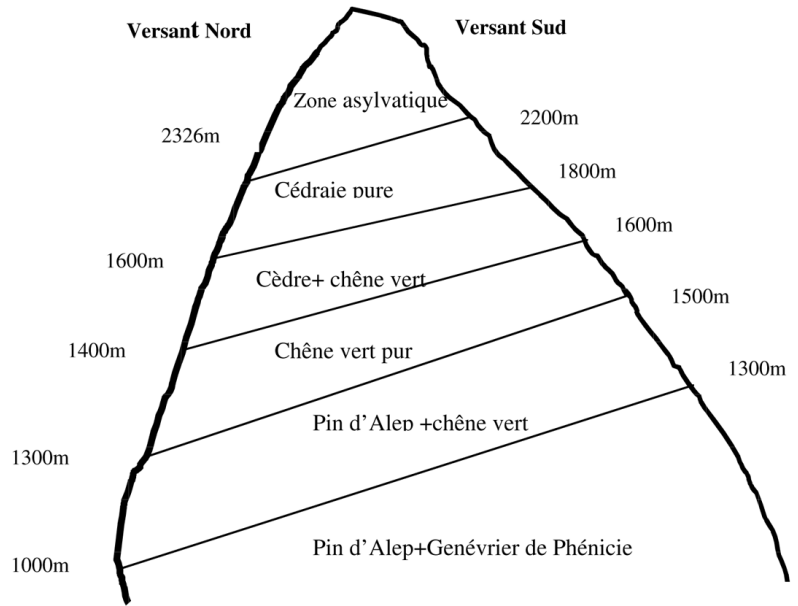
Facteurs de dégradation

Dans les Aurès, le cèdre possède une valeur écologique irremplaçable ; toutefois, il est sujet à une dégradation continue. Cette dégradation plus ou moins accélérée des peuplements et l'éclaircissement progressif des strates arborescentes font évoluer la cédraie vers une structure de végétation de type pré-forestier et matorralisation (QUÉZEL, 1998).

Les causes de cette dégradation et les contraintes subies par la cédraie sont multiples. Elles sont liées à la fois aux aléas climatiques (sécheresse, stress hydrique, influences sahariennes), à l'action humaine par le biais du surpâturage, de l'exploitation non contrôlée, des coupes illicites et enfin à la nature de certains types de substrats, comme les marnes, qui paraissent très nettement défavorables à la reprise des arbres. Les sols qui les caractérisent sont aptes à se dessécher rapidement. Ils présentent une faible capacité de rétention en eau, et donc une réserve en eau utilisable peu élevée en raison de leur texture et surtout de leur profondeur. Le volume du sol prospecté par les racines est donc faible, ce qui rend les arbres plus sensibles à la sécheresse (BENTOUATI et BARITEAU, 2006). Ces contraintes affectent très fortement l'équilibre déjà fragile de ces forêts et conditionnent de ce fait leur pérennité.

L'absence d'une gestion sylvicole rationnelle a provoqué une modification dans la structure des peuplements. Les aménagements proposés n'ont pratiquement pas été appliqués, ce qui a engendré une structure composée de vieux peuplements de faibles densités, dégradés et mal venants. A l'heure actuelle, les peuplements de cèdre ont dépassé leur maturité et ont évolué vers un stade de dépérissement avancé.

Le pacage, le broutage sont aussi des facteurs susceptibles d'entraver la survie des jeunes plantules et rendre la régénération naturelle très faible ou même nulle. Dans le cas où le pâturage est intense, celui-ci a entraîné une ouverture des peuplements et la disparition du cèdre.



A cela s'ajoutent les années successives de sécheresse qui ont engendré un dépérissement intense des cédraies. Cette sécheresse intervient durant la période végétative. En effet, une étude récente (MOUKOURI, 2006) a montré que le déficit hydrique est un facteur limitant, non seulement de la croissance du cèdre, mais aussi de la survie des jeunes plantules.

Toutefois, l'espoir de voir se régénérer la cédraie est possible dans les trouées lorsque le sol est travaillé et lorsque une mise en défens stricte est appliquée. La régénération est aussi possible dans les dépressions fermées où les conditions sont plus clémentes.

Fig. 3 : Etagement de la végétation dans le massif du Chélia D'après Schoenemberger, 1970

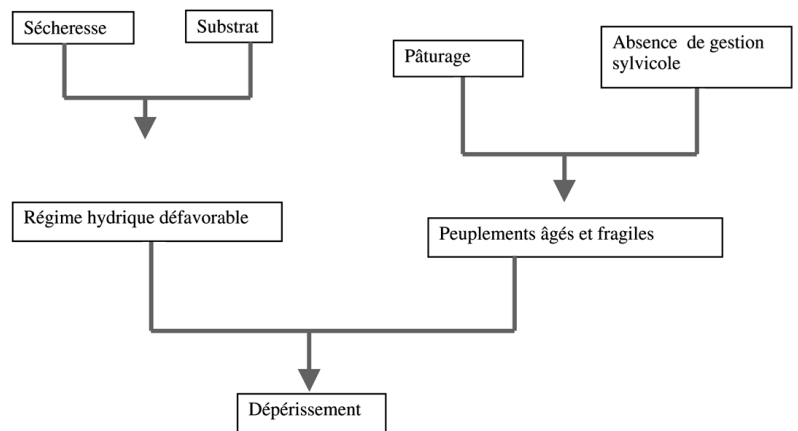


Fig. 4 : Les facteurs de dégradation du cèdre

Le dépérissement du cèdre

Un dépérissement inquiétant du cèdre de l'Atlas s'est développé depuis quelques années au niveau des cédraies des Aurès, à des degrés de gravité variables (Cf. Photo 1).

Les premières observations de ce dépérissement remontent à 1982. Ce phénomène constitue la préoccupation majeure des chercheurs et responsables forestiers.

Le secteur le plus touché se situe au niveau du Belezma, la situation s'y est encore aggravée au cours de ces dernières années.

Photo 1 (ci-dessous) :
Dépérissement en bandes dans le Belezma

Photo 2 (en bas) :
Dépérissement massif dans le Belezma



Dans ce massif soumis continuellement aux influences sahariennes, les données sont inquiétantes. Plus du tiers de la surface boisée est maintenant touchée. Le dépérissement est très important dans les peuplements de cèdre en mélange avec le chêne vert et situés sur marnes (Cf. Photo 2).

Les arbres atteints appartiennent à toutes les classes d'âges. Ailleurs, l'intensité du phénomène varie grandement selon le type de station. Dans le massif du Chélia le dépérissement est beaucoup plus diffus et concerne des arbres isolés. Ce sont les individus les plus âgés et les moins vigoureux qui disparaissent. A Ouled Yakoub, le dépérissement est accentué surtout dans les zones sud soumises aux influences sahariennes. Par endroit, il devient inquiétant et ce sont des surfaces variables par bouquets ou par bandes qui commencent à dépérir (Cf. Photo 3).

Le dépérissement touche pratiquement les arbres situés dans de mauvaises conditions d'alimentation en eau (pente forte, sol superficiel, arbres déchaussés), mais on s'est aperçu aussi que même dans les bas-fonds au niveau de l'écoulement des eaux, les arbres sont aussi menacés par ce fléau.

Les symptômes de ce dépérissement commencent par un dessèchement de la cime engendrant un jaunissement et une chute des aiguilles de l'arbre qui descend progressivement vers le bas. Les arbres concernés présentent des signes d'affaiblissement au niveau des rameaux qui s'amollissent et qui pendent (Cf. Photo 4).

L'hypothèse de l'affaiblissement engendré par la sécheresse est pour le moment la plus plausible. Cette sécheresse coïncide avec la période de végétation active du cèdre de l'Atlas et a des conséquences directes sur les propriétés et sur le régime hydrique des sols. La succession des années particulièrement déficitaires en précipitations et les températures élevées semblent être donc la raison principale de la mortalité des arbres. Ces facteurs du climat risquent de mettre en difficulté le cèdre de l'Atlas, d'autant plus qu'avec un bilan hydrique stationnel défavorable (la réserve en eau du sol < 40 % RU), le sol est sec entre mai et novembre, accentuant ainsi le déficit hydrique (MOUKOURI, 2006). Les arbres deviennent ainsi plus sensibles et montrent une croissance faible et un état sanitaire déplorable.

D'autres facteurs d'affaiblissement interviennent, tels que les insectes défoliateurs (*Thaumetopea bonjeani*) et les champignons comme l'Armillaire (*Armillaria mila*), qui est fréquemment observée sur les arbres dont la vitalité a diminué ou sur des arbres déjà morts.

La rareté des travaux dans ce domaine et l'état actuel des connaissances ne permet pas de mentionner avec précision l'effet de tel ou tel facteur. Des études engagées pour tenter d'expliquer le dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le massif de Ouled Yakoub et du Chélia ont permis de mettre en évidence l'effet du déficit hydrique sur la croissance du cèdre. Le régime hydrique constaté varie en même temps avec le climat, l'altitude, le sol, la topographie et l'exposition. Cependant, il y a lieu de signaler que si la sécheresse constitue le facteur déclenchant de ce fléau, l'âge avancé des arbres les prédispose aussi au dépérissement, c'est le cas de la cédraie de Ouled Yakoub (MOUKOURI, 2006).

Conclusion

Sans vouloir porter un jugement précipité sur l'effet de tel ou tel facteur de causalité du dépérissement du cèdre et bien qu'il ne s'agisse là que d'observations effectuées sur terrain, il semblerait a priori que la sécheresse apparaît comme un facteur déterminant dans le déclenchement du dépérissement du cèdre de l'Atlas. D'autres facteurs, notamment l'âge avancé des arbres et la nature défavorable de certains types de substrats, contribuent au développement du dépérissement. Ils rendent les arbres plus sensibles à la sécheresse.

Pour comprendre le dépérissement du cèdre de l'Atlas, il serait indispensable, de mener une action pluridisciplinaire (sylvicole, écophysiologique, phytosanitaire...) qui doit porter sur l'analyse d'un grand nombre de situations, dans des conditions physiques variées, afin de donner une vision temporelle et dynamique du phénomène observé.

A.B.



**Photo 3
(ci-dessus) :**
Dépérissement
du cèdre à
Ouled Yakoub



**Photo 4
(ci-contre) :**
Dessèchement de
la cime d'un jeune
cèdre au Belezma

Abdallah BENTOUATI
Département d'Agronomie
Faculté des Sciences
Université de Batna
05000 Batna Algérie
Mél : bentouati2@caramail.com

Quelques références bibliographiques

BENTOUATI A et BARITEAU M. (2006) : Réflexions sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*. t. XXVII, n° 4. pp. 317-322

BENTOUATI A. (2005) : Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* M.) du massif de Ouled Yakoub (Khenchela-Aurès). Thèse de Doctorat d'Etat. Faculté des Sciences Université de Batna. 131 pages

BENTOUATI A. et OUDJEHIH B. (1999) : Première étude de la croissance et de la producti-

tivité du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le massif du Belezma (Aurès-Algérie). *Forêt Méditerranéenne* t. XX, n° 2. pp. 115-119

BNEF (1984) : Plan d'aménagement de la zone des Ouled Yakoub et des Béni-Oudjana (40 000 ha). Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et des Forêts. RADP. 62 pages + annexes

QUEZEL P. (1998) : Cèdres et cédraie du pourtour méditerranéen : signification bioclimatique et phytogéographique *Forêt Méditerranéenne*. t. XIX, n°3. pp. 243-257

MOUKOURI. N. (2006) : Contribution à étude du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le massif des Ouled Yakoub : approche sylvicole. Mémoire d'ingénieur. Département d'Agronomie. Faculté des Sciences. 58 pages

Résumé

Dans les Aurès, le cèdre de l'Atlas est sujet à un dépérissement qui s'est aggravé ces dernières années. Ce phénomène concerne l'ensemble des cédraies des Aurès. Il touche non seulement les cèdres âgés, mais aussi les jeunes bouquets d'arbres.

L'intensité du dépérissement varie selon la station ; les peuplements les plus touchés sont ceux situés à basse altitude où le cèdre est en mélange avec le chêne vert. Ces stations se caractérisent par de mauvaises conditions d'alimentation en eau. Elles sont généralement situées sur des pentes fortes à substrat marneux.

La sécheresse prolongée de ces dernières années, ainsi que l'âge avancé des peuplements seraient les principaux facteurs ayant prédisposé le cèdre au dépérissement. L'exposition de ces massifs aux influences sahariennes a accéléré la mortalité des arbres. Probablement d'autres facteurs d'affaiblissement tels que les insectes défoliateurs ou les champignons, comme l'armillaire observée chez les arbres dépérissant ou morts, interviennent par la suite.

Mots Clés : Cèdre de l'Atlas, dépérissement, Aurès, sécheresse

Summary

Status of the Atlas cedars in the Aurès Mountains (North Africa)

Throughout the Aurès Mountains, the Atlas cedars stands have been affected by a decline that has worsened in recent years. It has affected not only old trees, but young ones, too.

This deterioration varies from place to place : the stands most affected are situated at lower altitudes and include the holm oak. Such sites are characterised by a poor supply of water and occupy steep slopes with marly subsoils.

The prolonged drought of recent years along with the old age of the stands appear to be the main factors predisposing the cedars to deteriorating health. Exposure of the stands to influences from the Sahara has hastened the mortality rate. Other factors, such as leaf-eating insects, fungi, the armillari observed on declining or dying trees, then aggravate existing weakness.

Dépérissement des peuplements de chêne-liège et changement climatique

par Maria-Carolina VARELA

L'état des subéraies des pays du pourtour méditerranéen est préoccupant, surtout depuis les années 1990. Cependant, il semblerait que les types d'exploitation des subéraies jouent un rôle important dans la régénération des chênes-lièges. Ainsi, il convient de sélectionner les individus pour augmenter la diversité, l'adaptation des peuplements et la résistance aux contraintes climatiques, mais aussi améliorer les formes d'aménagement pour une meilleure adaptation aux facteurs du milieu.

Le dépérissement des peuplements de chêne-liège

Le chêne-liège est l'une des espèces les plus importantes de la forêt méditerranéenne et le liège est un des rares produits forestiers qui présente un bilan commercial positif dans l'Union européenne.

Pour les pays de son aire naturelle, le chêne-liège est une source de valeurs économique, environnementale et sociale. Dans le bassin méditerranéen, il occupe plus de 2 000 000 ha, dont une grande partie est située dans des zones rurales menacées par la désertification humaine.

Autour de la fabrication du bouchon — pilier de la gestion durable des subéraies — se développe toute une série d'activités complémentaires, soit au niveau du peuplement, soit au niveau industriel. Dans les peuplements de faible densité, on peut trouver d'autres formes de valorisation : pâturage, champignons, parfois même quelques formes d'agriculture, de tourisme rural, etc. qui créent un véritable système agro-sylvopastoral.

Le chêne-liège apporte une contribution incontournable à la lutte contre les processus d'abandon rural.

Cependant, les peuplements de chêne-liège présentent un taux de mortalité anormal et préoccupant, qui s'est aggravé surtout depuis les années 1990 (PDPS, 2003 ; SOUSA *et al.*, 2007 ; TUSET JJ & SÁNCHEZ G, 2005 ; AIFM, 2006).

Les espèces forestières, vieilles de quelques millions d'années ont survécu à beaucoup de fluctuations climatiques, quelques-unes dramatiques, comme la période des glaciations.

Ces périodes de temps, très longues pour une vie humaine et presque imperceptibles à l'échelle géologique, correspondent pourtant à quelques centaines de générations pour les espèces forestières compor-

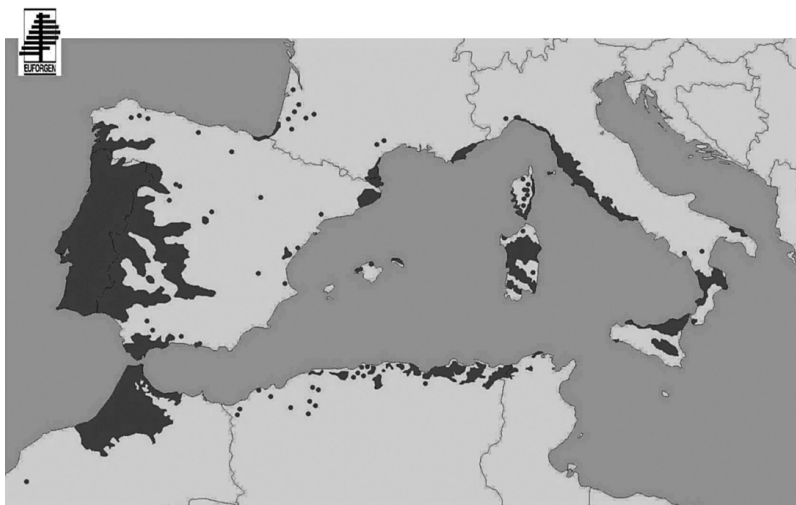


Fig. 1 :
Aire naturelle
de distribution
du chêne-liège
(*Quercus suber* L.)

tant une longue phase juvénile, comme le chêne-liège, et leur permettent ainsi de mettre en place des processus d'adaptation.

Les fluctuations climatiques de courte période, comme des années de sécheresse, sont aussi habituelles pour le chêne-liège, ce qu'attestent les documents historiques et les données météorologiques.

Cependant les altérations climatiques induites par l'Homme apporte un élément nouveau : la vitesse considérable de ces changements, un fait nouveau dans les processus d'adaptation des êtres vivants et une difficulté supplémentaire pour les espèces longévives, comme le sont les espèces forestières.

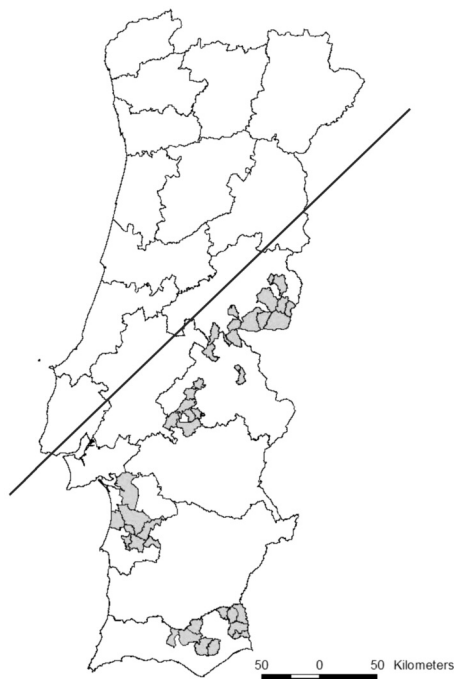


Fig. 2 :
Le dépérissement
du chêne-liège s'observe
au sud de la ligne
de relief connue
dans la géographie
portugaise (système
Montejunto-Estrela)
Source DGRF,
M. Conceição Barros

Sur l'aire naturelle du chêne-liège, le dépérissement est nettement plus visible dans les zones d'influence atlantique : Portugal, Espagne et Maroc.

Au Portugal et en Espagne, le dépérissement s'observe surtout dans la partie sud du pays (PDPS, 2003 ; TUSET J.J. & SÁNCHEZ G, 2005, p. 24) et plus particulièrement dans les zones de *montado* et de *dehesa*, soumises à une exploitation plus intensive du sol (surpâturage, cultures intercalaires, destruction de la couche superficielle de la rhizosphère, débroussaillage intensif).

Mais on est loin du déclin de l'espèce ; la mortalité et le dépérissement sont cantonnés à quelques zones, tandis que d'autres zones, parfois très proches, montrent une vitalité normale, quelquefois même exubérante.

Dans les endroits clôturés, où le sol n'est pas exploité intensivement, la régénération naturelle est toujours présente. Elle l'est aussi dans les peuplements pâturés, mais les jeunes semis sont vite détruits par les animaux.

Quels sont les facteurs plus directement liés au dépérissement ?

Les causes du dépérissement du chêne-liège sont multiples et interactives. Elles sont très mal connues. Cette question a fait l'objet de divers projets de recherche ponctuels et de court terme, qui n'ont pas produit les résultats escomptés en matière de connaissance des causes de mortalité anormale.

Comparativement aux glaciations et aux périodes xéothermiques intermédiaires, l'activité humaine a introduit des facteurs absolument nouveaux :

- le bétail, qui dans les dernières décennies a atteint des charges énormes par hectare ;
- l'agriculture intercalaire ;
- les machines agricoles affectant significativement le sol et toute la végétation du sous-bois ;
- le changement brutal de l'occupation du sol ;
- la détérioration, quelquefois très forte, de la flore et de la faune naturelles ;
- les perturbations au niveau de la rhizosphère, peu connues à ce jour.

Le surpâturage, les mobilisations qui détériorent la couche superficielle du sol et causent d'importants dégâts dans le système racinaire des arbres, la pauvreté et la superficialité des sols, sont des facteurs considérés par les chercheurs, les techniciens et les propriétaires comme facteurs déclenchants de l'affaiblissement des arbres. Les années de sécheresse sont aussi clairement liées à des taux de mortalités nettement plus élevés.

Les maladies du chêne-liège

En ce qui concerne la santé des peuplements forestiers, les agents responsables du dépérissement et de la mort des arbres, actuellement observés (SOUSA *et al.*, 2007) sont les mêmes que ceux décrits par Natividade en 1950.

Aucun agent pathogène nouveau n'a été décelé, aussi bien en ce qui concerne les champignons que les insectes ravageurs. Ce que l'on constate, c'est que les arbres ne sont plus capables de répondre aux attaques comme auparavant (Cf. Tab. I).

Les mesures à prendre

Dans la lutte contre la détérioration des peuplements de chêne-liège, il nous faut une recherche approfondie et multidisciplinaire pour comprendre les causes complexes du phénomène. Si l'on persiste dans des recherches ponctuelles, on ne pourra pas identifier de façon satisfaisante les facteurs du dépérissement.

Les mesures à prendre pour faire face à ces dépérissements sont de deux ordres.



| | |
|---------------------------------|--|
| Insectes ravageurs des feuilles | <i>Lymantria dispar</i> , <i>Tortrix viridana</i> , <i>Euproctis chrysorrhoea</i> , <i>Periclista andre.</i> , <i>Periclista dusmeti</i> . |
| Insectes ravageurs des rameaux | <i>Coroebus florentinus</i> |
| Insectes du tronc | <i>Cerambyx cerdo</i> ; <i>Coroebus undatus</i> ; <i>Platypus cylindrus</i> ; <i>Xyleborus dispar</i> |
| Insectes ravageurs du fruit | <i>Cydia splendana</i> ; <i>Curculio elephas</i> |
| Champignons pathogènes | <i>Phytophthora cinnamomi</i> ; <i>Armillaria mellea</i> ; <i>Endothia gyrosa</i> ; <i>Botryosphaeria stevensii</i> (na. <i>Diplodia mutila</i> (Fr.) Mont.), <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (de Not) Kuntze (avant <i>Hypoxylum mediterraneum</i>) ; <i>Microsphaera quercina</i> [Schw] Burr. (les plantules en pépinière sont attaquées par l'oïdium) |

Si le dépérissement est dû aux changements climatiques

La grande "arme" des espèces forestières pour faire face aux changements climatiques sont l'adaptation et la diversité génétique. Les arbres forestiers sont, tout au long de leur vie, «prisonniers» de l'endroit où ils sont nés. Contrairement aux animaux qui se déplacent et aux plantes à courte durée de vie qui ont une abondante production de semences.

Survivre signifie s'adapter, garder dans sa «mémoire» génétique les mécanismes nécessaires pour répondre aux changements, soit par des mécanismes physiologiques, soit par la capacité de migration.

Les mécanismes mis en place par les arbres forestiers pour s'adapter aux perturbations climatiques sont mal connus et certainement très complexes. Mais à la base des réactions physiologiques, il y a nécessairement des mécanismes génétiques.

Si le dépérissement est dû aux changements climatiques, il faut promouvoir une

Tab. I :

Principaux insectes ravageurs et maladies du chêne-liège
Source M. Lurdes Inácio et M. Helena Machado, INRB- Institut national des ressources biologiques, Portugal



Photos 1 et 2 :

On est encore loin du déclin de l'espèce. On constate des mortalités et dépérissements dans quelques zones, tandis que dans d'autres, très proches, les chênes-lièges sont très vigoureux.
Photos M.-C.V.

sylviculture spécifique pour faire face à ces conditions : promouvoir l'économie de l'eau disponible, promouvoir les symbioses, surtout au niveau de la flore et faune du sol. Il faut faire un aménagement prudent du sous-bois : installation de prairies, fertilisations, correction de pH.

Pour promouvoir l'adaptation et la diversité de l'espèce, il est essentiel que la reforestation soit faite grâce la régénération naturelle ou par l'usage de provenances locales ou adaptées à la station (EUFORGEN, 1996).

Si le dépérissement est préférentiellement lié à l'aménagement

Alors, il faut réfléchir et changer de sylviculture.

Les mesures sur l'intensité du démasclage, les usages du sol, la charge de bétail et les mobilisations de façon à minimiser les impacts négatifs sur les systèmes racinaires, sur l'érosion et la lixiviation des éléments chimiques sont indispensables. Le savoir-faire sur la bonne gestion des subéraies au Portugal est bien documenté et accessible aux propriétaires (TEIXEIRA & VARELA, 1991 ; BARROS *et al* 2006).

Du point de vue du sol, la promotion de la mycorrhization est fondamentale, de même que la lutte biologique contre les champignons pathogènes comme *Phytophthora cinnamomi*, pour l'absorption des éléments chimiques et même pour l'absorption de l'eau (WIENSCZYK *et al*, 2002 ; FINLAY 2004).

Les subventions de l'Union européenne octroyées pour le pâturage dans les subé-

raies devront être adaptées au système sylvo-pastoral, mais en tenant compte que les troupeaux sont un complément indispensable à la viabilité économique de l'exploitation.

M.-C.V.

Bibliographie

- AIFM, 2006- Synthèse du Séminaire « Vitalité des peuplements de chêne-liège et chêne vert : situation actuelle, état des connaissances et actions à entreprendre » Évora, Portugal 25-26 Oct. 2006
- Barros *et al*, 2006 - Boas práticas de gestão em sobreiro e azinheira. DGRF- Dir. Geral dos Recursos Florestas, Lisboa
- EUFORGEN, 1996- EUFORGEN cork oak network, IPIGI, Rome
- Finlay R 2004 - Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. in *Mycologist*, vol.18, part 2, May 2004
- Natividade JV. 1950- SUBERICULTURA Min. Agricultura, Pescas e Alimentação. Dir. Geral das Florestas. 387 pg. reimpressão de 1990, (1^{ed}. 1950)
- PDPS-2003- PDPS- Prog. de defesa dos povoamento subericolas DGF, DRAALG, DRAAL, DRARO, DRABI, DRATM, 2003
- SEDRF- Sec Estado do Desenvolvimento Rural e das Florestas, 2006 - Programa de Acção Diário República, 8 Set 2006, Despacho 18316
- Teixeira C L, Varela F 1991 - Contribuição para o estabelecimento de normas de instalação e condução do montado de sobreiro. Dir. Geral das Florestas, Lisboa.
- Tuset J J & Sánchez G, Coordinadores 2004 – “LA SECA : El decaimiento de encinas, alcornoque outros *Quercus* en España”. Ed. Min de Medio Ambiente, Organismo Autónomo Parques Nacionales
- Sousa E, Santos N, Varela MC & Henriques J-2007 - Perda de vigor dos montados de sobreiro e azinheiro: Análise da situação e perspectivas. EFN/INIA
- Wiensczyk A, Gamiet S, Durrall D, Jones M & Simard S. 2002-Ecotomicorrhizae and forestry in British Columbia: A summary of current research and conservation strategies in BC Journal of Ecosystems and Management. Vol. 2 n.1, 2002

Résumé

Les peuplements de chêne-liège présentent un taux de dépérissement préoccupant, qui s'est aggravé surtout depuis les années 1990.

Le dépérissement est caractérisé par une mortalité anormale, mais le pouvoir germinatif des glands continue à présenter des valeurs normales, identiques à celles précédant les dépérissements.

Dans les endroits clôturés, où le sol n'est pas exploité intensivement, la régénération naturelle est toujours présente.

Le dépérissement est plus visible dans les zones d'influence Atlantique de la zone naturelle de l'espèce : Portugal, Sud-Ouest de l'Espagne et Maroc.

Au Portugal et en Espagne, le dépérissement se situe surtout dans la moitié sud.

Si le dépérissement des peuplements de chêne-liège est en rapport avec le changement climatique, il nous faut :

- sélectionner pour augmenter la diversité et l'adaptation des peuplements,
- sélectionner les individus plus résistants aux contraintes climatiques,
- améliorer les formes d'aménagement pour une meilleure adaptation aux facteurs du milieu.

Maria-Carolina
VARELA
INRB, ex-Estação
Florestal Nacional
2780 159 Oeiras
Portugal
Tél. : 351+214463783
351+962145105
Mél : carolina.varela@efn.com.pt

Quelle gestion forestière dans la perspective du changement climatique ?

OBSERVER

par Bernard BOUTTE

L'adaptation de la gestion forestière aux changements climatiques passe dans un premier temps par l'observation rigoureuse des phénomènes de dépérissements. Ainsi, la nouvelle stratégie de surveillance de la santé des forêts a pour but de répondre à la demande des différents partenaires forestiers d'une évaluation la plus objective possible de l'impact des changements globaux sur la santé des peuplements forestiers.

1 - DRAF : Direction régionale de l'agriculture et de la forêt

DDAF : Direction départementale de l'agriculture et de la forêt

ONF : Office national des forêts

CRPF : Centre régional de la propriété forestière

Le dispositif de surveillance de la santé des forêts en France

Le dispositif de surveillance de la santé des forêts en France s'appuie sur trois réseaux :

– un réseau de 210 correspondants-observateurs (CO) du Département de la Santé des forêts (service du ministère de l'Agriculture et de la Pêche), répartis dans les services forestiers (DRAF, DDAF, ONF, CRPF...)¹. Ils collectent l'ensemble des informations de terrain nécessaires à l'établissement de l'état de la santé des forêts et assurent une mission de diagnostic-conseil auprès des propriétaires et des gestionnaires de leur territoire d'action ;

– deux réseaux de placettes permanentes :

* le Réseau systématique de suivi des dommages forestiers (RSSDF) : mis en place en 1989, géré par le Département de la Santé des forêts ;

* le Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) : mis en place en 1992, géré par l'Office national des forêts.

Le réseau de correspondants observateurs (CO) du Département de la Santé des forêts en région méditerranéenne

La forêt méditerranéenne est incluse dans le territoire administratif de l'échelon Sud-Est du Département de la Santé des forêts (DSF).

Les vingt-huit correspondants-observateurs de la région méditerranéenne (régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse et Languedoc-Roussillon) consacrent 30 à 50 jours par an à leur activité phytosanitaire en forêt (15 à 20 % du temps). Ils bénéficient de formations (regroupement annuel, formation de base, formations spécifiques...) d'une durée annuelle de cinq jours environ, organisées par l'échelon DSF.

Ces correspondants-observateurs ont une double mission :

- la surveillance de la santé des peuplements forestiers sur leur territoire d'action, dont les informations sont transmises, par voie télématique, à l'échelon DSF à l'aide de fiches simplifiées d'observation, de notations de dégâts selon des protocoles spécifiques ou de données recueillies sur des placettes permanentes,

- le diagnostic, l'analyse de risque et le conseil en matière phytosanitaire auprès des propriétaires et des gestionnaires de forêts. Pour le diagnostic, les correspondants-observateurs bénéficient de l'appui de l'échelon DSF dont les échantillons sont analysés localement ou adressés à des laboratoires spécialisés (LNVP, INRA...)².

Le tableau I ci-dessous indique la répartition des différents correspondants-observateurs par région et par service en région méditerranéenne.

L'insertion des correspondants-observateurs dans les services forestiers permet au

service de bénéficier d'un pôle de compétence local dans le domaine phytosanitaire forestier et au Département de la Santé des forêts de pouvoir recueillir et diffuser des informations techniques au plus près des préoccupations du territoire.

Le réseau systématique de suivi des dommages forestiers (RSSDF) en région méditerranéenne

Le réseau systématique de suivi des dommages forestiers (ex "réseau européen") a été mis en place en 1989. Il est géré par le Département de la Santé des Forêts depuis cette date.

Ce réseau est formé de plus de 500 placettes de 20 arbres au niveau national, installées selon un maillage de 16 km par 16 km.

Il constitue la partie française d'un ensemble de placettes permanentes de suivi installées au niveau des pays de l'Union européenne.

Objectif

L'objectif principal de ce réseau est d'évaluer et de suivre l'état sanitaire des forêts au cours du temps.

Rappel historique

- 1980 : suite à l'observation du dépérissement des conifères attribué aux "pluies acides" dans l'Est de la France, un réseau de placettes d'observations, installées selon un maillage de 16 km par 16 km ("réseau bleu") est mis en place dans les forêts de montagne,

- 1986 : la mise en place d'un réseau de suivi de l'état sanitaire des arbres est obliga-

2 - LNVP : Laboratoire national de la protection des végétaux
INRA : Institut national de la recherche agronomique

Tab. I :
Répartition des différents correspondants-observateurs par région et par service en région méditerranéenne

| Région | PACA | | | Languedoc-Roussillon | | | Corse | | | Total | | |
|---------------------|------|------|------|----------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| | ONF | CRPF | Etat | ONF | CRPF | Etat | ONF | CRPF | Etat | ONF | CRPF | Etat |
| Nombre de CO | 6 | 4 | 3 | 5 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 13 | 9 | 6 |
| Nombre de jours DSF | 230 | 120 | 110 | 240 | 120 | 30 | 50 | 30 | 60 | 520 | 270 | 200 |
| TOTAL CO | | 13 | | | 10 | | | 5 | | | 28 | |
| Nombre de jours | | 460 | | | 390 | | | 140 | | | 990 | |

| Région | PACA | | | | | | Languedoc-Roussillon | | | | | Corse | | Total |
|--------------|------|----|----|----|----|----|----------------------|----|----|----|----|-------|----|---------|
| Départements | 04 | 05 | 06 | 13 | 83 | 84 | 11 | 30 | 34 | 48 | 66 | 2A | 2B | 14 dpts |
| N placettes | 9 | 4 | 7 | 4 | 14 | 7 | 6 | 10 | 7 | 9 | 7 | 5 | 4 | 93 |
| Total | 45 | | | | | | 39 | | | | | 9 | | 93 |

Tab. II :

Répartition par région et par département des placettes du réseau systématique

toire dans tous les pays de la CEE, ce réseau est opérationnel en 1989. L'objectif de ce réseau est de suivre les effets de la pollution atmosphérique sur l'état des cimes des arbres,

– 2003 : mise en place du règlement CE Forest Focus. Le nouvel objectif du réseau est le suivi de l'ensemble des facteurs naturels et anthropiques pouvant affecter l'état de la forêt,

– 2007 : clôture du règlement CE Forest Focus, le réseau "européen" devient, en France, le réseau systématique de suivi des dommages forestiers.

Les 93 placettes en région méditerranéenne

– Répartition par région et par département (Cf. Tab. II).

– Répartition par essence dominante dans les placettes (Cf. Tab. III).

Observations effectuées

La notation des 20 arbres (ainsi que le remplacement des arbres exploités, dominés, cassés...) est effectuée en été (du 1^{er} juillet au 31 août), par une équipe de deux notateurs dont un correspondant-observateur du Département de la Santé des forêts afin de bénéficier d'une bonne compétence phytosanitaire.

Chaque arbre fait l'objet d'une notation détaillée des symptômes et des causes de dommages pouvant affecter sa santé : mortalité de branches, coloration anormale, ainsi que les autres symptômes (chancre, blessure...) ou causes de dommages (chenilles défoliatrices, pathogènes...).

Pour chacun de ces critères, l'organe affecté est décrit et une estimation qualitative d'importance en classe de 10 % est donnée.

Le déficit foliaire par rapport à un arbre de référence est noté en classe de 5 %, à la fin de la phase d'observation de l'arbre - échantillon.

Données disponibles

Les résultats des observations de ces placettes ont été présentés lors de la tournée du 25 septembre 2007, dans le Var, dans le cadre de ce colloque.

Les graphiques d'évolution du déficit foliaire sur les dix dernières années, au niveau national et au niveau "région méditerranéenne", ont été présentés et discutés pour les six essences suivantes : pin sylvestre, pin d'Alep, pin maritime, sapin pectiné, chêne vert et chêne pubescent.

L'ensemble des observations, analyses et résultats du "réseau de suivi des dommages forestiers" sont disponibles sur le site Internet du ministère de l'Agriculture et de la Pêche :

<http://agriculture.gouv.fr/sections/thematiques/foret-bois/sante-des-forets>

Le réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) en région méditerranéenne

Le réseau RENECOFOR a été créé par l'Office national des forêts (ONF) en 1992, afin de compléter le système de surveillance sanitaire des forêts françaises. Il constitue la partie française d'un ensemble de placettes

| Essences dominantes | N placettes |
|---|-------------|
| Pins : Alep, sylvestre, maritime, noir d'Autriche, laricio de Corse, à crochets | 38 |
| Chênes : vert, pubescent | 34 |
| Hêtre | 9 |
| Mélèze d'Europe | 4 |
| Sapin pectiné | 2 |
| Epicéas : commun et de Sitka | 2 |
| Châtaignier | 2 |
| Cèdre de l'Atlas | 1 |
| Bouleau | 1 |
| Total placettes | 93 |

Tab. III :

Répartition par essence dominante dans les placettes du réseau systématique

Conséquences sur la gestion des peuplements

| Essences Régions | Sapin pectiné | Epicéa commun | Douglas | Pin sylvestre | Pin laricio de Corse | Pin maritime | Mélèze d'Europe | Hêtre |
|------------------|---------------|---------------|---------|---------------|----------------------|--------------|-----------------|-------|
| PACA | 05 | - | - | 04 | - | - | 05 | 04 |
| Languedoc | 11 | 34 | 34 | - | - | - | - | 30 |
| Corse | - | - | - | - | 2A | 2A | - | - |

Tab. IV :
Les départements de situation des placettes, par essence et par région

Tab. V :
Principales mesures effectuées sur les placettes du réseau RENECOFOR

permanentes de suivi des écosystèmes forestiers installées dans 34 pays européens.

L'organisation de ce réseau est coordonnée par l'ONF en collaboration avec divers partenaires : INRA, CNRS, universités, bureaux d'études... pour les opérations très spécialisées.

L'ensemble des activités est supervisé par un groupe français d'experts et au niveau européen, par un comité scientifique.

| | Opérations | Périodicité | Remarques |
|----|--|---|--|
| 1 | Description générale de la station | 10 ans | Paramètres descriptifs quasi-permanents |
| 2 | Mesures dendrométriques | 5 ans | Variation selon la situation des arbres |
| 3 | Etude dendrochronologique | A l'installation | Histoire du peuplement au niveau de sa croissance annuelle |
| 4 | Observations phytosanitaires | Tous les ans, en été, 2 fois pour certaines placettes | Etat des houppiers et notation des dommages (DSF) |
| 5 | Phénologie du débourrement | 2 fois par an | |
| 6 | Récoltes des chutes de litières | Plusieurs fois par an | Mesures du poids sec de litière dans des collecteurs |
| 7 | Analyses foliaires | Tous les 2 ans | |
| 8 | Sols : description et analyse et détermination de la fertilité | 5 à 10 ans | |
| 9 | Inventaire phytoécologique | 5 ans | |
| 10 | Mesures météorologiques | Enregistrées toutes les heures | 26 stations en 2007 |
| 11 | Mesures des dépôts atmosphériques | Echantillonnage hebdomadaire et analyse mensuelle | Dans le sous-réseau CATAENAT (27 placettes) |
| 12 | Analyse des solutions de sol | Echantillonnage hebdomadaire et analyse mensuelle | Dans le sous-réseau CATAENAT (17 placettes) |
| 13 | Concentrations en ozone et en ammoniac dans l'air | Pendant la saison de végétation, depuis 2000 et 2002 | Dans le sous-réseau CATAENAT (27 placettes) |

Source : notice de présentation du réseau RENECOFOR et site ONF-RENECOFOR

Objectif

L'objectif principal du réseau RENECOFOR est de détecter d'éventuels changements à long terme dans le fonctionnement d'une grande variété d'écosystèmes et de déterminer les raisons de ces changements. Ces écosystèmes ont été sélectionnés pour être représentatifs de la région dans laquelle ils se trouvent.

Les dix placettes en région méditerranéenne

Les départements de situation des placettes, par essence et par région sont indiqués dans le tableau IV.

Observations effectuées

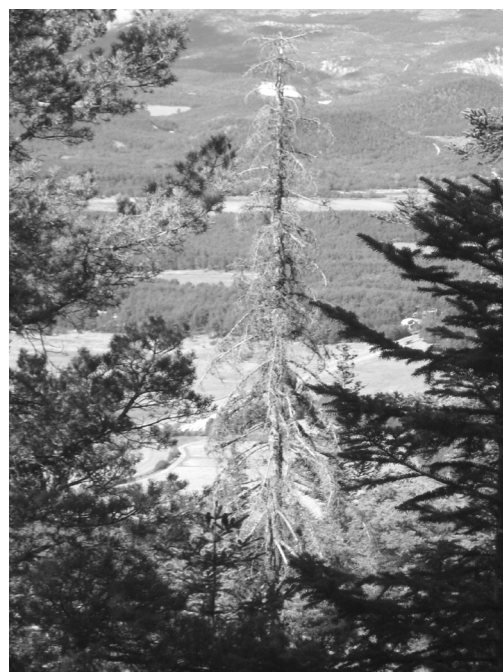
Chaque placette a une surface de 2 hectares dont la partie centrale de 0,5 hectares est clôturée.

Les principales observations effectuées sur les placettes ainsi que leur périodicité sont indiquées dans le tableau V.

Les observations phytosanitaires, état des houppiers et dommages observés, sont effectuées par les correspondants-observateurs du Département de la Santé des forêts.

Photo 1 :

Sapin mort dans le Lachens (Haut Var) Photo DA

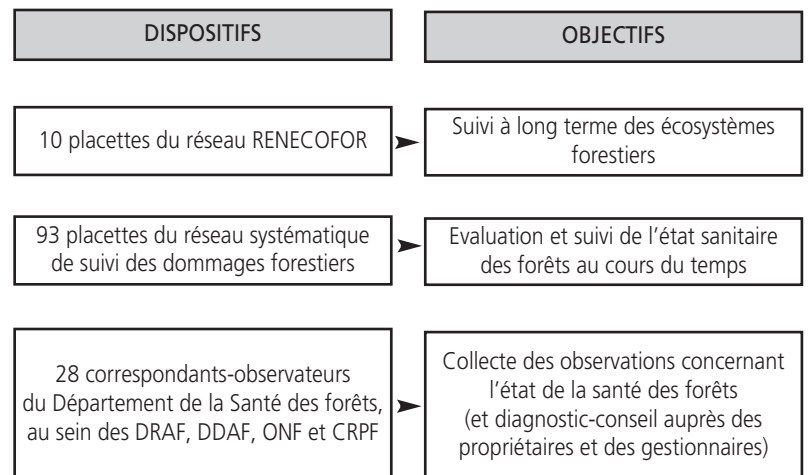


Données disponibles

L'ensemble des données, observations et analyses est stocké dans une base de données centrale. Les résultats sont publiés dans la série "RENECOFOR", dont un résumé de chaque rapport peut être consulté sous la rubrique "publications" du site de l'Office national des forêts :

<http://www.onf.fr/pro/Renecofor>

En synthèse de ce chapitre, un schéma simplifié du dispositif de surveillance de la santé des forêts de la région méditerranéenne est présenté en figure 1.



Une nouvelle stratégie de surveillance de la santé des forêts est mise en place en 2007

Le comité d'orientation du Département de la Santé des forêts (formé par les partenaires et interlocuteurs de ce service du ministère de l'Agriculture : MEDAD, ENGREF, ONF, CRPF, CNPPF, IFN, INRA, ECOFOR...) ³ réuni en novembre 2005, a demandé au DSF de prendre en compte les impacts du changement global (changements climatiques, risques invasifs) dans sa stratégie de surveillance.

Cette demande, ainsi que les évolutions récentes du contexte forestier (nouveaux outils : GPS, géoportail, nouvelles sources de données : IFN...) a nécessité la remise à plat de la stratégie en cours. L'année 2006 a été consacrée à la réflexion et à l'élaboration d'un dispositif cohérent dont les premières réalisations concrètes ont été mises en place sur le terrain au cours de l'année 2007.

L'objectif du dispositif de surveillance de la santé des forêts est toujours de poursuivre l'inventaire des dommages phytosanitaires et des agents responsables de ces dommages, d'en suivre l'aire de répartition, de déterminer les facteurs de sensibilité ou de risque (vulnérabilité des peuplements) et, depuis 2007, d'en suivre l'évolution éventuelle dans le contexte des changements globaux (changements climatiques, risques invasifs).

Une stratégie qui se décline selon trois axes

– **Le suivi intensif** : concerne les principaux problèmes sanitaires pour lesquels une information quantitative (éventuellement cartographique), annuelle, est demandée afin notamment d'évaluer l'impact des changements climatiques.

Les stratégies de suivi intensif ont été préparées en tenant compte des données collectées de 1989 à 2006, des informations issues du réseau de suivi des dommages forestiers et des informations fournies par l'Inventaire forestier national.

Ce suivi intensif se décline sous forme de dispositifs spécifiques adaptés à chaque problème : la processionnaire du pin, les défoliateurs des chênes, la réussite des plantations de l'année, le typographe de l'épicéa, les dépérissements...

– **La surveillance du territoire** : concerne la détection de la présence d'organismes invasifs (notamment dans le cadre des plans de surveillance des organismes de quarantaine) : cynips du châtaignier, Pitch canker... ou l'évaluation de la situation phytosanitaire d'essences introduites (Eucalyptus...).

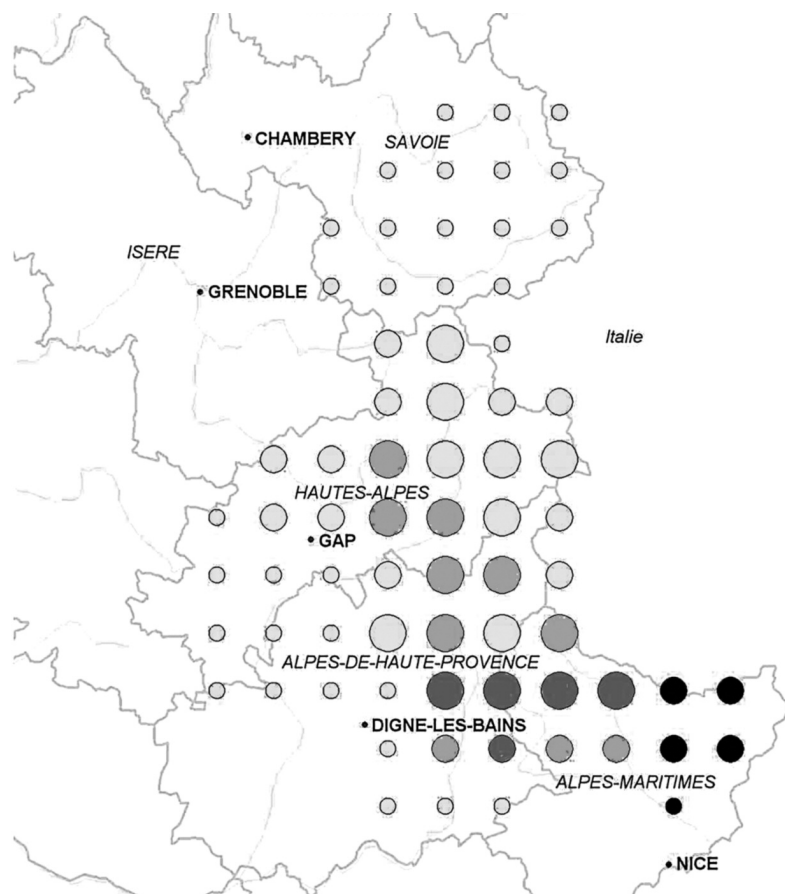
Cette surveillance s'effectue à partir de prospections dirigées en fonction des régions, des essences et des organismes recherchés.

– **La veille sanitaire** : concerne tous les autres problèmes sanitaires, c'est-à-dire tout dégât, symptôme alarmant ou indice de pré-

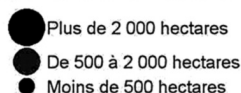
Fig. 1 :

Schéma du dispositif de surveillance de la santé des forêts de la région méditerranéenne

3 - MEDAD : Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables
 ENGREF : Ecole nationale de génie rural, des eaux et forêts
 CNPPF : Centre national professionnel de la propriété forestière
 IFN : Inventaire forestier national
 ECOFOR : Groupement d'intérêt public "Écosystèmes forestiers"



Surface de peuplements de mélèzes par quadrat



Importance des défoliations de la tordeuse grise du mélèze

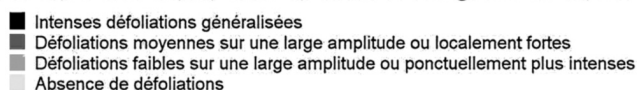


Fig. 2 :
Importance des défoliations de la tordeuse grise du mélèze en 2007 dans quatre départements alpins

Cartographie effectuée à partir d'observations des correspondants-observateurs du DSF, sur des quadrats de 16 km par 16 km : répartition des surfaces défoliées selon 4 classes d'intensité

sence d'un problème, identifié ou non, laissant présager des dommages à venir. Ces problèmes sont enregistrés sous forme d'une fiche simplifiée afin de poursuivre l'inventaire des dommages phytosanitaires sur le territoire.

Les nouveaux outils d'observation utilisés

Dans le cadre de cette nouvelle stratégie, de nouveaux outils ou dispositifs de collecte complètent les trois réseaux présentés au premier chapitre :

- la quantification de problèmes pérennes (gui, dorger, chancres...) ou des mortalités seront observées sur les placettes de l'IFN,

- le recueil des informations au niveau des gestionnaires (surfaces et parcelles plantées, volume de bois récoltés pour des raisons phytosanitaires...) sera organisé,

- en fonction des progrès techniques, la télédétection pourra également être utilisée.

Deux outils spécifiques sont envisagés, le premier a été mis en place en 2007 pour évaluer et cartographier les défoliations dues aux chenilles précoces des chênes (France entière) et les défoliations dues à la tordeuse grise du mélèze (sur quatre départements des Alpes) :

- Les relevés par quadrats de 16 km par 16 km

L'implantation des placettes systématiques de suivi des dommages forestiers sur un maillage Lambert de 16 km par 16 km et celle des points d'inventaires de l'IFN sur un quadrillage Lambert kilométrique, ont conduit à utiliser des quadrats de 16 km par 16 km (quadrats = carrés centrés sur la grille d'implantation des placettes du réseau systématique) comme dispositif de surveillance, de collecte et de présentation des observations.

Sur ces quadrats, les correspondants-observateurs relèvent des informations telles que les surfaces de chênes défoliés à plus de 50 % ou les surfaces de mélèze d'Europe défoliées par la tordeuse grise et réparties selon 4 classes de défoliations (Cf. Fig. 2).

Ces quadrats sont utilisés pour la présentation et la cartographie des synthèses annuelles.

- Les massifs-échantillons

Pour certaines observations, il n'est pas possible de faire un relevé suffisamment exhaustif sur la surface d'un quadrat. Il est envisagé de concentrer les observations sur des massifs limités appelés massifs échantillons, d'une surface d'une à quelques centaines d'hectares. Les observations sur le massif-échantillon fournissent des indicateurs d'évolution de la situation phytosanitaire dans le quadrat concerné.

Cette technique est notamment envisagée pour le suivi des foyers de dégâts de scolytes (typographe) dans certaines régions.

Elle sera testée en vraie grandeur en 2008, afin d'évaluer les difficultés de mise en œuvre et la validité des indicateurs.

Deux illustrations en région méditerranéenne

– **Suivi intensif “tordeuse grise du mélèze”** : utilisation des quadrats comme unités de collecte de données et de cartographie (Cf. Fig. 2).

– **Suivi intensif “dépérissement”** : cartographie de quelques dépérissements géographiquement localisés en région méditerranéenne et détail explicatif sur le dépérissement du sapin pectiné dans l'Aude (Cf. Fig. 3).

Conclusions et perspectives

Le dispositif de surveillance de la santé des forêts en France est organisé en trois niveaux complémentaires de manière à observer l'évolution de l'état sanitaire des peuplements forestiers à plusieurs échelles de temps et d'espace : sur le long terme, au niveau des écosystèmes forestiers (réseau RENECOFOR) et au niveau de grandes régions écologiques pour les principales essences forestières (réseau de suivi des dommages forestiers) et sur le moyen terme, au niveau local, grâce aux observations des correspondants-observateurs du Département de la Santé des forêts.

La nouvelle stratégie de surveillance mise en place en 2007 par le Département de la Santé des forêts avec ses correspondants-

Zoom sur le dépérissement du sapin pectiné dans le Pays de Sault (Aude)

Détection : automne 2003 mais problèmes antérieurs déjà existants

Caractérisation sommaire : mortalité rapide en 2003 et 2004. Actuellement, houppiers présentant des pertes foliaires, des mortalités de branches et des descentes de cimes. Mortalités observées en été généralement.

Quantification : plateau de 15 000 ha de sapinières dont 11 000 ha de forêts publiques : 82 000 m³ de coupes dépérissantes sur trois ans (2004-2006) soit 1,5 fois la récolte normale annuelle (55 000 m³, source ONF). Les versants non exploitables présentent de nombreux arbres secs depuis 2003.

Compréhension succincte :

- facteurs prédisposants : contraintes stationnelles, âge, présence du gui.
- facteurs déclenchants : sécheresse-canicule 2003 et sécheresses ultérieures.
- facteurs aggravants : sécheresses 2004-2005-2006, scolyte curvidenté, présence du gui.

Suivi : sur les Pyrénées : SYLVAPIR.

Etude locale en cours de réflexion (DRAF, DDAF 11, ONF, CRPF)

observateurs devrait répondre aux attentes des partenaires forestiers : mettre à disposition des données quantitatives et cartographiques pour les principaux ravageurs ou pathogènes afin d'évaluer, de manière objective, l'impact du changement global sur les peuplements forestiers français ; alerter au plus tôt les professionnels et les administrations en cas d'introduction d'un organisme invasif sur le territoire national et poursuivre l'inventaire des dommages phytosanitaires et des agents responsables.

Bernard BOUTTE
Département de la
Santé des forêts
Echelon technique
Sud-Est
Quartier Cantarel
BP 95
84 43 Montfavet
cedex
Tél. : 04 90 81 11 20
Fax : 04 90 87 70 90
Mél :
dsf.sud-est@
agriculture.gouv.fr

B.B.

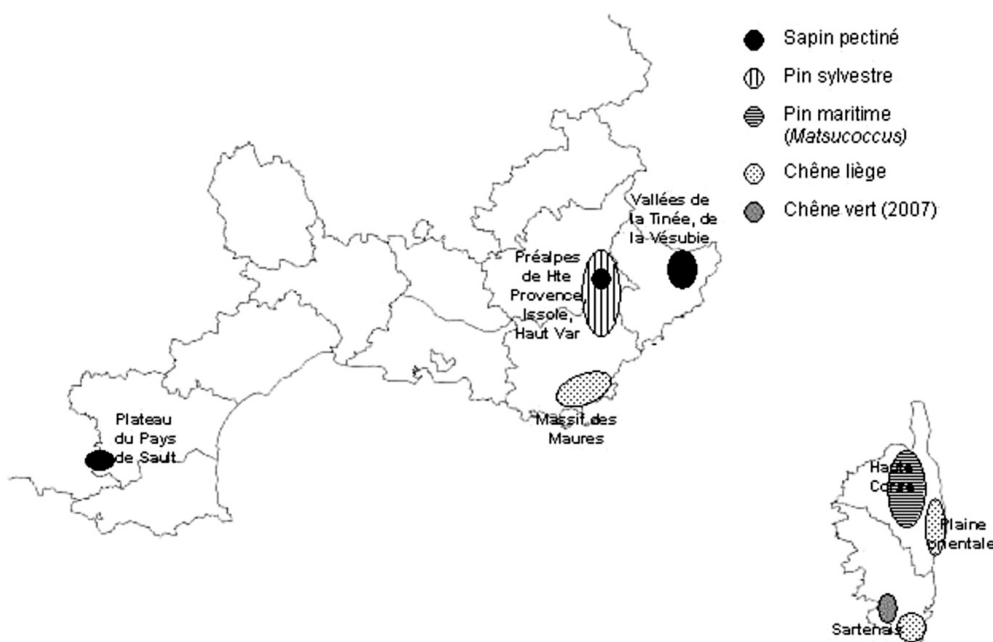


Fig. 3 :
Quelques
dépérissements actuels
géographiquement
localisés en région
méditerranéenne

Science participative et changement climatique L'Observatoire des saisons

Les changements climatiques et leurs effets sur la végétation sont aujourd'hui des thèmes de préoccupations centrales. Afin de documenter et comprendre les effets du changement climatique sur la flore et la faune, le groupement de recherche Système d'information phénologique pour la gestion et l'étude des changements climatiques (SIP-GECC) a mis en place depuis le printemps 2007 une campagne d'observations des cycles saisonniers (la phénologie) de la faune et de la flore de France à destination du grand public à l'échelle nationale intitulée l'Observatoire des saisons.

L'Observatoire des saisons a deux objectifs. D'une part proposer à des observateurs amateurs et volontaires de contribuer à l'élaboration d'une base de données phénologiques sur l'ensemble du territoire français pouvant être exploitée par les chercheurs dans ce domaine. D'autre part, de sensibiliser et d'éduquer le public à l'impact du changement climatique sur la flore et la faune.

Pour cela, l'ODS s'appuie essentiellement sur les deux sites internet (www.obs-saisons.fr et www.obs-saisons.fr/junior) qui proposent aux contributeurs des protocoles d'observation simples, d'identification des espèces proposées à l'observation, et des stades phénologiques à observer. Chaque observateur peut saisir en ligne ses observations, puis visualiser en temps réel sur des cartes de France les observations réalisées par les autres observateurs. L'utilisateur peut aussi, par le biais de ces sites, accéder à des outils d'analyse et d'interprétation de ses observations et à divers dossiers thématiques relatifs au climat, la végétation et le développement durable.

Emmanuel GRITTI (CEFE-CNRS Montpellier)

Résumé

Le dispositif de surveillance de la santé des forêts en France, formé de trois réseaux complémentaires, est présenté ainsi que ses caractéristiques en région méditerranéenne : le réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR), le réseau systématique des dommages forestiers (RSSDF) et le réseau de correspondants-observateurs du Département de la Santé des forêts (DSF). Dans un deuxième chapitre, la nouvelle stratégie de surveillance de la santé des forêts mise en place par le DSF en 2007 est détaillée. Cette stratégie, organisée selon trois axes, a pour but de répondre à la demande des différents partenaires forestiers d'une évaluation la plus objective possible de l'impact des changements globaux (changements climatiques, risques invasifs) sur la santé des peuplements forestiers.

Summary

Which forestry management policies in the light of climate change ?
OBSERVE

This paper presents France's set-up for monitoring the health of forested land, along with aspects related to her Mediterranean Rim : RENECOFOR (national network for the long-term monitoring of woodland ecosystems), RSSDF (the network scheme for damaged forests) and the network of correspondants-observers under the Department of Forest Health (DSF).

In a second section, the new strategy for the monitoring of forest health adopted by the DSF in 2007 is described. This strategy, organised around three lines of attack, aims to respond to the demand from the various forestry bodies and stakeholders for the most objective assessment possible of the impact of global changes (climate change, risk of invasive attack) on the health of forests.

La gestion forestière face aux changements climatiques : premières orientations d'adaptation en forêt publique

Le cas des forêts méditerranéennes

par Myriam LEGAY et Jean LADIER

Les auteurs nous présentent ici la stratégie actuelle en matière de gestion forestière adaptée au changement climatique : quelles sont les principales pistes d'action, les apports souhaités de la recherche... ? Pour chaque axe proposé, est examinée sa déclinaison dans la région méditerranéenne, qui occupe bien souvent une position originale dans cette réflexion : parfois "en première ligne", parfois forte d'une expérience antérieure, parfois encore marginalement concernée du fait de ses spécificités naturelles.

Depuis une quinzaine d'années, les changements globaux font l'objet d'une vigilance suivie de la part de la Direction technique de l'Office national des forêts (ONF). En témoignent la mise en place du réseau RENECOFOR (à partir de 1992), ou encore le Bulletin technique « *Le CO₂ et la forêt* » (1995). Cependant, la réflexion sur l'adaptation au changement climatique a été entreprise essentiellement fin 2005, catalysée par les résultats du programme CARBOFOR. Avec l'appui de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), un atelier de réflexion associant chercheurs et praticiens a permis de faire un premier état des connaissances et de dégager les premières orientations générales d'adaptation. L'objectif opérationnel était d'intégrer ces préconisations dans les Directives et Schémas régionaux d'aménagement, en cours d'élaboration (LEGAY et MORTIER, 2006).

Nous présentons ici ces premières orientations, en développant plus particulièrement le cas des forêts méditerranéennes.

En bref, les impacts du changement climatique sur la forêt

Pour une description plus complète des impacts prévisibles du changement climatique sur la forêt française, nous renvoyons le lecteur au numéro spécial de la revue *Rendez-vous techniques de l'ONF* « Forêt et milieux naturels face aux changements climatiques » (RDVT hors série n°3, décembre 2007), et au rapport du projet de recherche CARBOFOR (LOUSTAU *et al.*, 2004). Pour un zoom sur la région méditerranéenne française, on pourra également se référer à Hoff et Rambal (HOFF et RAMBAL, 1999).

Rappelons ici, à grands traits, les modifications attendues des écosystèmes forestiers.

Le réchauffement du climat, en été comme en hiver, devrait s'accompagner d'une modification de la distribution saisonnière des précipitations, avec un déficit estival accru et une augmentation des pluies hivernales (M. DÉQUÉ in RDVT HS n°3).

Le réchauffement observé au cours des trente dernières années se traduit par une augmentation déjà perceptible de la durée de végétation (MENZEL et FABIAN, 1999). Sous l'effet des modifications anthropiques de l'environnement, la productivité des arbres forestiers change, de façon complexe dans l'espace et dans le temps, avec des augmentations fortes de productivité actuellement constatées dans le nord de la France (BONTEMPS, 2006), mais aussi dans le Bassin méditerranéen, sur chêne pubescent (RATHGEBER, 1999), pin d'Alep (RATHGEBER, 2005), ou pin maritime (NEFAOUI, 1996).

Cependant, l'augmentation de la contrainte hydrique laisse craindre une inversion de cette tendance, déjà observée sur le pin sylvestre en limite sud de son aire de répartition (VENNETIER, VILA *et al.*, in RDVT HS n°3).

Cette évolution du climat devrait se traduire par une modification des couverts végétaux, et notamment une modification des aires climatiques potentielles de grandes essences forestières, susceptibles selon les cas, de régresser, comme le hêtre, ou de progresser, comme le chêne vert (BADEAU *et al.* in LOUSTAU *et al.*, 2004). L'évolution croisée des productivités respectives du pin sylvestre et du pin d'Alep, mise en évidence dans le massif de la Sainte-Baume par

VENNETIER et VILA, pourrait être une manifestation de ces évolutions.

Enfin, les équilibres entre espèces au sein des écosystèmes pourront être déplacés, en particulier les interactions entre insectes ou pathogènes (sensibles eux-mêmes aux modifications de l'environnement) et arbres-hôtes (ROQUES, NAGELEISEN et MARÇAIS in RDVT HS n°3). Avec l'augmentation de la sévérité ou de la fréquence des événements climatiques extrêmes, ces évolutions laissent craindre une augmentation des crises de dépérissements.

Une première urgence : sérier les risques

Devant ce tableau, la révision du choix des essences ou des provenances peut apparaître comme la mesure d'adaptation la plus concrète. Une telle approche soulève cependant de nouvelles questions :

- quand mettre en œuvre cette transformation des peuplements ?
- faut-il installer des essences adaptées aux cartes climatiques de 2050, ou de 2100 ?
- dans quel panel d'essences potentielles rechercher les essences substitutives ? Faut-il envisager à nouveau l'emploi d'espèces exotiques de reboisement, voire en rechercher de nouvelles ?
- faut-il garder les essences en place, mais aller rechercher des provenances plus aguerries à la sécheresse ?
- ne risque-t-on pas de sous-estimer les facultés d'adaptation des espèces et des écosystèmes et d'intervenir de façon maladroite, voire néfaste ?

Aucune action pertinente ne peut être entreprise sans un travail d'évaluation des risques encourus par les différentes essences (en particulier les espèces sociales formant l'ossature des peuplements) : quels sont les couples essences x stations les plus vulnérables au changement climatique ?

Travailler à plusieurs échelles, en croisant les approches

A l'échelle nationale, voire à l'échelle de l'aire des espèces, la mise en œuvre des modèles de niche est performante et permet de dégager les grandes lignes : les travaux de

Vincent Badeau permettent ainsi de prendre conscience du risque encouru à l'échéance du siècle par le hêtre sur une grande part de son aire française, ou par le sapin à basse altitude.

Cependant, dans l'état actuel des données mobilisables, ces approches à large échelle ne peuvent tenir compte de la variabilité stationnelle locale due aux variations du sol ou du micro-climat. La prise en compte de ces variations à l'échelle régionale permettra à nouveau de sérier les risques, et de ne pas mettre sur le même plan toutes les localités d'une même région. Le travail considérable déployé depuis plus de vingt ans pour la réalisation des catalogues de stations forestières doit être mis à profit dans cette perspective.

Les études de stations forestières ont démarré plus tard en région méditerranéenne que dans le nord-est de la France. La raison est à chercher dans un contexte particulier et contraignant avec des faciès forestiers très jeunes et difficiles à interpréter sur le plan écologique. Cependant, cette contrainte a obligé les forestiers méditerranéens à adopter une approche analytique pour caractériser les stations forestières. Cela passe par une identification du compartiment climatique, à l'échelle moyenne, avant un diagnostic topo-édaphique intégrant, à l'échelle locale, les composantes du bilan hydrique. De cette approche, basée sur l'évaluation du bilan hydrique, résultent des outils mieux adaptés aux questions posées par les changements climatiques. Les derniers travaux réalisés en Provence calcaire (VENNETIER *et al.*, 2003) et dans les Préalpes sèches (LADIER, 2004) illustrent bien cette démarche qui est systématiquement reprise dans les documents de cadrage de la gestion des forêts publiques (ONF Méditerranée, 2006), Cf. Tab. I.

Développer les approches analytiques quantitatives pour la caractérisation des stations forestières

Cependant, les concepts même de la typologie des stations sont mis à rude épreuve par l'ensemble des changements globaux. L'évolution des paramètres de la fertilité (climat, taux de saturation, nutrition azotée) rend instable le concept de station forestière, considérée comme une appréciation globale

des caractéristiques du milieu, traductible en termes pratiques par un choix d'essences assorties d'indices de fertilité. Simultanément, le développement des systèmes d'information géographiques, des grandes bases de données écologiques, de la bio-indication assise sur des bases objectives et quantifiées, montre la possibilité de mettre rapidement au point des approches plus analytiques et quantifiées (SEYNAVE *et al.*, 2004). Dans le même temps, l'augmentation de la contrainte hydrique nous impose un progrès des connaissances et des pratiques en matière de caractérisation de la réserve utile des sols et du fonctionnement hydrique des peuplements.

A plus long terme, on peut imaginer que ces déterminations analytiques de la fertilité fourniront les données d'entrée de modèles de croissance intégrant les mécanismes physiologiques, permettant de simuler l'évolution des peuplements dans des conditions de milieu changeantes.

Limitier les facteurs de risque sur lesquels on peut agir

La coïncidence de plusieurs facteurs est souvent à l'origine des grands dépérissements (BONNEAU, 1994) : ainsi à Tronçais dans les années 80, un événement climatique extrême a révélé l'inadaptation du chêne pédonculé aux stations acides et hydromorphes du massif. Aussi convient-il de limiter les facteurs d'affaiblissement des peuplements sur lesquels le gestionnaire est susceptible d'exercer un certain contrôle, comme la nutrition. Le développement du bois-énergie est une chance pour la forêt, à condition de veiller à ne pas surexploiter les stations fragiles, comme l'ont fait nos prédécesseurs pour alimenter forges et fourneaux à verre au XVIII^e siècle. Le développement de méthodes d'éclaircie par enlèvement de la totalité des produits, en particulier, doit se faire avec discernement, en raison de la très forte teneur des branches en éléments minéraux. Il faudra parfois envisager des amendements de restauration (BONNEAU, LANDMANN *et al.*, 1994)

Plus encore, le tassement des sols par les engins doit faire l'objet de toute notre attention. Les dégâts occasionnés par certaines exploitations après tempête sont là pour

nous rappeler la réalité de ce risque. Or, le tassement, en particulier pour les sols limoneux et les sols saturés en eau, en réduisant la porosité du sol, asphyxie le système racinaire des arbres et diminue donc leur capacité à extraire l'eau du sol en période de sécheresse. La nécessité de développer des méthodes d'exploitation respectueuses des sols (cf. *Rendez-vous techniques* n°8) est ainsi renforcée par la perspective du changement

climatique : développement des cloisonnements d'exploitation où les engins sont cantonnés, et du câble aérien (câble-mât en particulier).

Les sols méditerranéens sont peu concernés par ces risques de dégradation constatés en région tempérée. Ils sont peu évolués, souvent basiques ; la plupart d'entre eux se classent parmi les rendosols et calcosols.

| Unités stationnelles | | Description (cas les plus fréquents) | |
|----------------------------|-------------------------------------|--|--|
| Climat | Conditions locales | Types de sol | Végétation |
| Supra-méditerranéen d'ubac | station fraîche sur roche calcaire | Fersialsol calcique sur calcaire Calcosol colluvial issu de marne | Chênaie pubescente |
| | station sèche sur calcaire | Rendisol ou peyrosol, issu de calcaire | Pin sylvestre sur chêne vert |
| | station sèche sur marne | Régosol d'érosion ou rendosol, issu de marne | Pin sylvestre, sur chêne pubescent |
| | station fraîche sur roche siliceuse | Brunisol oligosaturé issu de grès, schiste, micaschiste, gneiss, amphibolite | Châtaigneraie, chênaie pubescente |
| | station sèche sur roche siliceuse | Rankosol issu de grès, schiste, micaschiste, gneiss | Suberaie sur maquis |
| Mésoméditerranéen d'ubac | station fraîche sur roche calcaire | Fersialsol calcique sur calcaire Calcosol colluvial issu de marne | Chênaie mixte de chêne vert et pubescent |
| | station sèche sur calcaire | Rendosol ou peyrosol, issu de calcaire | Pin d'Alep, sur chêne vert |
| | station sèche sur marne | Régosol d'érosion ou rendosol, issu de marne | Pin d'Alep |
| | station fraîche sur roche siliceuse | Brunisol oligosaturé issu de grès, schiste, micaschiste, gneiss, amphibolite | Suberaie sur maquis ou yeuseraie |
| | station sèche sur roche siliceuse | Rankosol issu de grès, schiste, micaschiste, gneiss | Maquis arboré (Pin maritime, chêne-liège) |
| Mésoméditerranéen d'adret | station fraîche sur roche calcaire | Fersialsol calcique sur calcaire Calcosol colluvial issu de marne | Pin d'Alep sur taillis de chêne vert |
| | station sèche sur calcaire | Rendosol ou peyrosol, issu de calcaire | Pin d'Alep clair sur garrigue à chêne kermès et chêne vert |
| | station sèche sur marne | Régosol d'érosion ou rendosol, issu de marne | Pin d'Alep clair sur garrigue à romarin |
| | station fraîche sur roche siliceuse | Brunisol oligosaturé issu de grès, schiste, micaschiste, gneiss, amphibolite | Suberaie sur maquis haut ou taillis de chêne vert |
| | station sèche sur roche siliceuse | Rankosol issu de grès, schiste, micaschiste, gneiss | Maquis arboré (Pin maritime, chêne-liège) |
| Thermoméditerranéen | station fraîche sur roche calcaire | Fersialsol calcique sur calcaire Calcosol colluvial issu de marne | Pin d'Alep sur taillis de chêne vert |
| | station sèche sur calcaire | Rendosol ou peyrosol, issu de calcaire | Pin d'Alep clair sur garrigue à chêne kermès et chêne vert |
| | station sèche sur marne | Régosol d'érosion ou rendosol, issu de marne | Pin d'Alep clair sur garrigue à romarin |
| | station fraîche sur roche siliceuse | Brunisol oligosaturé issu de grès, schiste, micaschiste, gneiss, amphibolite | Chênaie verte |
| | station sèche sur roche siliceuse | Rankosol issu de grès, schiste, micaschiste, gneiss | Pineraie de pin d'Alep ouverte sur maquis bas |

Tab. I :
Répertoire descriptif des principales unités stationnelles présentées dans les Directives et Schémas régionaux d'aménagement pour la zone méditerranéenne de basse altitude

Même les sols acides développés sur roches siliceuses, dans les massifs des Maures ou des Albères, par exemple, ont des caractéristiques chimiques (pH relativement élevés) qui les préservent d'une perte de fertilité forte consécutive à l'exportation de matière organique. L'engorgement par une nappe d'eau n'affecte que des stations marginales. En définitive, les sols sont donc également peu sensibles au tassement en profondeur.

Par contre, les caractéristiques du climat méditerranéen et la topographie les exposent à des risques d'érosion. Ce phénomène pourrait connaître une évolution défavorable sous l'effet du changement climatique, avec l'augmentation des épisodes de pluies violentes, combinée à l'accroissement des risques d'incendie ou de dépérissement du couvert végétal. Pour autant, une déstabilisation des terrains n'est pas à craindre à moyen terme. En effet, depuis l'instauration, il y a plus d'un siècle, de la politique de RTM (Restauration des terrains en montagne), la maîtrise de l'érosion est une préoccupation constante en région méditerranéenne, surtout en moyenne montagne. L'expérience acquise et l'amélioration des connaissances en la matière devraient nous permettre de faire face à la situation (Cf. Photo 1).

Choisir le matériel végétal (essences et provenances)

La question du choix du matériel végétal en perspective du changement climatique ne peut pas être éludée, mais elle doit être abordée de manière graduée.

Mieux connaître la place de chaque essence

Le terme de « mesures sans regret » est utilisé par l'ONERC¹ pour désigner les mesures d'adaptation au changement climatique, qui présentent un intérêt dès maintenant. L'amélioration de l'isolation des bâtiments, ou toute autre mesure de limitation des pertes énergétiques en est un exemple.

Nous pouvons également en matière forestière mettre en œuvre des « mesures de bon sens sans regret ». Le travail de recherche systématique des couples essences x stations fragiles va en effet nous permettre de



prendre conscience de l'importance des surfaces plantées d'essences actuellement mal adaptées à la station. Dans bien des cas, cette inadaptation va s'accroître sous l'effet du changement climatique, et les premiers cas de « basculement » risquent fort de se produire dans ce type de circonstance.

Ainsi le sapin a eu tendance, au cours du XX^e siècle, à coloniser de nouvelles stations à basse altitude (phénomène d'avalaison). Ces fameuses « sapinières sèches » présentent, suite à la sécheresse de 2003, des atteintes qui pourraient être considérées comme des coups de semonce. Un dépérissement inquiétant du sapin avait déjà été signalé dans quelques forêts de basse altitude dans les années 1990, déclenchant une étude de l'autécologie du sapin pectiné et des stations sous sapinière dans les Alpes du Sud (NOUALS, 2000 et DELAHAYE-PANCHOUT, 2004). Ce travail, mené selon la démarche analytique évoquée précédemment, a permis notamment d'identifier des stations à risque pour le sapin (Cf. Fig. 1). Les résultats ont été rapidement intégrés par les gestionnaires forestiers qui n'ont pas été surpris par les mortalités récentes. L'ampleur nouvelle du phénomène justifie cependant que les chercheurs s'y investissent, à l'instar du projet Dryade : « Vulnérabilité des forêts face aux changements climatiques : de l'arbre aux aires bioclimatiques » (<http://www.inra.fr/dryade>), qui se penche notamment sur ce cas.

Photo 1 :

Sol érodé sur marno-calcaire
Photo Marc Delahaye
Panchout, ONF

1 - ONERC : Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

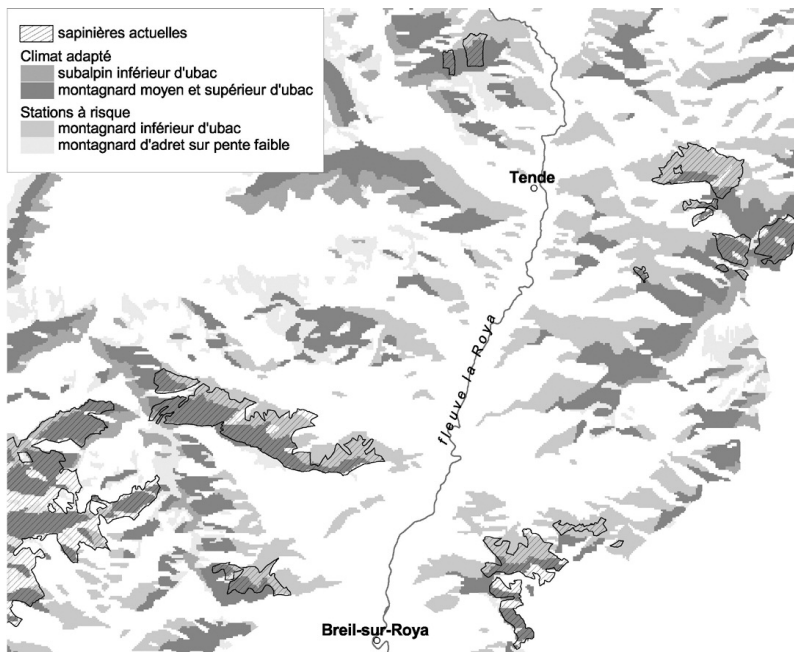
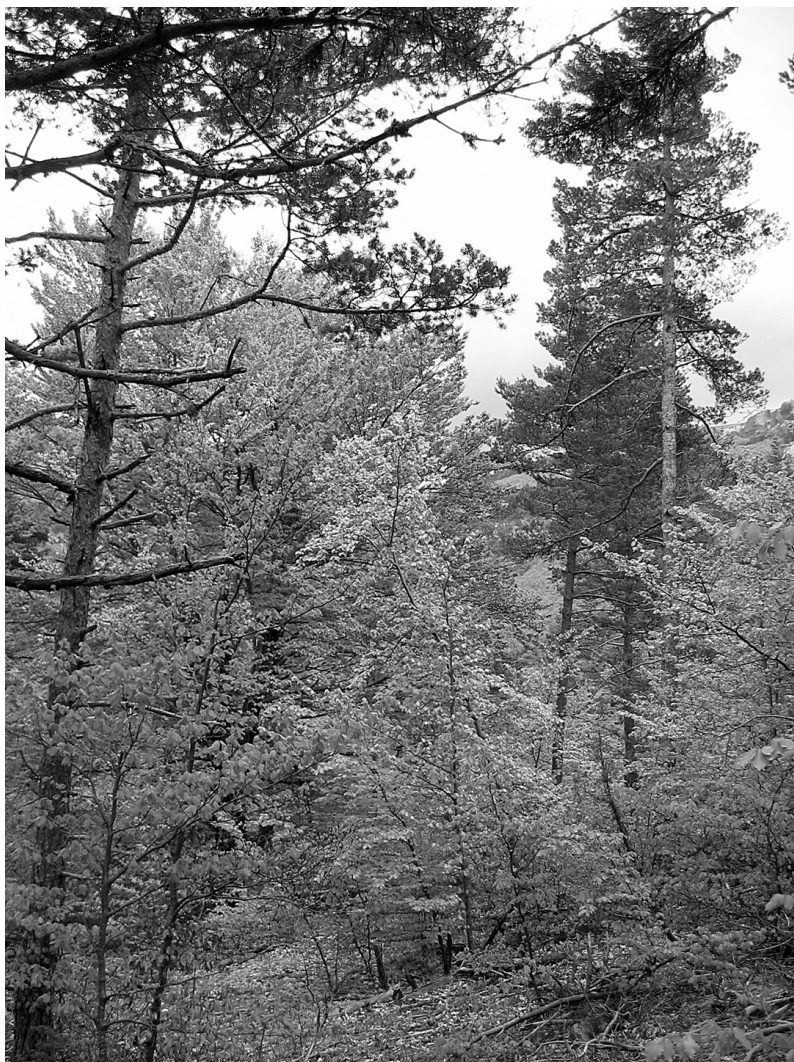


Fig. 1 :
Extension actuelle et potentielle (sous climat actuel)
du sapin dans la vallée de la Roya



De même, le dynamisme et la tolérance à l'ombrage du hêtre le conduisent à coloniser les pinèdes naturelles occupant des espaces autrefois pâturés, ou encore les plantations RTM (Restauration des terrains en montagne) de pin noir, comme dans le massif du Ventoux (DREYFUS, 2004). Quel sera le devenir de ces peuplements lorsque l'étage dominant de pin disparaîtra, et que l'évolution défavorable du climat se fera sentir ? Un équilibre mouvant devrait s'établir entre cette dynamique de conquête et le recul à basse altitude sous l'effet du changement climatique (LADIER *et al.*, 2007). Cette question, qui inquiétait moins les forestiers méditerranéens que leurs collègues septentrionaux, est aujourd'hui d'actualité avec l'apparition de signes de dépérissement dans certaines hêtraies des Préalpes.

Enfin, la situation du pin sylvestre dans les Alpes du Sud est particulièrement préoccupante. Cette essence réputée très rustique souffre, plus que d'autres, des effets des sécheresses répétées. Bien que les pineraies sylvestres constituent souvent des peuplements médiocres, ce phénomène est d'autant plus inquiétant qu'il est d'une ampleur inattendue et qu'il touche la première essence de Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) en surface (Cf. Photo 2).

Favoriser le mélange des essences

Une autre mesure sans regret, mais pas dénuée de difficultés techniques, consiste à favoriser activement le mélange des essences dans les peuplements, quand la station le permet, en introduisant ou favorisant des espèces résistantes à la sécheresse et adaptées au contexte stationnel et climatique. Les peuplements mélangés sont a priori supposés plus résistants aux diverses atteintes, même si les arguments scientifiques solides pour le démontrer restent peu nombreux, et semblent moins bien établis pour la résistance aux stress climatiques, qu'ils ne le sont pour la résistance aux insectes phytophages (JACTEL, REGEFOR, 2007), voire aux attaques biotiques en général (BARTHOD,

Photo 2 :
Installation du hêtre sous le pin sylvestre
dans les Préalpes du Sud
Photo Pauline Delord

1994). Le plus certain des bénéfiques du mélange est lié aux différences de températures des espèces, qui ne sont pas toutes sensibles aux mêmes atteintes (notamment dans le cas des bioagresseurs, souvent inféodés à une espèce ou à un faible nombre d'espèces), ni réactives aux mêmes seuils de stress, dans le cas d'une atteinte physique (sécheresse, engorgement du sol, tempête...). Les peuplements mélangés peuvent généralement être considérés comme plus résilients, ne serait-ce que par la possibilité de conserver un couvert forestier partiel lors d'un dépérissement, et donc un potentiel séminal, grâce à la résistance d'une partie des composants du mélange (DHÔTE *et al.*, 2005).

Le mélange peut être également une façon d'introduire progressivement dans les peuplements des espèces plus adaptées aux conditions futures, sans anticiper sur la disparition des espèces actuellement dominantes (LEGAY *et al.*, soumis). Enfin, la présence de bouquets feuillus dans les peuplements résineux améliore leur bilan hydrique, notamment en favorisant une meilleure pénétration des pluies hivernales à travers le couvert jusqu'au sol.

Le mélange d'essences, en complément du réajustement du choix des essences objectifs, fait bien sûr partie des mesures mises en œuvre en région méditerranéenne. On peut citer le cas de la forêt domaniale de Comefroide Picaussel dans le pays de Sault dans l'Aude (ONF, 2006), constituée pour l'essentiel d'une sapinière trop pure et présentant des signes de dépérissement. L'aménagement, en cohérence avec la Directive régionale d'aménagement, prévoit de ne conserver la sapinière que sur les meilleures stations, pour favoriser le mélange avec le hêtre à moyenne altitude, et passer à la hêtraie et à la cédraie sur les stations sèches.

Les possibilités de recours à un mélange d'essences stable sont cependant limitées en région méditerranéenne. En effet, les mélanges existants correspondent généralement à des substitutions d'essences en cours et sont donc des phases transitoires vers d'autres peuplements monospécifiques. Dans ce type de situation, le forestier peut tenter de maintenir l'essence pionnière avec l'essence climacique pendant une génération, mais ne peut contrecarrer durablement l'évolution naturelle.

Au-delà des cas d'inadaptation actuelle ou prévisible à la station (espèces en marge stationnelle ou en marge de leur aire de distribution), il semble difficilement justifiable d'entreprendre une transformation systématique des peuplements au nom du changement climatique. Il convient certainement de réajuster le choix des essences en fonction notamment du risque de sécheresse, en particulier lorsque l'on est déjà dans un contexte de plantation, mais il serait injustifiable de transformer massivement des peuplements autochtones avant qu'ils ne manifestent d'eux-mêmes des signes évidents d'inadaptation. Ce serait une perte de biodiversité inacceptable, y compris sur le plan strictement utilitariste, dans la mesure où ces peuplements représentent des sources de gènes irremplaçables, en particulier lorsqu'ils poussent dans des stations très sèches sur lesquels ils peuvent avoir développé des adaptations locales.

Se préparer à des reboisements massifs ?

Cependant, dans l'éventualité où la souffrance de certains peuplements se déclarerait de façon brutale, à l'occasion de crises de mortalité massive à la suite d'accidents climatiques, il convient de réfléchir dès maintenant aux essences de reboisement potentielles.

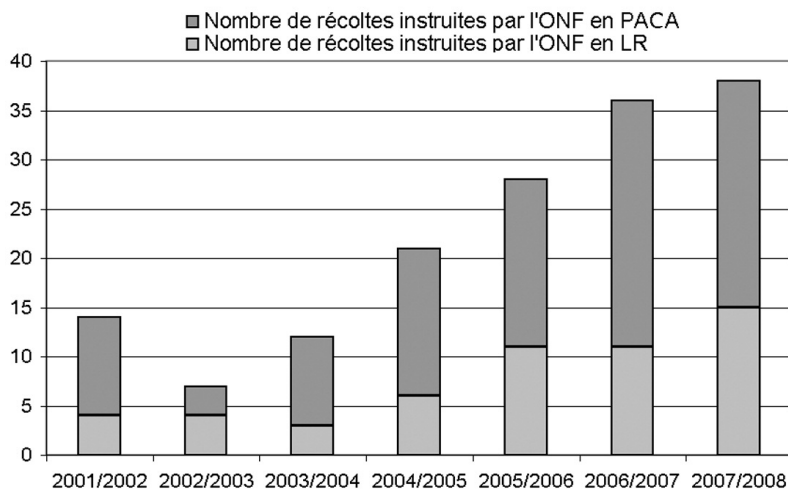
Nous nous trouvons à une période charnière favorable au bilan des différents essais d'espèces ou de provenance mis en place dans les années 70. Beaucoup de ces essais (150 essais dans le patrimoine expérimental de l'ONF) arrivent aujourd'hui en fin de vie. La synthèse de leurs enseignements permettrait de faire un bilan du potentiel de reboisement d'un certain nombre d'espèces testées dans des conditions souvent difficiles de sécheresse, d'acidité ou d'exposition à la pollution.

Dans ce contexte, certaines espèces méditerranéennes trouvent un regain d'intérêt pour le reboisement, y compris dans les stations sèches et chaudes de la moitié nord de la France. Cet engouement coïncide avec l'extension à de nombreuses essences méditerranéennes de la réglementation sur les matériels forestiers de reproduction. Il se manifeste déjà par une augmentation sensible des récoltes de graines (Cf. Fig. 2).

Fig. 2 (ci-dessous) :
Evolution de la demande de récolte de graines de 2001 à 2007 (toutes essences confondues) en régions PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur) et LR (Languedoc-Roussillon)

Photo 3 (en bas) :
Récolte de cônes de cèdre de l'Atlas en forêt domaniale de l'Issole
Photo Marc Delahaye
Panchout, ONF

C'est typiquement le cas du cèdre de l'Atlas (RIOU-NIVERT, 2007). Cette essence a été beaucoup utilisée à basse altitude en Provence et Languedoc, avec des fortunes diverses, depuis une trentaine d'années. Après une période de forte diminution des surfaces plantées, elle apparaît aujourd'hui comme la principale alternative au sapin pectiné sur les stations limites pour celui-ci, dans les moyennes montagnes méditerranéennes, mais aussi dans des régions plus septentrionales (Cf. Photo 3).



Compter sur la variabilité intraspécifique ?

Une idée séduisante pourrait être de mettre à profit la variabilité des espèces au sein de leur aire pour remplacer à terme nos peuplements inadaptés, en allant chercher par exemple des provenances du sud des aires de nos grandes essences sociales. Cependant, il faut souligner que les approches empiriques de caractérisation de l'enveloppe climatique des espèces (dites « modèles de niche »), comme celle développée par Vincent Badeau pour le hêtre (BADEAU *et al.*, LOUSTAU *et al.*, 2004), en s'intéressant à l'enveloppe totale de l'espèce, intègrent *de facto* la variabilité des climats auxquels elles se sont adaptées. Le simple transfert organisé de provenances du sud vers le nord ne semble donc pas offrir d'espoir supplémentaire de maintien des espèces, là où les modèles de niches prévoient leur disparition.

Par ailleurs, plusieurs cas d'adaptation rapide de peuplements transférés aux conditions de leur nouvel environnement sont documentés (FRANC, LEFÈVRE, KREMER, in RDVT HS n°3). Ainsi les populations françaises de cèdre présentent des caractéristiques génétiques originales par rapport aux peuplements de la région d'origine (LEFÈVRE, 2004). La grande diversité génétique intrapeuplement des espèces forestières sociales et l'exemple de ces transferts peuvent laisser penser qu'une action volontaire de transfert de provenance ne sera pas nécessairement plus efficace que l'adaptation *in situ* des peuplements en place.

Enfin, le déplacement volontaire de provenances pose *in fine* les mêmes problèmes que la substitution d'espèce : il altère la ressource locale, et ne semble pas devoir être entrepris avant que des signaux sérieux n'attestent de l'inadaptation des peuplements en place... De plus, toute initiative désordonnée anéantirait les efforts de traçabilité en cours de développement, grâce aux outils génétiques.

En conclusion, le changement climatique soulève en la matière des questions scientifiques encore non résolues, et ne semble pas déboucher sur des préconisations pratiques à court terme. L'analyse des tests de comparaison de provenance (installés il y a quelques décennies dans une optique de production) sous l'angle des nouvelles questions soule-

vées par le changement climatique pourra certainement faire progresser cette question. A ce titre, les dispositifs installés en région méditerranéenne présentent un intérêt particulier du fait de l'exposition des provenances testées à des conditions de stress hydrique prononcé.

Soulignons cependant que par l'affirmation des capacités élevées d'adaptation des espèces d'arbres forestiers, de mécanismes parfois encore mal connus, la génétique des populations est porteuse d'un message d'espoir qu'il faut retenir.

Choisir le bon mode de renouvellement et mettre à profit les atouts de la régénération naturelle

Cette marge importante et mal connue d'adaptabilité de nos espèces plaide en faveur de la régénération naturelle, lorsqu'aucune transformation n'est recherchée à court terme. La régénération naturelle permet en effet à la variabilité intraspécifique et à la sélection naturelle de s'exprimer, au profit d'une adaptation progressive des peuplements à leurs nouvelles conditions de croissance.

Par ailleurs, les semis naturels sont plus résistants à la sécheresse, comme l'épisode 2003 l'a clairement rappelé, avec de nombreux dégâts aux plantations.

Des pratiques sylvicoles d'enrichissement des peuplements doivent être progressivement développées, parfois par plantation, mais surtout par une meilleure gestion des essences secondaires naturellement présentes : préservation systématique des semenciers, attention portée aux semis lors des travaux de dégagement, etc.

Adapter nos pratiques sylvicoles

En tout état de cause, il nous faut adapter dès maintenant nos pratiques sylvicoles, ne serait-ce que pour tenir compte de l'augmentation de la productivité, déjà bien perçue par les forestiers eux-mêmes.

S'adapter à l'augmentation de la productivité

Les travaux de Jean-Daniel Bontemps (BONTEMPS, 2006 ou DHÔTE, BONTEMPS *et al.* in RDVT HS n°3) démontrent de façon robuste ce qui avait déjà été révélé, par Becker dès 1994 : la productivité forestière a augmenté de façon considérable depuis le milieu du XX^e siècle. Ils nous apprennent aussi que cette augmentation de productivité est un phénomène complexe, multifactoriel, susceptible de variations dans l'espace... et probablement dans le temps (voir première partie).

Sans préjuger de l'augmentation des volumes économiquement valorisés, qui dépendra aussi des pertes par chablis, ou mortalités dues aux sécheresses extrêmes, il nous faut adapter nos itinéraires sylvicoles à cette nouvelle donne. Ne pas le faire serait non seulement une erreur en termes économiques, mais aussi une erreur écologique, conduisant à accumuler trop de matériel sur pied, au détriment de la biodiversité et de la stabilité des peuplements.

Mettre au point des sylvicultures économes en eau

En effet, les travaux de Nathalie Bréda ont montré le rôle d'une densité excessive des peuplements de la forêt de la Harth dans le dépérissement qu'ils ont subi dans les années 80 (BRÉDA, PEIFFER, 1999). La surface foliaire des peuplements conditionne en effet leur bilan hydrique. Un peuplement trop « chargé » consomme plus d'eau, et intercepte plus les pluies (LEGAY, GINISTY, BRÉDA, 2006). Il convient d'en tenir compte en évitant les situations de surdensité, liées à des éclaircies insuffisantes (notamment dans un contexte d'augmentation de la productivité). Il faut donc dynamiser nos sylvicultures, en tenant compte de l'âge et de l'état des peuplements, une intervention brutale dans un peuplement âgé pouvant elle-même occasionner un stress.

A plus long terme, le développement de modèles de croissance intégrant les mécanismes physiologiques nous permettra peut-être d'optimiser quantitativement nos itinéraires sylvicoles en fonction de la consommation d'eau des peuplements façonnés.

La mise au point de pratiques sylvicoles adaptées semble d'autant plus justifiée que le recul des espèces ne se fera vraisemblablement pas de façon progressive, mais par crises liées aux événements climatiques extrêmes. On peut imaginer que les peuplements adultes survivront un certain temps à l'évolution défavorable des conditions locales de climat, et ce d'autant mieux qu'ils seront maintenus dans de bonnes conditions par une sylviculture adaptée.

Actuellement, une telle dynamisation des sylvicultures est cependant le plus souvent hors d'atteinte en région méditerranéenne, au regard de la valeur des produits. La tendance générale est plutôt à une réduction du nombre d'interventions, avec un taux de prélevement suffisamment fort pour rentabiliser les exploitations.

Conserver la biodiversité

L'impact du changement climatique sur l'ensemble de la biodiversité (ordinaire et exceptionnelle) n'est qu'évoquée ici, car notre réflexion en la matière est moins avancée qu'en matière d'impact sur les peuplements d'arbres.

Tout au plus pouvons-nous ici poser quelques données du problème. Plusieurs publications ont cherché à analyser les impacts potentiels du changement climatique sur la biodiversité, aboutissant à un taux local d'extinction des espèces en Europe de l'ordre de 30 % à l'horizon 2050 (BAKKENES, 2002). Les différentes espèces pourront être très diversement affectées, certaines voyant de vastes territoires leur devenir potentiellement favorables, d'autres subissant une contraction de leur aire potentielle, d'autres enfin étant peu affectées. C'est donc à une modification de la composition spécifique des écosystèmes que l'on devrait assister.

L'une des grandes inconnues dans cette évolution, et certains modèles cherchent déjà à la circonscrire, est la capacité de migration des espèces face au glissement de leur aire potentielle. Si toutes les espèces végétales auront a priori du mal à suivre les rythmes de migration imposés par la vitesse de l'évolution climatique, c'est-à-dire à coloniser

au fur à mesure les zones qui leur deviendront favorables, ce rythme est hors d'atteinte pour les espèces aux capacités de migration les plus limitées (DUPOUEY *et al.*, 2002).

Enfin, les dispositifs de conservation de la Nature vont devoir également s'adapter, car beaucoup reposent sur la préservation d'un territoire, hébergeant tel écosystème ou telles espèces reconnues comme remarquables. Le réseau Natura 2000 est une instance privilégiée pour mener cette réflexion, qui devra débiter par une analyse diagnostique des habitats et espèces les plus menacées, mais aussi des sites qui auront à subir les plus profondes modifications sous l'effet de l'évolution du climat. La notion même de « bon état de conservation » des écosystèmes devra devenir évolutive. Cette question concerne la région méditerranéenne française, qui compte un taux élevé de zones protégées au titre de Natura 2000, soumises à un réchauffement plus élevé qu'en moyenne sur le territoire français. Les écosystèmes méditerranéens sont d'ailleurs considérés parmi les plus vulnérables parmi les écosystèmes continentaux européens, au côté des écosystèmes de montagnes (SCHRÖTER, 2005).

La situation actuelle est très contrastée. Les formations forestières à affinité méditerranéenne qui trouvent en région méditerranéenne leurs stations les plus méridionales, telles que les hêtraies de la Sainte-Baume et de Valbonne, y sont les plus menacées. Par contre, certains habitats thermoméditerranéens, tels que les formations saxicoles à Euphorbe arborescente, sont en extension. La gestion appliquée doit être adaptée au cas par cas.

Développer les réseaux de surveillance et d'observation, gérer les crises

Le devoir de monitoring

Prendre des décisions en environnement changeant et incertain requiert de développer notre capacité à suivre les évolutions en cours. Ce monitoring peut aussi avoir des retombées opérationnelles très concrètes en

matière d'alerte, qu'il s'agisse de détecter précocement une hausse de mortalité ou de repérer l'apparition d'un ravageur ou d'un pathogène nouveau ou épidémique.

La France s'est dotée d'un dispositif de monitoring associant plusieurs réseaux complémentaires, intégrés dans des dispositifs européens :

- le réseau RENECOFOR (participation française au réseau européen de niveau 1) Cf. Photo 4 ;

- le réseau 16 km X 16 km de surveillance de la santé des forêts (correspondant au niveau 2 européen), et le réseau de compétence des correspondants-observateurs du Département de la Santé des forêts ;

- et enfin l'Inventaire forestier national.

Ces dispositifs opérationnels sont complétés par les sites-ateliers de l'observatoire de recherche en environnement F-ORE-T (<http://www.gip-ecofor.org/>) sur lesquels sont menées des investigations plus poussées dans le cadre de projets de recherche. Parmi les sept sites-ateliers métropolitains du réseau F-ORE-T, deux sont situés en zone méditerranéenne : l'un dans la chênaie verte, à Puéchabon (Hérault), l'autre dans un mélange de pin d'Alep et de chêne vert, à Font Blanche (Bouches-du-Rhône). De même que les tests de comparaisons de provenances, ces dispositifs situés en région méditerranéenne présentent, dans le contexte du changement climatique, un intérêt accru et qui dépasse le cadre régional.

Enfin, en complément des réseaux dédiés au suivi des écosystèmes, différents dispositifs expérimentaux à base de placettes permanentes, en particulier la coopérative de données sylvicoles, peuvent contribuer à cet effort de suivi en continu.

Chacun de ces dispositifs a entrepris, de façon progressivement concertée, de s'adapter à la problématique du changement climatique, qui n'était évidemment pas centrale à leur mise en place. Il appartient aux pouvoirs publics de prendre la mesure de l'effort à consentir, et à la communauté des gestionnaires et des chercheurs d'y participer. Si un effort de renforcement des réseaux pouvait être fait (au-delà de leur maintien, d'une absolue nécessité), c'est peut-être en zone supra-méditerranéenne qu'il serait le plus justifié, par exemple dans la chênaie pubescente, comme suggéré par Maurice Bonneau (colloque RENECOFOR, mai 2006,



Beaune), ou dans les peuplements marginaux de nos grandes essences forestières, souvent mal représentés dans des échantillonnages qui privilégient la typicité des écosystèmes.

Photo 4 :
Placette RENECOFOR du Mont Aigoual : collecte de litière
Photo Luc Croisé, ONF

Développer la culture du risque et de la gestion des crises

Les évolutions à venir laissent penser que la gestion forestière devra faire face à de nombreuses crises, dont la tempête de 1999 et la sécheresse de 2003 nous ont peut-être donné un avant-goût. Les crises climatiques (sécheresse, épisodes de pluies violentes),

Photo 5 :
Effets de la sécheresse caniculaire de 2003 dans une sapinière des Alpes-Maritimes
Photo Marc Delahaye Panchout, ONF



mais aussi les crises sanitaires (dépérissements, gradations de ravageurs ou pathogènes, invasions biologiques) risquent en effet de devenir plus fréquentes. Par ailleurs, l'augmentation à prévoir du risque d'incendie dans des régions qui y étaient jusqu'ici peu soumises appelle également des mesures d'adaptation spécifiques (Cf. Photo 5).

Nous devons nous préparer à mieux gérer ces crises, depuis le dispositif d'alerte, jusqu'à l'exploitation et la valorisation des produits forestiers récoltés suite à l'événement, sans oublier le retour d'expérience dans une démarche de progrès continu. En la matière, l'expérience acquise en région méditerranéenne dans la gestion des suites des incendies s'est révélée utile pour la gestion des dépérissements. Cette expérience pourrait également bénéficier aux régions situées plus au nord.

Dans l'immédiat, le principal défi à relever pour la communauté forestière concerne les relations entre pratique et recherche. Pour anticiper les réactions des écosystèmes en conditions changeantes, les gestionnaires vont avoir plus que jamais besoin des résultats de la recherche. Les préconisations de gestion vont devoir évoluer régulièrement en fonction de l'évolution des résultats, de l'affinement des scénarios, de la prise en compte de nouveaux mécanismes, etc. A la charnière entre gestion et recherche, le monitoring sera probablement un domaine d'échange privilégié.

Pour relever ce défi, nous pensons qu'il faudra renforcer la charnière du développement, en allant au-delà de la simple communication de résultats généraux à l'occasion de face-à-face ponctuels, par un travail de fond en commun sur des objectifs partagés.

M.L., J.L.

Bibliographie

- Bakkenes M., Alkemade J.R.M., Ihle F., Leemas R., Latour J.B. (2002), Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050, *Global change biology*.
- Barthod, C. (1994), Sylviculture et risques sanitaires dans les forêts tempérées. Première partie, *Revue Forestière Française* 46, 609-608.
- Bonneau, M. (1994), Les dépérissements à causes multiples : caractéristiques générales, *Revue Forestière Française* 46, 472-473.
- Bonneau M., Landmann G., Garbaye J., Ranger J. et Nys C. (1994), Gestion et restauration de la fertilité minérale des sols, *Revue Forestière Française* 46, 579-585.
- Bontemps J. (2006), Evolution de la productivité des peuplements réguliers et monospécifiques de Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et de Chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) dans la moitié Nord de la France au cours du XX^e siècle, PhD thesis, ENGREF.
- Bréda N., Peiffer M. (1999), Etude du bilan hydrique des chênaies de la forêt domaniale de La Harth (Haut-Rhin) et impact des épisodes de sécheresse sur la croissance radiale des chênes, Rapport de convention ONF/INRA.
- Collectif (2007), Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques, *Rendez-vous Techniques* hors série n°3.
- Courcier J. et Dreyfus P. (2005), Retour du hêtre et du sapin dans les pinnaies pionnières de l'arrière pays méditerranéen. Conséquences pour la gestion et la biodiversité, *Rendez-vous techniques* 10, 56-62.
- Delahaye-Panchout M. et al. (2004), La sapinière à la reconquête de son territoire, ONF collection "Les carnets du forestier Alpes du Sud", 40 p.
- Dhôte J.F., Cordonnier T., Dreyfus P. et Goff N.L. (2005), Quelques enjeux autour des forêts hétérogènes tempérées, *Rendez-vous techniques* 10, 22-29.
- Dreyfus P. (2004), Gestion d'une évolution forestière majeure de l'arrière-pays méditerranéen : la maturation sylvigénétique des pinèdes pionnières. Conséquences pour la biodiversité sur le site pilote du Mont Ventoux., in "Biodiversité et gestion forestière. Résultats scientifiques et actions de transfert", C. Millier, V. Barre et S. Landeau, GIP ECOFOR, MAP, MEDD, Paris.
- Dupouey J., Sciama D., Koerner W., Dambrine E. et Rameau J. (2002), La végétation des forêts anciennes, *Revue Forestière Française*, 54 (6), 521-532., *Revue Forestière Française* 54 (6), 521-532.
- Hoff C. et Rambal S. (1999), Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques, *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 85, 53-57.

Myriam LEGAY
Interface Inra/ONF,
UMR EEF, équipe
phytoécologie,
Centre INRA
de Nancy, 54280
Champenois
Mél :
legay@nancy.inra.fr

Jean LADIER
ONF Direction
territoriale
Méditerranée,
Pôle Recherche-
développement-
sylviculture-
aménagement
Actiplus, ZI St Joseph,
04100 Manosque
Mél :
jean.ladier@onf.fr

- IPCC (2007), Working Group II Report "Impacts, Adaptation and Vulnerability", chapter 4 : Ecosystems, their properties, goods and services, Technical report, IPCC.
- Jactel H. et Brockerhoff E. (2007), Pourquoi les forêts mélangées sont plus résistantes aux attaques d'insectes ravageurs ? (communication) Séminaire REGEFOR <http://www.gip-ecofor.org>.
- Ladier J., Dreyfus P. et Reboul D. (2007), La place du hêtre en région méditerranéenne, *Rendez-vous techniques* numéro spécial n°2.
- Ladier J., (2004), Les stations forestières des Préalpes sèches, définition, répartition, dynamique, fertilité, ONF – Direction territoriale Méditerranée, 124 p.
- Lefèvre F., Fady B., Rubio D.F., Ghosn D. et Bariteau M. (2004), Impact of founder population, drift and selection on the genetic diversity of a recently translocated tree population, *Heredity* (2004) 93, 542-550.
- Legay M., Cordonnier T. et Dhôte J. (soumis), Des forêts mélangées pour composer avec les changements climatiques, *Revue Forestière Française*.
- Legay M., Ginisty C. et Bréda N. (2006), Que peut faire le gestionnaire face au risque de sécheresse ? *Rendez-vous techniques* 11, 35-40.
- Legay M., Mortier F., (2006), La forêt face au changement climatique : adapter la gestion forestière, ONF, dossier forestier n°16, 39 p.
- Loustau D. *et al.* (2004), Rapport final du projet CARBOFOR : Séquestration de Carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles, Programme GICC 2001 "Gestion des impacts du changement climatique".
- Menzel A. et Fabian P. (1999), Growing season extended in Europe, *Nature* 397, 213.
- Nefaoui M. (1996), Dendroécologie, productivité et dynamique de la croissance radiale du Pin maritime naturel du Maroc, thèse, université d'Aix-Marseille III, pp. 302, 1996.
- Nouals D. (2000), Les Sapinières en région Provence-Alpes-Côte d'Azur : typologie des stations forestières, extension potentielle du Sapin 1. Les Alpes pré-ligures 50 p. , 2. les Préalpes sèches 53 p., 3. les Alpes intermédiaires humides 44 p., 4. le sud Dauphiné 49 p., ONF Cellule Régionale d'Appui Technique.
- ONERC (2004), Changement climatique : collectivités locales. Etes-vous prêts ?, <http://www.ecologie.gouv.fr/Collectivites-locales-Changeements.html>.
- ONF Méditerranée, 2006 (1) : Directives régionales d'aménagement pour la région Languedoc-Roussillon. Zone méditerranéenne de basse altitude, 102 p. Montagnes pyrénéennes, 110 p. Zone sous influence atlantique et bordure du Massif central. Zone des Grands Causses, 102 p.
- ONF Méditerranée, 2006 (2) : Schémas régionaux d'aménagement pour la région Languedoc-Roussillon. Zone méditerranéenne de basse altitude, 102 p. Montagnes pyrénéennes, 110 p. Zone sous influence atlantique et bordure du Massif central (sous presse). Zone des Grands Causses, 102 p.
- ONF Méditerranée, 2006 (3) : Directives régionales d'aménagement pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Zone méditerranéenne de basse altitude, 104 p. Montagnes pyrénéennes, 110 p. Préalpes du Sud, 123 p. Montagnes alpines (sous presse).
- ONF Méditerranée, 2006 (4) : Schémas régionaux d'aménagement pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Zone méditerranéenne de basse altitude, 104 p. Montagnes pyrénéennes, 110 p. Préalpes du Sud, 123 p. Montagnes alpines (sous presse).
- ONF, 2006 : Forêt domaniale de Comefroide Picaussel, révision d'aménagement forestier, 2006-2020, 91 p. + annexes.
- Rathgeber C., Nicault A. et Guiot J. (2005), Évolution de la croissance radiale du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Provence calcaire (Sud-est de la France), *Ecologia Mediterranea* tome 31, fascicule 1.
- Rathgeber C., Guiot J., Roche P. et Tessier L. (1999), Augmentation de productivité du chêne pubescent en région méditerranéenne française, *Ann. Sci. For.* 56, 211-219.
- Riou-Nivert P. *et al.* (2007), Climat propice pour le cèdre, *Forêt Entreprise*, dossier spécial 174, 11-58.
- Schröter D *et al.* (2005), Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe, *Science* 310 (5752), 1333-1337.
- Seynave I., Gégout J.C., Hervé J., Dhôte J., Drapier J., Bruno E. et Dumé G. (2004), Etude des potentialités forestières pour l'épicéa commun dans l'est de la France à partir des données de l'IFN, *Revue Forestière Française*, 56, 537-550.
- Vennetier M., Ripert C., Maillé E., (2003), Etude des potentialités forestières de la Provence calcaire ouest, *Forêt Méditerranéenne*, tome XXIV n°1, pp 32-44.

Résumé

Nous présentons les grandes lignes d'une réflexion conduite au sein de l'ONF, en partenariat étroit avec l'INRA, pour adapter la gestion forestière au changement climatique. Cette réflexion, articulée autour de deux ateliers successifs associant scientifiques et managers techniques, a permis de dégager onze axes d'adaptation de la gestion forestière aux effets du changement climatique.

La première étape de la démarche d'adaptation proposée consiste à acquérir une vision cohérente dans l'espace, et évolutive dans le temps, des contraintes écologiques auxquelles sont soumis les peuplements. Le gestionnaire doit être attentif aux facteurs de vulnérabilité sur lesquels la gestion peut influencer, et en particulier veiller au bon état des sols. Sur la base de cette connaissance des contraintes écologiques, peuvent être raisonnés les choix d'espèces et de provenances. Les éventuelles transformations de peuplements ne sont à entreprendre qu'à bon escient : l'intérêt de la régénération naturelle, permettant d'obtenir des peuplements divers et adaptables *in situ*, ne doit pas être négligé. La sylviculture doit se doter d'outil de gestion de peuplements en situation non permanente, et intégrant de nouvelles variables d'évaluation des itinéraires, comme le bilan hydrique des peuplements façonnés... Cette gestion adaptative doit s'appuyer sur le suivi en continu de l'état des forêts, dont les dispositifs revêtent une importance stratégique nouvelle. Face à des risques de crises accrues (chocs climatiques, phases de dépérissement...), une culture de gestion de crise doit être développée. Une réflexion sur la nécessaire évolution de nos dispositifs de conservation de la biodiversité est à entreprendre. Enfin, le transfert des connaissances et la communication doivent inciter et permettre à chaque acteur de se saisir de façon pertinente du problème à son niveau d'action.

Pour chaque axe d'adaptation proposé, nous examinons sa déclinaison dans la région méditerranéenne, qui occupe bien souvent une position originale dans cette réflexion : parfois « en première ligne », parfois forte d'une expérience antérieure, parfois encore marginalement concernée du fait de ses spécificités naturelles.

Summary

Forestry management in the light of climate change : initial guidelines for adapting publicly-owned forests. The case of Mediterranean woodlands

We present here the main focus of thinking within the ONF (France's national forestry commission), worked out in close collaboration with the INRA (France's main agricultural research body), about how to adapt forestry management to climate change. This process of reflection, organised around two successive workshops attended by scientists and hands-on managers, led to the identification of eleven guidelines for adapting forestry management to climate change.

The first step in the recommended adaptive approach is to acquire a coherent overview, open to modification over time, of a given area concerning the ecological constraints to which its stands are subjected. A manager must be very aware of the factors inducing vulnerability which management can hope to modify, paying particular attention to the good state of the soil. On the basis of an understanding of the ecological constraints, it becomes possible to make a reasoned choice of species and provenances. Any proposed transformation of a stand should only be undertaken after full consideration : do not overlook the advantages of natural regeneration which results in diversity and adaptability within a stand. Silviculture must acquire the wherewithal for managing stands where circumstances are transitory, integrating new variable indicators in assessments, for example hydrological patterns in managed stands... Such adaptable management must be based on the ongoing monitoring of the state of the woodlands involved. Such monitoring uses tools which now acquire a new strategic importance. Faced with the heightened threat of risk (climatic shock, periods of dying off...), there is a need to develop a mindset for crisis management. Thinking should be done on the necessary evolution of the tools available for conserving biodiversity. And finally, communicating and the transferal of knowledge should encourage and enable each person involved to get to grips with the issues at his or her particular level of activity.

For each of the proposed guidelines, we consider the implications for the Mediterranean context which has very often been the original seedbed for the thinking : sometimes in a « front line » position, sometimes as the source of previous experience or, on occasion, only marginally relevant on account of the Mediterranean's specific natural features.

Forêts et changements climatiques : les attentes des sylviculteurs privés

par Christian GAUBERVILLE et Philippe RIOU-NIVERT
avec la collaboration de l'équipe de l'IDF

La réalité des changements climatiques inquiète les sylviculteurs privés et les contraint à de nombreux questionnements. A cette occasion, trois notes ont été rédigées par l'Institut pour le développement forestier, faisant état, en particulier, des aspects de station forestière, de matériel végétal et de sylviculture ; cet article en expose les principales lignes.

La réalité des changements climatiques, confirmée par les derniers rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007) contraint les sylviculteurs à de nombreux questionnements.

L'inquiétude est grande au sein des milieux professionnels, attisée par les dépérissements ayant suivi la canicule de 2003, et les questions sont multiples et pressantes. Cette inquiétude recouvre deux grandes thématiques liées au maintien à long terme des espaces forestiers :

– les essences qui constituent aujourd'hui ma forêt sont-elles à même de résister encore 50 ou 100 ans alors que le climat sera, *a priori*, radicalement différent à ces échéances ? En conséquence, quelles essences favoriser, voire quelles essences substituer à celles qui ne seraient pas adaptées, quelle(s) sylviculture(s) préconiser ?

– en possession aujourd'hui d'un terrain où je dois planter, quelle essence choisir qui pourra passer son jeune âge dans les conditions climatiques actuelles et vivre et produire du bois dans 50 à 100 ans, voire plus, dans un contexte climatique différent ?

L'évolution rapide du contexte climatique annoncée par les scientifiques, de l'ordre de la durée d'un cycle de production, rend inévitable une réorientation de la sylviculture, guidée par une nécessaire amélioration de l'économie en eau des peuplements.

Un outil à perfectionner encore, où à réorienter : le diagnostic stationnel

La connaissance des caractéristiques écologiques qui régissent le maintien et la croissance des arbres va se heurter à un problème nouveau : la station, qui jusque là était considérée comme stable (au moins aux échelles de temps habituelles), ne l'est plus. La composante climatique avec ce qu'elle implique au niveau des bilans hydrique et thermique, est en passe de changer brutalement à l'horizon de 50 à 100 ans.

Quatre orientations paraissent prioritaires pour maintenir la pertinence de l'outil à l'échelle du terrain.

– Mettre en pratique les résultats opérationnels de la recherche sur le diagnostic de l'économie en eau des sols : réserve utile, bilans hydriques simplifiés

Avec des sécheresses estivales accentuées et un allongement de la saison de végétation, les arbres auront probablement des besoins en eau de plus en plus élevés et il est, dès lors, essentiel de connaître les disponibilités en eau durant la saison de végétation.

Nous n'avons actuellement pas de méthode fiable et rapide pour appréhender, d'une part, le réservoir utilisable maximal du sol par les systèmes racinaires (en particulier, quelle est la part des horizons supérieurs et comment sont prospectés les horizons fissurés profonds) et, d'autre part, l'évolution du bilan hydrique d'une station au cours de l'année. Une telle méthode — à intégrer dans l'analyse stationnelle — sera d'autant plus utile que la contrainte hydrique risque d'être prépondérante pour la croissance et la survie des arbres dans les années à venir.

D'une manière plus générale, nous devons identifier et hiérarchiser les caractères de la station (lithologiques, géomorphologiques, pédologiques) qui accroissent sa résistance à l'égard d'une détérioration du bilan hydrique (baisse et/ou déplacement saisonnier de la pluviosité).

– Identifier les types de station à risque pour les peuplements actuels et les cartographier

La gestion (sylviculture, choix d'essences...) des zones sensibles à la sécheresse nécessite

d'en connaître la répartition et les caractéristiques stationnelles. L'observation du lien entre les dépérissements passés (canicule 2003) et futurs, et les types de stations, serait à coupler avec les caractéristiques climatiques des années antérieures

Plusieurs sources d'informations sont potentiellement exploitables : bases de données pédologiques géoréférencées, photos aériennes et/ou satellites, observations du Département Santé des forêts (DSF), base de données de l'Inventaire forestier national (IFN) sur les mortalités et dépérissements couplée à sa base écologique, catalogues et guides des stations...

La mise au point d'un protocole d'étude et de cartographie des zones sensibles à la sécheresse, est un outil indispensable au gestionnaire, qui reste à construire.

– Mettre au point une méthode adaptée de diagnostic des stations et de leur évolution (approche prospective)

Intégrer le changement climatique dans les catalogues et guides de stations

Dans un contexte climatique changeant, l'analyse stationnelle doit, pour rester opérationnelle, appréhender deux problèmes nouveaux :

– comment évoluent les types de stations décrits dans une région donnée ? Quelle est leur sensibilité face au changement climatique ? Peut-on prédire des « trajectoires stationnelles » ?

– quelles modifications apporter aux catalogues et guides existants (structuration, descriptions) ainsi qu'à leurs clés afin qu'ils restent opérationnels ?

Il s'agit là de mettre en avant les caractères les plus stables : *a priori* lithologie, topographie, pédologie, et de les isoler des facteurs susceptibles d'évoluer plus ou moins rapidement : climat régional, avec à terme conséquences sur la flore indicatrice.

Élaborer une structuration des types de stations au niveau national

Élaborer une structuration des types de station au niveau national permettrait de comparer la croissance sur des stations décrites dans des catalogues différents, et ainsi d'analyser une plus large gamme de peuplements. Une telle synthèse pourrait s'appuyer sur les connaissances en matière d'habitats forestiers et d'écologie forestière ; elle se situerait dans le prolongement de la

redéfinition des régions écologiques forestières (sylvoécotones) et des synthèses stationnelles au niveau régional.

– Est-il possible d'orienter dès maintenant le choix des essences pour préparer la forêt de la fin du siècle ?

Comment évaluer les chances de maintien à moyen terme des espèces actuellement présentes dans les domaines atlantique et continental, dans un contexte climatique présentant des sécheresses estivales de plus en plus marquées ? (Les attentes au niveau des connaissances autécologiques recourent celles concernant le matériel végétal).

Cela nécessite de confronter et tirer parti des points de vue de la génétique et de l'écophysiologie.

Il y a un besoin de regroupement et de synthèse des connaissances actuelles :

– sur les dépérissements d'essences autochtones et exotiques, en essayant d'isoler les causes climatiques d'autres antécédents "parasites" (histoire des peuplements ; sylvicultures pratiquées) ;

– sur les phénomènes (et les vitesses) d'adaptabilité des espèces aux pressions de sélection ;

– sur la résistance des essences aux brûlures directes du feuillage, aux dégâts du gel et plus généralement aux extrêmes climatiques qui dessinent, plus que les moyennes, l'aire de répartition des espèces.

Détecter les espèces "bonnes candidates" à moyen et long termes et mettre en évidence les espèces dont l'avenir semble compromis ?

Des cartes de répartition potentielle des aires biogéographiques de certaines espèces dans 50 ou 100 ans ont été publiées. Cette base de travail doit permettre d'évaluer l'adéquation des espèces à un climat caractérisé par des sécheresses estivales marquées et doit être couplé aux caractéristiques des sols des domaines atlantique et continental (très différents des sols du domaine méditerranéen actuel).

Il apparaît fondamental de faire un bilan des connaissances et des travaux effectués sur les essences méditerranéennes, autochtones et exotiques.

Ainsi, le cèdre peut apparaître comme une essence intéressante. Les travaux du Cemagref d'Aix montrent que cette espèce du collinéen et du montagnard méditerranéens

ne supporte pas forcément les régions à forte humidité atmosphérique, mais par contre résisterait bien au froid.

De même, des observations récentes montrent que les phénomènes d'adaptation à un déficit hydrique peuvent s'avérer surprenants et complexes, par exemple en mettant en évidence que les individus les plus sensibles sont parfois ceux qui n'ont jamais connu de difficultés (les plus résistants étant ceux installés depuis longue date sur les stations les plus mauvaises).

Proposer un matériel végétal adapté

Les demandes pour un matériel végétal adapté à de nouvelles conditions climatiques se multiplient du fait de la rapidité des dépérissements. Le problème va rapidement devenir une préoccupation majeure des reboiseurs. Si l'on pourra parfois envisager la substitution d'une essence par une autre (comme le remplacement du chêne pédonculé par le chêne sessile ou par des pins, ou du hêtre par le chêne sessile), dans bien des cas il ne sera plus possible de faire appel aux essences locales. Se posent alors, dès maintenant, un certain nombre de questions évoquées ci-après sans *a priori* et présentées du point de vue des utilisateurs de matériel végétal, sans préjuger des possibilités de réalisation techniques ou budgétaires.

– Disposer d'un bilan sur l'autécologie des essences : dans l'urgence, on commence à beaucoup penser au Cèdre par exemple, sans toutefois connaître tout de ses exigences, avec le risque de ne pas toujours l'employer à bon escient. Des progrès importants ont été faits en autécologie depuis les débuts du Fonds forestier national (FFN), qui devraient théoriquement permettre d'éviter les erreurs les plus graves, mais on manque d'une synthèse accessible proposant un message simple et clair sur le sujet avec un éventail de solutions alternatives. Ce travail concerne les essences indigènes aussi bien que les exotiques.

– Identifier des essences ou des provenances adaptées à des conditions de stress hydrique important : les plants nouvellement installés devront supporter des

sécheresses estivales, mais aussi de possibles engorgements hivernaux. Des essences exotiques comme celles du pourtour méditerranéen ou du sud de l'Amérique du Nord pourraient-elles être intéressantes ? C'est à ce genre de questions que des arboretums d'élimination de la recherche ou d'autres encore, privés ou publics, des plantations d'exotiques réalisées un peu partout dans les années 50-80 puis souvent abandonnées, pourraient répondre.

Faire un recensement le plus complet possible et une évaluation des informations que peuvent fournir ces sites, comme des tests de provenances de la recherche est d'une importance capitale.

– Identifier des aires potentielles pour ces essences : la réflexion préalable à un boisement dans le cadre d'un climat changeant est un exercice difficile ; les cartes publiées dans le cadre du projet Carbofor (projection de l'aire potentielle du hêtre, du sapin... en 2100 par exemple) amènent le changement d'échelle nécessaire. Il serait souhaitable d'adapter cette méthodologie à d'autres essences, souvent exotiques, dont l'autécologie est imparfaitement connue.

– Infléchir des programmes d'amélioration : dans ce domaine de nombreuses actions, nouvelles ou de relance sont envisageables : ainsi en est-il de la relance de certains vergers à graines (douglas californien, sapin de Bornmüller...), réorientation des éclaircies génétiques dans les vergers existants lorsque c'est possible, installation de nouveaux vergers.

Il serait également très souhaitable de disposer rapidement d'un bilan des dispositifs ayant subi la canicule de 2003, pour ouvrir la voie de l'identification de provenances ou d'individus résistants afin d'en constituer des collections.

De plus, la relance de programmes pour certaines essences à identifier (pin laricio, cèdres, sapin de Céphalonie, chêne rouge ?...) comme le démarrage de nouveaux programmes (prospection de l'aire naturelle, choix de provenances, etc.) pour des essences à définir (pin brutia ou autres pins, sapins exotiques, pin d'Alep, robinier, cormier et alisiers, chêne vert, compléterait utilement ce dispositif d'urgence.

Enfin, un travail de recherche fondamentale sur l'identification des mécanismes

adaptatifs en jeu dans la résistance au stress hydrique (localisation des gènes concernés), la plasticité et le potentiel adaptatif des différentes essences, faciliterait la mise au point de variétés forestières sélectionnées pour la résistance au déficit hydrique (pour différentes essences et provenances).

– Conserver des ressources génétiques *ex situ* pour des essences, provenances ou écotypes qui risquent de disparaître, notamment dans le Sud, suite aux fortes sécheresses, mais qui pourraient être adaptés à l'avenir plus au Nord, apparaît dès maintenant indispensable : pin sylvestre sur calcaires dans l'arrière-pays méditerranéen ou en Dordogne, sapin de l'Aude, hêtre dans le sud de la France ou en Poitou-Charentes, cormier... De telles collections pourraient être rapidement transformées en structures de production de graines.

– Organiser la production de semences et de plants et adapter la réglementation sur le matériel végétal

Pour des essences qui risquent d'être de plus en plus demandées (cèdres par exemple) dont certaines encore peu connues ou délicates, il est urgent de mettre au point des procédés de culture de masse en pépinière (homogénéisation de la production, conteneurs...).

– Adaptation de la réglementation

Il faudra sans doute à terme envisager un assouplissement du principe de priorité au matériel autochtone qui pourrait conduire à des erreurs d'installation.

Affiner le diagnostic des peuplements

La première étape, préluant à la définition d'un objectif de gestion et du (ou des) itinéraire(s) sylvicole(s) permettant de l'atteindre, consiste en une observation des critères essentiels pour porter un diagnostic fiable sur le peuplement.

Comme le diagnostic stationnel, le diagnostic du peuplement est désormais prospectif : il doit permettre de décider si celui-ci est sans avenir (à exploiter à court terme), à avenir incertain (révolution à raccourcir), ou à avenir potentiel.

Il devra lui aussi être revu et, parmi les critères classiquement observés, il semble important de mettre l'accent sur les facteurs suivants dont l'appréciation devra être affinée :

– **Age** : préciser le lien entre les facteurs limitants stationnels (cartes de risques) et l'essence ; le tempérament et la longévité des différentes essences est le premier critère à prendre en compte. La meilleure connaissance de l'autécologie des essences en regard de l'évolution prévisible de la station doit permettre de mieux raisonner l'objectif de gestion.

– **Essence** : préciser le lien entre vitesse d'évolution du climat et vitesse de croissance des différentes essences ; compte tenu de la vitesse du changement, la comparaison entre l'âge actuel (en peuplement régulier) et la durée de révolution sera un élément d'appréciation utile de la possibilité d'atteindre l'objectif. Ce critère est particulièrement crucial pour les essences à longue révolution (grands feuillus sociaux, certains résineux de montagne).

– **Structure** : élaborer des typologies simples pour les structures irrégulières prenant en compte si possible l'économie en eau ; cela revient à évaluer dans la description de la structure l'influence de l'hétérogénéité des âges ou de l'origine des tiges, ainsi que leur position sociale, sur la sensibilité du peuplement au changement climatique.

– **Etat sanitaire** : élaborer une méthode simple de description de l'état sanitaire des différentes essences au plan des signes de dépérissement liés au stress hydrique en particulier ; des méthodes de description perspicaces de l'état des houppiers (mortalité de branches, descente de cime, microphyllie...) seraient utiles afin de distinguer les signes de problèmes conjoncturels rattrapables des symptômes de dépérissement graves. La formation au dépistage précoce des dépérissements et des attaques parasitaires doit également être renforcée.

– **Densité** : étudier l'opportunité d'agir sur la densité du peuplement en mettant au point une méthode simple de diagnostic dendrométrique du peuplement axée sur l'économie en eau ; cela consisterait, par exemple, à étudier comment relier les facteurs déterminant l'évapotranspiration du peuplement, comme l'indice de surface



foliaire (LAI), avec les critères simples utilisés par le gestionnaire en routine (surface terrière, facteur d'espacement, H/D...) et ce, pour chaque essence.

– **Stabilité** : pour une essence donnée et sa sylviculture passée (densités initiales, régime d'éclaircie...) elle est principalement fonction de la hauteur du peuplement. L'accélération de la croissance en hauteur donne une importance à ce critère, même si le lien entre tempêtes et changement climatique est encore discuté. Des fiches diagnostic de la stabilité d'un peuplement et l'établissement de cartes départementales de sensibilité au vent seraient une traduction intéressante des résultats des recherches effectuées après les tempêtes de 1999 en conseils opérationnels pour le sylviculteur.

– **Arbres-objectif** : mettre au point une fiche diagnostic des arbres-objectif en identifiant les critères les plus pertinents pour reconnaître un arbre résistant aux possibles aléas futurs (stress hydrique, tempêtes, attaques parasitaires...) en s'appuyant sur les derniers résultats des recherches en écophysiologie et en architecture. Ces critères ne sont pas forcément ceux qui sont retenus actuellement dans une optique économique.

Photo 1 : Sapin dépérisant dans le massif du Lachens dans le Haut-Var
Photo D.A.

Réorienter les méthodes de sylviculture ?

Pour les peuplements en place, et selon l'état révélé par le diagnostic (sans avenir, avenir incertain ou avenir potentiel), différentes options de gestion se présentent. Il s'agira de choisir celles qui sont susceptibles de conférer au peuplement la plus grande capacité possible de résistance aux évolutions climatiques attendues. De nombreuses recherches sont encore à mener ou à vulgariser pour aider le sylviculteur dans ses choix. Nous n'aborderons ici que les questions utiles pour guider une sylviculture préventive. La sylviculture curative (sur peuplements déperissants) fait l'objet d'un autre chapitre (consacrée à la gestion des risques) de même que la liaison sylviculture-exploitation-qualité du bois.

Les cinq thèmes abordés ci-dessous ont fait l'objet de multiples travaux ces cinquante dernières années ; il semble maintenant nécessaire d'en revoir de nombreux aspects sous l'angle nouveau du réchauffement climatique. Chaque question vise évidemment à terme l'obtention d'une réponse en forme de conseil pratique pour le sylviculteur.

– **Traitement : préciser l'efficacité relative des différents traitements vis-à-vis de l'économie en eau** dans différentes situations biogéographiques, d'étages de végétation, de peuplements purs ou d'assemblages d'essences. Il serait souhaitable, d'une part, de comparer les traitements en structures régulière et irrégulière du point de vue de l'économie en eau du peuplement et, d'autre part, d'estimer, au sein d'un même peuplement, les possibilités de résistance individuelle au stress hydrique des tiges selon l'essence, l'origine (type d'ensouchement) et l'âge.

Le niveau de prospection racinaire des arbres de différentes strates et son influence dans la concurrence pour l'eau est à préciser par essence.

– **Evolution des densités : évaluer si la futaie claire (régulière ou irrégulière) est la meilleure solution (et à quelles conditions) pour limiter le stress hydrique** en poursuivant les recherches sur le lien entre l'économie en eau des peuplements et la densité des tiges dans l'étage principal. Un bilan des déperissements observés suite aux canicules de 2003, 2005,

2006 dans les dispositifs sylvicoles à densités variables (coopérative de données, réseau AFI...) et centré sur influence de l'essence, de l'intensité des éclaircies serait utile.

– **Mélanges : préciser dans différents contextes si certains mélanges sont meilleurs que d'autres pour allier économie en eau et production de bois** en faisant varier le tempérament des essences, leur architecture aérienne et racinaire, la station...

– **Sous-étage et strate herbacée : faire le bilan des avantages et inconvénients éventuels du sous-étage (selon les essences)** en précisant son rôle dans la consommation d'eau par rapport à la consommation de l'étage principal. L'intérêt du maintien ou non de la strate herbacée selon l'âge du peuplement est à évaluer.

– **Gestion adaptée des lisières : il apparaît dès maintenant possible de rédiger des fiches de conseils sur l'intérêt et le modelage des lisières** face à l'accroissement des risques de tous ordres, en particulier pour réduire l'exposition au vent des peuplements (lisière filtre, élaguée et à densité faible, ou bien lisière tremplin, étagée et mélangée), ou encore pour favoriser la biodiversité et donc la résistance aux attaques parasitaires (lisière étagée et mélangée, corridors permettant la circulation des espèces...).

Réorienter les méthodes de renouvellement des peuplements ?

Lors du renouvellement d'un peuplement, la première question posée est évidemment l'adéquation de l'essence en place (en cas de régénération naturelle) ou à introduire (en cas de boisement ou reboisement) avec la station, pendant toute la durée de la révolution prévue. Dans un contexte de changement climatique rapide, cela suppose qu'il est possible d'anticiper, dans une certaine mesure, l'évolution de la station, en s'appuyant par exemple sur des cartes de risques basées sur la modification prévisible des facteurs hydrique et thermique.

– **Repenser les méthodes de la régénération naturelle : rechercher, dans les stations où l'on aura décidé de mainte-**

nir l'essence en place, les critères (morphologiques par exemple) permettant de retenir les semenciers potentiellement les plus résistants au stress hydrique (aussi bien pour qu'ils puissent perdurer pendant la régénération que pour qu'ils transmettent leurs caractères de résistance.

Préciser, au moment de l'ensemencement puis des dépressages de semis, les éventuelles consignes particulières à donner aux gestionnaires pour protéger les semis du stress hydrique (préparation du terrain, dosage du couvert principal, du sous-étage...) ou au contraire pour laisser s'opérer une sélection sévère favorisant une réorientation progressive, mais plus rapide, du patrimoine génétique du peuplement.

– **Mettre au point des techniques d'enrichissement : dans le cas où la régénération naturelle n'est pas garantie et s'il y a un doute sur l'adaptation à terme de l'essence en place**, il peut être prudent d'enrichir la régénération en introduisant des essences-relais capables de supporter les conditions actuelles comme les conditions futures (pins, cèdres, alisiers, tilleuls...). Ces essences seront également susceptibles, outre d'assurer une sécurité au niveau production, de se régénérer naturellement et de permettre une transformation en douceur d'un peuplement condamné. Les échecs enregistrés il y a une quarantaine d'années dans le domaine de l'enrichissement rendent nécessaire une réflexion intégrant des techniques nouvelles (grands plants performants, culti sous-solage, protections, paillages...).

– **Dans le cas de plantations en plein,**

* *préciser dans quels cas la préparation du terrain est nécessaire.* Définir, selon les types de sol, les bonnes techniques pour réduire le stress hydrique à la plantation : par exemple sous-solage ou labour qui facilitent l'enracinement, mais perturbent les horizons de surface, ou potets localisés en laissant la végétation en place ou avec mise en place de paillage (plastique, biodégradable...). Identifier les cas où le travail du sol est inefficace, voire néfaste.

* *préciser quels types de plant choisir et comment les installer.* De nombreuses questions n'ont actuellement que des réponses fragmentaires :

– quels sont les avantages respectifs, du point de vue de la résistance au stress

hydrique, des racines nues (selon âge, mode de culture...) et des conteneurs (actuellement privilégiés en région méditerranéenne, selon contenance, substrat...)?

– comment mieux apprécier l'état du système racinaire des plants à la réception ?

– quels sont les meilleurs modes de plantation associés aux types de plants et au mode de préparation du terrain ?

– où en est-on de la généralisation des transports de plants en racines nues avec des sacs de protection ?

– peut-on évaluer le gain en terme de résistance à la sécheresse apporté par une mycorhization en pépinière (avec quels champignons...)?

– **Densités et schémas de plantation : rechercher des techniques de reboisement diversifiées pour la protection des plants vis-à-vis du stress hydrique et des coups de soleil** en précisant les avantages relatifs d'une plantation en plein à espaces réguliers après coupe rase et de nouveaux modes de plantation (par exemple le long d'allées ouvertes dans un recrû naturel, ou par placeaux disséminés). De même pour un boisement de terres agricoles, peut-on envisager l'installation préalable d'une végétation d'abri pour protéger les plants de la dessiccation ?

– **Entretiens de plantation : revoir les techniques d'entretien sous l'angle de l'optimisation des ressources en eau**, en recherchant comment réguler au mieux la concurrence pour l'eau avec la végétation adventice, comment utiliser et doser le recrû naturel (sélection des essences ligneuses ou semi-ligneuses les moins consommatrices d'eau, types de dégagements les plus appropriés...). Il serait utile de retravailler de nouveau sur la technique d'enherbement artificiel (lupins ...) et d'en dégager les avantages et les inconvénients pour l'économie en eau des plants ; de même sur la possibilité d'installation d'un gainage ligneux artificiel (saules, aulnes...).

Enfin quelle est la place à réserver désormais aux entretiens chimiques ?

– **Problème du gibier** : des parades efficaces en cas de plantations à faibles densités ou d'enrichissements, notamment avec des exotiques, devront être trouvées sous peine d'échecs assurés (protections, gestion du gainage feuillu...).



Deux dossiers de Forêt-Entreprise consacrés au réchauffement climatique...

Deux dossiers de *Forêt-Entreprise*, sont consacrés au réchauffement climatique :

– le n° 180 de mai 2008, qui vient de paraître, où l'on trouvera les réponses de la recherche aux questions évoquées dans les

trois notes discutées dans ces actes ;

– le n° 182, à paraître en septembre 2008, complétant cet ensemble avec les réponses de la recherche aux deux notes suivantes, traitant de la production forestière et de la gestion des risques.

Forêt-entreprise n°180 « Changement climatique : réponses des chercheurs »

68 pages couleurs, papier PEFC, 9€50 (+ 3 € frais d'envoi)

Abonnement annuel : 47 € pour 6 numéros

IDF-Diffusion, 23, avenue Bosquet, 75007 Paris Tél. : 01 40 62 22 81

Fax : 01 40 62 22 87 Courriel : idf-librairie@cnpvf.fr

www.foretriveefrancaise.com

Conclusion

L'évolution du climat sera sans doute ponctuée de crises brutales du type de la canicule de 2003 (voire des chablis de 1999). Il faut alors se préparer à enregistrer des dégâts, massifs ou disséminés, sur de grandes surfaces. Dans le contexte budgétaire actuel, il est douteux que les modes de reboisements traditionnels permettent de faire face à un travail de reconstitution de grande ampleur. Il est alors nécessaire, dès maintenant, de tester des techniques extensives et peu coûteuses de renouvellement des peuplements. Parallèlement, un travail de transfert des résultats déjà acquis ou en cours d'acquisition par la recherche devrait permettre de réorienter la gestion des peuplements sur pied pour les rendre moins vulnérables aux aléas attendus.

Christian
GAUBERVILLE
Philippe RIOU-NIVERT
Institut pour
le développement
forestier (IDF)
Service d'utilité
forestière du CNPPF
13 avenue des Droits
de l'Homme
45921 Orléans
Tél. : 02 38 71 90 62
Fax : 02 38 71 90 63
Méls : christian.
gauberville@cnpvf.fr
philippe.riounivert
@cnpvf.fr

Résumé

La réalité des changements climatiques, confirmée par les derniers rapports du GIEC (2007), inquiète les sylviculteurs privés et les contraint à de nombreux questionnements.

Trois notes faisant état, en particulier, des aspects de station forestière, de matériel végétal et de sylviculture ont été rédigées ; deux autres notes concernant la gestion des risques et les aspects de production/récolte seront très prochainement disponibles.

Cela montre que tous les domaines de la foresterie doivent être regardés avec un œil neuf et que, probablement, l'évolution rapide du contexte climatique annoncée par les scientifiques, de l'ordre de la durée d'un cycle de production, rend inévitable une réorientation de la sylviculture, guidée par une nécessaire amélioration de l'économie en eau des peuplements.

Les forestiers français ont déjà connu dans la décennie passée plusieurs crises de grande ampleur et ont acquis une expérience qui doit être valorisée. Il s'agissait alors d'évènements inattendus et brutaux qui ont désorganisé la filière. Les effets du réchauffement climatique, que nous commençons à entrevoir, seront sans doute aussi accompagnés d'évènements brutaux, mais surtout donneront lieu à des dépérissements localisés (actuellement chêne en région Centre ou Bourgogne, épicéa en sud Massif central, pin sylvestre en Provence...), voire diffus. La grande différence est que le sylviculteur est aujourd'hui prévenu, ce qui doit lui permettre de s'organiser et de limiter les impacts du phénomène. Les crises sont souvent l'occasion de stimuler la réflexion et de trouver des solutions originales. Espérons que les bouleversements climatiques rapides qui nous sont annoncés permettront de faire avancer les techniques et d'engager dès aujourd'hui une mutation vers une forêt moins vulnérable.

La tâche est de toute évidence considérable et le concours de tous (la synergie des différents acteurs) devrait permettre d'atténuer les difficultés liées au décalage entre le pas de temps du changement climatique, celui de la gestion et celui de la recherche.

Le présent texte fait état des questions relevant des stations, du matériel végétal et des aspects sylvicoles ; deux autres notes concernant la gestion des risques et les aspects de production/récolte seront très prochainement disponibles.

Ces notes sont diffusées en particulier à l'administration forestière et aux organismes scientifiques afin de susciter des éléments de réponse.

Elles sont le double reflet des inquiétudes des sylviculteurs et de leur volonté de relever le défi des changements qui s'annoncent dans leurs forêts.

C.G., Ph.R.-N.

Changement climatique, diversité génétique et adaptation des forêts

Pour faire bref, on peut dire que la diversité génétique est le “carburant” nécessaire pour une évolution adaptative des forêts, qu’il s’agisse d’adaptation naturelle ou d’adaptation dirigée, et que l’évolution est le moteur qui régule la quantité et la qualité de cette diversité. Dans le contexte du changement climatique, on cherchera à favoriser l’évolution adaptative des ressources tout en maintenant leur potentiel d’évolutions futures sur le long terme. C’est la notion dynamique de ressources génétiques. Cette conception est présentée plus en détail dans le texte qui suit, rédigé par la Commission nationale des ressources génétiques forestières (CRGF).

En France, l’Etat s’est doté d’un Programme national de gestion et de conservation des ressources génétiques des arbres forestiers, qui s’inscrit dans le cadre de la Stratégie nationale Biodiversité. Ce programme est piloté par la CRGF, une commission qui associe chercheurs, gestionnaires forestiers publics et privés, administration et milieu associatif. La CRGF propose au ministère en charge de la forêt les grandes orientations et les priorités du programme national. La France participe également au réseau européen EUFORGEN pour la conservation des ressources génétiques des arbres forestiers.

Depuis quelques années, la CRGF est sollicitée par les acteurs de la forêt privée et de la forêt publique pour répondre à des questions concrètes en terme d’adaptation éventuelle des modes de gestion au contexte du changement climatique, pour une gestion durable des ressources. Il n’existe bien sûr pas de réponse toute faite qui vaille globalement pour la grande diversité des forêts françaises. Par ailleurs, les nouvelles recherches engagées aujourd’hui sur ces questions ne donneront leurs résultats que dans plusieurs années. Or, compte tenu de la vitesse des changements environnementaux, nous ne pouvons pas toujours remettre à plus tard la réflexion sur l’adaptation des pratiques de gestion : les pratiques d’aujourd’hui auront un impact à l’échelle du siècle, c’est-à-dire à l’échelle des changements annoncés. Il nous faut donc mener en parallèle une réflexion sur les pratiques de gestion des forêts basée sur l’état actuel des connaissances et l’acquisition de connaissances nouvelles. Le texte ci-dessous correspond aux recommandations faites par la CRGF en ce début d’année 2008. Ces recommandations seront largement diffusées sous forme de plaquette auprès des acteurs de la forêt.

François LEFEVRE et Eric COLLIN

Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique

De façon générale, la notion de "ressources génétiques" recouvre une part de la biodiversité directement utile pour l'Homme. En forêt, la diversité génétique des arbres est aussi un facteur qui favorise la biodiversité globale de l'écosystème, facteur déterminant de son fonctionnement. Cette diversité, qu'il n'est pas toujours facile d'observer au sein des espèces, est en perpétuelle évolution, elle n'est pas figée. Suivant les lois de la génétique, elle est façonnée par la dynamique des peuplements, par les flux de graines ou de pollen entre peuplements et par la sélection, qu'elle soit naturelle ou d'origine anthropique. Dans le contexte du changement climatique, préserver durablement ce patrimoine sur le long terme est un enjeu global essentiel qui s'appuie sur et qui sert la gestion locale des forêts.

Nous abordons ici la gestion de la diversité génétique au sein de chacune des espèces, sachant que les stratégies de mélanges d'espèces sont bien sûr aussi pleinement justifiées pour une gestion durable dans le contexte du changement climatique.

Nous proposons quelques grandes recommandations générales, sans traiter systématiquement de chaque mode de sylviculture individuellement. Dans beaucoup de cas, plusieurs options sont possibles, il n'y a pas de réponse unique.

Parallèlement à ces recommandations générales de gestion forestière courante, des actions

spécifiques de conservation et de transfert expérimental de ressources génétiques seront conduites par la recherche, notamment à l'initiative de la Commission ressources génétiques forestières (CRGF)¹.

Contexte climatique : un changement continu avec de fortes variations annuelles et régionales

Les experts du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) s'accordent sur un changement significatif du climat à l'échelle du siècle, avec une forte élévation de la température moyenne, des changements de précipitations et une plus grande fréquence d'événements extrêmes (canicules, sécheresses, inondations, tempêtes...). Ces changements, certains, seront variables d'une région à l'autre. Il reste de grandes incertitudes sur l'amplitude des variations annuelles (ex. : l'augmentation de la température moyenne s'accompagnera-t-elle d'une élimination complète du risque de gel ?) mais aussi sur les modifications écologiques globales qui seront induites par le changement climatique (cortèges de parasites, mycorhizes, pollinisateurs, disperseurs de graines, essences invasives nouvelles...).

Le changement climatique est un processus qui s'inscrit dans la durée. A l'échelle du siècle, les forêts devront faire face à une succession de contextes environnementaux difficilement prévisibles et sans doute inédits, tant dans leur dimension physique (température, sécheresse...) que biologique. C'est à cette même échelle de temps que les décisions prises aujourd'hui produiront leurs effets.

Contexte génétique : un potentiel d'adaptation à valoriser

Le maintien en bonne santé des écosystèmes forestiers actuels dans le contexte du changement climatique dépendra, d'une part, de la capacité de survie et de reproduction des arbres en place et, d'autre part, des évolutions adaptatives lors des prochaines phases de régénération. Le *potentiel adaptatif* d'un peuplement est la capacité d'évolution de ses caractéristiques génétiques d'une génération à l'autre. L'évolution des caractéristiques génétiques peut être naturelle ou organisée (ou les deux).

Il est généralement difficile de prédire la capacité de réponse des arbres en place aux changements qu'ils vont subir dans les années à

1 - Cette commission constituée de scientifiques, de gestionnaires forestiers publics, privés et d'un représentant du réseau "forêt" de France Nature Environnement, propose au ministère de l'Agriculture et de la Pêche et met en place une stratégie d'évaluation et de conservation de la diversité génétique des espèces d'arbres forestiers en France.

Notions de qualité pour les ressources génétiques

La « **meilleure qualité** » = critère subjectif basé sur de multiples paramètres (économiques, écologiques...) par rapport à un objectif assigné à la forêt à un moment donné.

L'**adaptation** = qualité de survie, croissance et reproduction de la population dans des conditions environnementales données et constantes.

L'**adaptabilité** = capacité d'évolution de la population dans un environnement changeant, incluant la plasticité des arbres en place et les évolutions génétiques entre générations.

La région de provenance locale offre des garanties d'adaptation. Son adaptabilité n'est pas nécessairement suffisante, cela dépend de sa diversité génétique et de l'intensité des changements environnementaux.

venir (sans parler des incertitudes sur les scénarios climatiques et écologiques futurs). En revanche, on sait que les arbres forestiers, en général, se caractérisent par une grande diversité génétique au sein de chaque peuplement : cette diversité est le “carburant” indispensable pour que puisse fonctionner la sélection naturelle, mécanisme conduisant à l’adaptation. Le niveau de diversité intra-peuplement est variable d’une espèce à l’autre (plus faible pour les espèces dont l’aire est fragmentée), il peut aussi varier pour une même espèce du centre aux marges de son aire de distribution. Toutefois, les exemples historiques de transfert de matériel forestier ont montré que cette diversité génétique était souvent suffisante pour permettre des évolutions adaptatives fortes en une ou deux générations seulement.

Ayant la certitude que des changements écologiques majeurs vont survenir, compte tenu de nos incertitudes sur les caractéristiques exactes de l’environnement futur, il nous faut tirer le meilleur parti de ce potentiel adaptatif. Pour cela, il faut avoir un double objectif :

- maintenir la diversité génétique sur le long terme, pour conserver des possibilités d’évolutions futures ;

- favoriser les processus évolutifs, pour permettre aux peuplements de coller au mieux à leur environnement dans cette “course au changement”.

Recommandations : apporter des réponses graduées en fonction du degré de dépérissement à l’échelle du massif ou de la région

Dans l’immédiat, il convient d’apporter des réponses graduées aux problèmes posés en se gardant de toute anticipation hasardeuse. Tout en étant actifs et vigilants, deux écueils doivent être évités :

- un mouvement trop hâtif de substitution complète d’essence, en éliminant de façon abusive des génotypes survivant à des conditions nouvelles, irait à l’encontre de l’objectif de faire évoluer nos ressources génétiques pour les préserver sur le long terme ;
- le recours immodéré à tel ou tel matériel forestier de reproduction (MFR) supposé provi-

| | Avantages | Inconvénients | Recommandations de gestion |
|--|---|--|--|
| Régénération naturelle | <ul style="list-style-type: none"> - bonne adaptation - bon échantillonnage de la diversité génétique disponible localement - laisse jouer la sélection naturelle - bonne intégration dans l’écosystème, ce qui renforce sa capacité générale de résistance (co-adaptation) | <ul style="list-style-type: none"> - risque d’un nombre limité de semenciers efficaces - risque d’un nombre de semis faible - risque d’une diversité génétique locale trop limitée et finalement incapable de s’adapter à l’ampleur des changements | <ul style="list-style-type: none"> - maximiser le nombre de reproducteurs efficaces - obtenir une densité de semis suffisante, sinon envisager des compléments |
| Plantation de matériel issu de la région de provenance locale | <ul style="list-style-type: none"> - bonne adaptation - matériel généralement issu de peuplements choisis pour leur qualité - assez bonne intégration dans l’écosystème, ce qui assure une bonne capacité générale de résistance | <ul style="list-style-type: none"> - risque de mauvais échantillonnage de la diversité génétique lors des récoltes - moins de place laissée à la sélection naturelle - risque d’une diversité génétique régionale trop limitée et finalement incapable de s’adapter à l’ampleur des changements | <ul style="list-style-type: none"> - mélanger des peuplements classés au sein de la région de provenance quand cela est techniquement possible - augmenter la densité initiale de plantation |
| Plantation de matériel introduit (dans une zone où l’espèce existe déjà) | <ul style="list-style-type: none"> - peut pallier un défaut de diversité génétique locale - peut apporter de nouvelles adaptations | <ul style="list-style-type: none"> - risque de maladaptation - risque de baisse de la diversité génétique globale si l’on introduit massivement du matériel à base génétique étroite - risque « d’étouffement génétique » d’une ressource locale menacée - risque de perturbation supplémentaire d’un écosystème déjà affaibli | <ul style="list-style-type: none"> - introduire du matériel originaire d’une région de provenance voisine, a priori de climat plus sec - introduire du matériel à base génétique large |

dentiel pourrait aller à l'encontre de l'objectif de maintien de la diversité.

La sylviculture peut influencer la diversité génétique et les processus évolutifs. Un processus évolutif important dans le contexte de changement climatique sera la *sélection naturelle* entre le stade semis ou jeune plant et le futur peuplement adulte. Le choix de la régénération naturelle permet d'exploiter au mieux la diversité génétique disponible dans le peuplement. Le recours à la plantation est également intéressant quand celle-ci est réalisée à partir de MFR d'origines contrôlées ou de variétés sélectionnées pour leur adaptation ou leur plasticité. Dans ce cas, une plus forte densité initiale de l'espèce considérée augmentera le potentiel d'évolution par sélection naturelle.

On distingue différentes situations suivant l'impact constaté du changement climatique. Le diagnostic de dépérissement imputé au changement climatique doit être vérifié et affiné, notamment en regard de la gestion passée :

a) en l'absence de dépérissements notables dans les peuplements locaux, il faut favoriser la sélection naturelle par une forte diversité génétique dans les plus jeunes stades du peuplement :

– en régénération naturelle ou artificielle, s'assurer d'une régénération en densité suffisante relativement à l'effectif de population final ciblé dans le peuplement (distinction entre les espèces sociales et disséminées),

– en régénération naturelle, maximiser la diversité génétique dans les semis en augmentant la contribution effective d'un maximum d'adultes reproducteurs (y compris par la durée de la phase de régénération) ;

b) si les taches de dépérissement réduisent significativement le nombre de reproducteurs potentiels dans le peuplement mais qu'il reste au moins la moitié des individus sains, on recommande des compléments de régénération ou une plantation en plein à l'aide de MFR représentant bien la diversité des peuplements classés de la région de provenance locale. Pour accroître l'adaptabilité, on peut envisager un « enrichissement génétique » par l'utilisation de MFR représentatifs des régions de provenances mitoyennes (*a priori* de climat plus chaud et sec).

c) si le dépérissement est global, qu'il touche toutes les classes d'âge et que la disparition de l'espèce considérée semble inévitable à l'échelle du massif, alors il n'y a pas d'autre choix que le transfert de provenances exotiques de la même espèce supposées mieux adaptées aux conditions futures, s'il en existe, ou la substitution d'essence objectif. L'accent devra alors être mis sur la diversité génétique du matériel introduit et sur la traçabilité du matériel utilisé en plantation, y compris en regarnis et enrichissements (conserver

tous les documents relatifs à ce matériel). Parallèlement, il faudra porter une attention particulière aux éventuels arbres survivants susceptibles d'être porteurs d'adaptations génétiques particulières intéressantes, une stratégie de conservation adaptée devant alors être envisagée.

En cas de plantations (enrichissement génétique, transfert, substitution), on devra obtenir de la filière Graines et Plants des garanties de qualité génétique élevée des MFR (large base génétique, adaptation, plasticité). Les actuels conseils d'utilisation des MFR, fondés sur le concept d'adaptation locale, devront évoluer. Les contours des régions de provenance et d'utilisation des MFR devront peu à peu intégrer les nouveaux zonages climatiques. Ceci ne remet pas en question l'intérêt de la réglementation du commerce des MFR, qui garantit la qualité de l'information des utilisateurs. Celle-ci constitue en outre le seul outil permettant de garantir la diversité des ressources génétiques forestières effectivement utilisées. L'utilisation de variétés forestières à base génétique étroite doit être raisonnée et contrôlée afin d'éviter une trop forte homogénéité génétique et de maintenir une réelle diversité génétique à l'échelle de chaque région. En outre, la réglementation des MFR permet de renforcer la traçabilité détaillée et pérenne de tous les mouvements de ressources génétiques, ce qui est primordial dans le contexte d'instabilité climatique dans lequel nous entrons.

En résumé

1 – Si la rotation prévue est de moins de 20 ans (peuplier, taillis à courtes rotations), choisir les MFR les mieux adaptés en évitant une trop forte uniformité à l'échelle régionale.

2 – Si la rotation prévue dépasse 20 ans, il faut prendre en compte adaptation et adaptabilité. Plus l'âge d'exploitabilité est élevé, plus les changements subis entre le stade juvénile et l'exploitation seront importants, plus l'assurance de diversité génétique devient importante.

3 – Pour les peuplements en place, l'adaptation de la sylviculture devra aussi prendre en compte la préparation de la phase de régénération pour assurer sa quantité et sa diversité génétique.

4 – Dans la phase de renouvellement, par régénération naturelle ou plantation, veiller à assurer une diversité génétique suffisante pour laisser prise à une sélection naturelle ultérieure.

Contacts :

Commission des
ressources génétiques
forestières (CRGF) ;
Eric COLLIN
Secrétaire de la CRGF
Cemagref
Unité de recherches
Ecosystèmes
forestiers
45290 Nogent-sur-
Vernisson
Tél. : 02 38 95 09 68
Mél : eric.collin@
cemagref.fr

François LEFEVRE
Président de la CRGF
Directeur de l'Unité
de recherches
forestières
méditerranéennes
(UR629)
INRA, URFM
Domaine Saint Paul,
Site Agroparc
84914 Avignon cdx 9
Tél. : 04 32 72 29 01
Fax : 04 32 72 29 02
Mél : francois.lefevre@
avignon.inra.fr

CRGF

Pour une gestion évolutive des forêts méditerranéennes face aux changements climatiques

par Bruno FADY et Frédéric MEDAIL

Bruno Fady et Frédéric Médail ont participé au Colloque "Changements climatiques et forêt méditerranéenne". A la suite de ces journées, ils ont souhaité que cette lettre soit publiée. Leur prise de position est très intéressante en addition aux publications de ce numéro, d'autant plus que nous ne pouvons qu'approuver l'idée d'une gestion évolutive des forêts en général et des forêts méditerranéennes en particulier.

Les changements climatiques sont maintenant une réalité, et pour longtemps, et ce, quelles que soient les décisions politiques prises dans le futur. Les modèles scientifiques de prédiction climatique ne permettent plus, sur cette question, de douter des modifications environnementales en cours, aux multiples conséquences écologiques. Il y a donc urgence à mettre en œuvre des politiques novatrices de gestion des milieux naturels, et notamment pour les forêts méditerranéennes, qui soient en adéquation avec ces profonds changements. Est-ce réellement ce qui est fait ?

Une des difficultés de la mise en application en termes de gestion de cette réalité scientifique vient du fait que les capacités prédictives des modèles se heurtent à une incertitude sur l'amplitude des événements extrêmes. Si la température mondiale s'oriente inexorablement à la hausse, la fréquence et la sévérité des sécheresses, des gels tardifs, des canicules, restent difficiles à prédire dans l'espace, tout en devenant plus probables d'une année sur l'autre. Or, ce sont ces événements extrêmes qui vont agir de la façon la plus dramatique sur nos espaces naturels, en entraînant des mortalités spectaculaires chez les peuplements forestiers. Mais ces phénomènes restent difficiles à prévoir localement, comme le montrent les effets de la canicule de 2003. Si les peuplements marginaux semblent plus touchés que les peuplements centraux, tous les arbres et tous les peuplements marginaux ne sont pas pour autant dépérissants.

Les sciences de l'évolution nous prouvent jour après jour que la variabilité individuelle et populationnelle des arbres forestiers est très importante. Les sciences de l'évolution nous prouvent aussi, faut-il le rappeler, que la sélection naturelle représente un système (extrêmement efficace !) qui permet l'adaptation des populations à leur milieu. Lorsque les conditions de ce milieu changent — et fortement dans le cas des changements climatiques — la réponse de la sélection naturelle sera forte aussi, avec des dépérissements importants, mais avec également l'apparition d'individus non-dépérissants, qui deviendront les contributeurs majoritaires de la génération suivante. Il existe donc des possibilités importantes d'une adaptation locale à condition que la sélection naturelle puisse agir.

Ce n'est donc pas une gestion anticipative consistant à enlever, dans des forêts de production, des arbres risquant de dépérir (sur quels critères ?) pour tenter de rentabiliser les exploitations, ni une gestion utilisant le renouvellement des forêts de production par l'utilisation systématique de cèdres, de sapins méditerranéens ou de Douglas de Californie qui va régler le problème ! En fait, ces stratégies de gestion, qui peuvent paraître de bon sens sur le moment, empêchent la mise en place et le déroulement des processus de sélection naturelle. De même, dans les forêts de protection, récréatives ou à valeur patrimoniale, la tentation paysagère qui consiste à enlever à grands frais les arbres secs sur pied sans valeur de production particulière est grande, mais elle n'a pas de sens au regard de la capacité de ces forêts à se transformer pour résister aux changements climatiques. Laisser agir la sélection naturelle, permettre l'installation de semis issus d'arbres qui n'auront pas dépéri, favoriser ou créer des hétérogénéités locales, voire installer des descendants d'arbres issus de peuplements plus méridionaux ou de basse altitude, voilà le type de gestion qui devrait être mis en place ; ce serait une gestion porteuse d'une forte signification biologique et écologique, une gestion que l'on pourrait qualifier d'évolutive.

Alors, évidemment, les forêts vont présenter parfois des allures peu engageantes sur le plan paysager, voire catastrophiques pour le forestier. Mais ne vaut-il pas mieux utiliser nos financements publics pour mettre en place cette gestion évolutive des peuplements et expliquer que cette stratégie de gestion est évolutive et qu'elle permettra une évolution des peuplements vers plus de résistance locale aux aléas climatiques, plutôt que de cacher la réalité en éliminant ce qui est inexorable ?

Bien sûr, certaines forêts marginales — et l'on peut penser à tous les peuplements qui constituent, en région méditerranéenne française, « l'arrière-garde » des grandes espèces forestières européennes, comme le hêtre de la Sainte-Baume, le sapin de Lure ou du Ventoux, le pin de Salzmann de St-Guilhem-le-Désert — risquent réellement de disparaître. Sous l'effet de millénaires de sélection naturelle, ces forêts recèlent des réservoirs insoupçonnés d'adaptations locales qui devraient être mises aussi à profit pour « dynamiser » les forêts plus septentrionales. Là encore, une démarche évolutive consis-

tera à sauvegarder nos forêts méditerranéennes par une gestion locale diversifiée, favorisant l'installation d'une régénération exprimant une résistance accrue à la sécheresse, notamment. Mais il ne faut pas se leurrer, les gènes intéressants contenus dans ces forêts ne pourront pas migrer tout seul, ou le feront très difficilement et lentement, puisque le milieu naturel méditerranéen est fortement fragmenté, à la fois naturellement et du fait de l'action drastique de l'Homme. Une gestion consistant à mobiliser ces peuplements méditerranéens sous forme de collecte de greffons, de boutures, de graines, et à les installer plus au nord ou plus en altitude, c'est-à-dire là où ils pourront servir de réserve de gènes pour les forêts du futur, participerait, là aussi, d'une gestion évolutive.

Ce n'est plus d'une multiplication d'études locales et d'actions ponctuelles à court terme dont nous avons besoin ! Nous avons besoin d'un véritable programme national, voire européen, d'envergure, qui identifie les zones les plus à risque, et qui mette en œuvre leur gestion évolutive, tant au plan local que pour le bénéfice d'autres forêts. Ce programme devra aussi identifier les zones contenant les adaptations locales les plus intéressantes. Nombre de peuplements peuvent être naturellement marginaux, mais aussi avoir été installés en dehors de leur niche écologique lors des périodes intenses de politiques de boisement (on peut penser notamment aux travaux de la Restauration des terrains en montagne, RTM). Ces deux types de marginalité ne sont pas équivalents d'un point de vue écologique et évolutif.

Ce qu'il nous reste à réaliser, au fond, et toujours, c'est une véritable mise en application des connaissances scientifiques dans la gestion courante de nos espaces naturels et forestiers. Les changements climatiques nous rappellent avec force que cette symbiose qui existe souvent formellement (et les activités de Forêt Méditerranéenne en sont un bon exemple) est trop souvent contrainte par des impératifs économiques et politiques à court terme. La sauvegarde et l'utilisation future de nos forêts et de nos espaces naturels méditerranéens ne pourront pourtant pas se faire sans une gestion coordonnée à long terme, utilisant les mécanismes formidables de la sélection naturelle, ce que l'on peut appeler une gestion évolutive.

B.F., F.M.

Bruno FADY
INRA URFM
Domaine St-Paul
Site Agroparc
84914 Avignon
Tél. : 04 32 72 29 08
Mél :
fady@avignon.inra.fr

Frédéric MEDAIL
IMEP-Université
Paul Cézanne
Europôle
méditerranéen
de l'Arbois
Bâtiment Villemin
B.P. 80. 13545 Aix-en-
Provence cedex 04
Tél. : 04 42 90 84 06
Fax : 04 42 90 84 48
Mél : f.medail@
univ-cezanne.fr

Synthèse sur les études relatives à la mortalité du pin sylvestre dans le Valais Suisse

par Olivier CHANDIOUX

***En marge de nos journées
"changements climatiques
et forêt méditerranéenne", Olivier
Chandioux nous propose
une synthèse sur les nombreux
articles publiés par les équipes
suisses sur les déperissements
du pin sylvestre dans le Valais
Suisse. Il apporte ainsi
un complément intéressant
à notre réflexion.***

Depuis les années 1980, les mortalités observées dans les peuplements de pin sylvestre dans le Valais Suisse (Haute vallée du Rhône) ont fait l'objet de nombreuses études et publications (Cf. Fig. 1).

Une sélection de ces publications est ici analysée de manière à mettre en perspective l'analyse des causes de mortalité du pin sylvestre et à bénéficier des années de recherche menées sur un phénomène comparable à celui qui préoccupe les forestiers de l'arrière-pays méditerranéen.

Les déperissements de pin sylvestre dans le Valais

Le climat du Valais est caractéristique des Alpes internes (froid et sec). Les précipitations moyennes annuelles à Sion sont de 600 mm et les précipitations estivales sont égales à 150 mm (Cf. Fig. 2).

Les pinèdes couvrent dans cette région près de 12 000 ha réparties entre 450 et 1500 mètres d'altitude. Recouvrant des fonctions de production, de protection et de récréation, ces pinèdes sont pionnières et issues des pratiques passées de pâturage, de déboisements et de ratisage des litières à l'étage du chêne pubescent.

La mortalité du pin sylvestre dans le Valais est répartie sur un large territoire d'environ 5 000 hectares entre Martigny et Brig. Sur un site, les pins moribonds ou morts sont entourés de pins vivants et vigoureux. Il en résulte une répartition régulière de taches éparses de pins morts. En dessous de 1 200 mètres, la mortalité des pins est deux fois supérieure à la mortalité moyenne suisse pour cette essence.

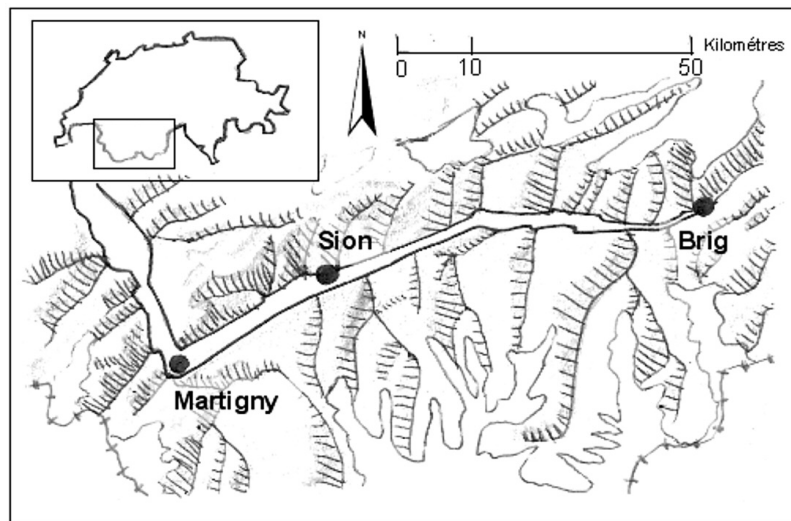


Fig. 1 :
Carte de situation
du Valais (Suisse)

Entre 1995 et 2000, des mortalités dépassant 50% des arbres ont été localement observées dans la vallée du Rhône.

Sur la parcelle de Visp, une forêt irrégulière de 2 hectares de pins mêlés de feuillus, à 750 mètres d'altitude dans la haute vallée du Rhône, 43% des pins sont morts (89 arbres/ha) entre 1996 et 2002, contre 13% des feuillus sur la même période.

Le déclin des pins sylvestres dans les forêts du Valais n'est pas un phénomène local. De forts taux de mortalité des pins sylvestres ont aussi été observés dans d'autres vallées sèches des Alpes internes, par exemple en Autriche (Inntal, Basse Autriche, Carinthie, Styrie) et en Italie (Vallée d'Aoste, Vintschgau).

Première vague de mortalité, hypothèse de l'effet de la pollution

Dès le début du XX^e siècle, puis au début des années 70, des dommages aux peuplements forestiers ont été observés dans le Valais. En 1976, ils concernaient près de 130 km². Des recherches menées sur les causes de ces dépérissements ont amené à s'inquiéter de l'impact des rejets des industries chimiques.

KIENAST (1985) écrit : « A la fin des années 70, les usines furent équipées de filtres et, depuis 1979, les concentrations de fluorides dans l'atmosphère locale ont considérablement décliné. Il est probable que les autres polluants, comme l'ozone et les oxydes d'azote, ont contribué substantiellement à la pollution de l'air de cette région. Depuis cette réduction, une récupération générale de la végétation est visible. »

L'effet des polluants sur le pin sylvestre est plus tard confirmé par BIGLER (2006) : il a été prouvé que les dommages aux pins sylvestres étaient plus forts à l'aval des sources de pollution et dans les zones d'inversion des masses d'air. Le pin sylvestre est considéré comme l'un des conifères les plus sensibles aux dépôts acides et aux polluants de l'air.

Cependant, dès 1985, la combinaison de facteurs de stress apparaît nécessaire pour expliquer les dommages causés aux peuplements de pin sylvestre. « Du fait de

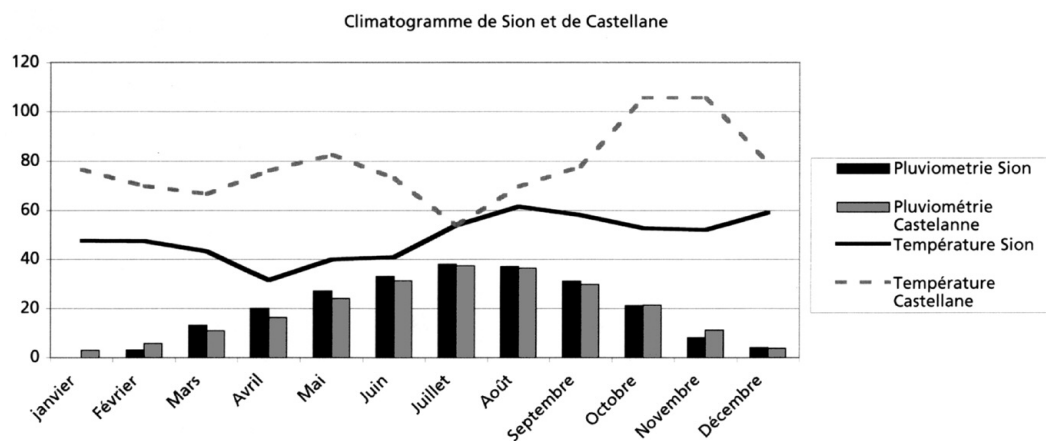


Fig. 2 :
Climatogramme
d'Emberger pour Sion
(Valais Suisse) et
Castellane (Alpes de
Haute Provence)

l'augmentation de la production d'aluminium depuis le début du XX^e siècle, les fluorures constituaient le principal composant des émissions. Les pins, en particulier, ne pouvaient pas résister à ce stress additionnel. Dans la période très sèche des années 1930 - 1940, ils ont donc souffert de dommages physiologiques qui dans 30 à 50% des cas ont conduit à la mort des arbres.»

Seconde vague de mortalité, hypothèses multiples

L'explication de la seconde vague de mortalité implique des analyses des causes plus complexes. Le climat et le stress hydrique y tiennent un rôle majeur, mais sont toujours reliés à d'autres facteurs.

Impact de la génétique sur la mortalité du pin sylvestre

Deux écotypes sont présents dans le Valais. L'un présente une écorce rougeâtre caractéristique, tandis que l'autre est plus grisâtre. Les différences génétiques entre ces arbres ont été explorées, mais sont très faibles.

Impact du climat sur la croissance du pin sylvestre

Analysant un site au sud-est de Visp, RIGLING et CHERUBINI ont analysé les accroissements annuels des cernes des pins sylvestres. Ils ont trouvé que les périodes sèches d'avril à juin et les températures d'avril à août sont les variables les plus significatives (toutes négativement corrélées) pour expliquer la croissance des arbres.

Alors que l'impact direct de la sécheresse sur la mortalité n'est pas mise en évidence, les périodes de fortes pertes foliaires coïncident tout de même avec des périodes de sécheresse prolongées.

D'autre part, DOBERTIN et BRANG ont montré que le taux de mortalité augmente avec le taux de perte foliaire.

Enfin, la diminution des précipitations ou l'augmentation des périodes de sécheresse n'est pas assez marquée sur les cent dernières années pour avoir un effet notable.

Impact du climat sur la mortalité du pin sylvestre

Dans tous les articles étudiés, des sécheresses antérieures à l'épisode de mortalité ont été reportées et sont considérées comme facteur déclenchant du dépérissement. Cependant, la plupart des auteurs ne considèrent pas la sécheresse comme le facteur principal du déclin. Ils considèrent généralement le pin sylvestre comme une espèce très résistante à la sécheresse. D'autre part, les autres essences, moins résistantes à la sécheresse ne sont généralement pas affectées.

Néanmoins, il est bien établi que la sécheresse augmente la sensibilité des pins aux pathogènes secondaires et que les printemps chauds et les températures estivales augmentent le taux de reproduction des scolytes et des nématodes du pin.

Les résultats de BIGLER *et al* (2006) démontrent trois faits importants : une année isolée de sécheresse sévère a un effet réversible sur la croissance des arbres à court terme ; une simple sécheresse ne joue pas un rôle de facteur déclencheur de la mortalité ; plusieurs années de sécheresse consécutives réduisent la croissance pour plusieurs années, ce qui accroît le risque de mortalité des arbres.

MARTINEZ-VILALTA ET PINOL (2002) ont comparé trois espèces de pins au nord-est de l'Espagne en terme de réactions physiologiques à la sécheresse. Seuls les peuplements de pins sylvestres étaient victimes d'une mortalité liée à la sécheresse et la conductivité hydraulique était plus faible pour les populations les plus touchées.

Photo 1 :
Mortalité du Pin sylvestre en augmentation, placettes LWF à Viège
Photo A. Rigling, WSL, Birmensdorf CH



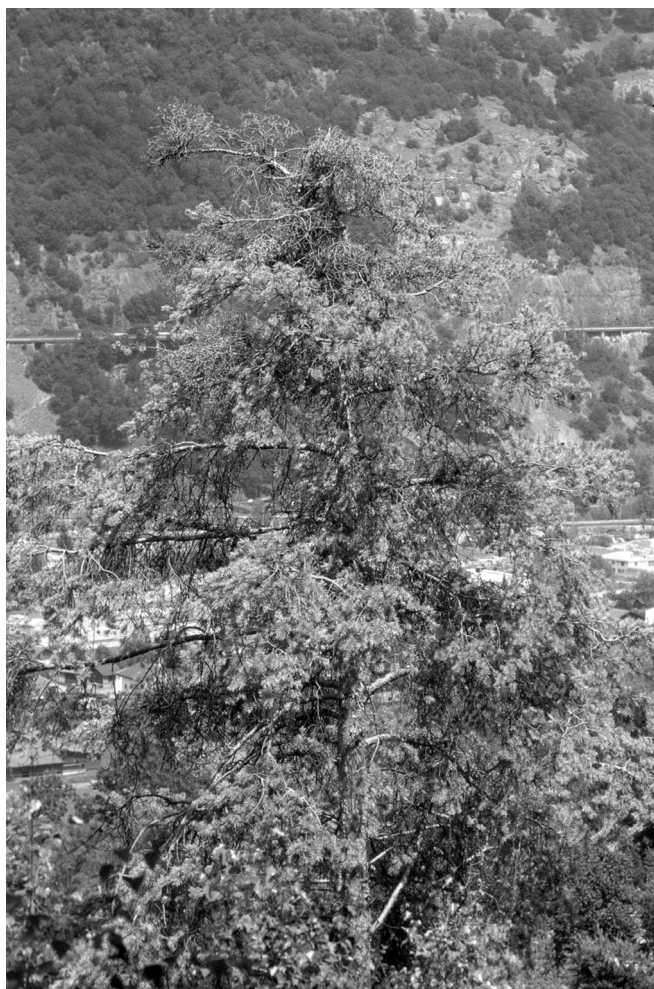


Photo 2 (ci-contre) :
Sapin gûité
dans le Haut-Var
Photo DA

Impact du climat sur les parasites du pin

Photo 3 (ci-dessous) :
Pin mort infesté
par le gui, près de Brigue
Photo A. Rigling, WSL,
Birmensdorf CH

En dehors d'une contribution à l'effet de la sécheresse, l'augmentation des températures estivales, notamment aux seuils relevés



(c'est-à-dire une moyenne journalière supérieure à 20° ou des températures maximum supérieures à 25°) est considérée comme influençant la prolifération des nématodes. Ces derniers, particulièrement en association avec la sécheresse peuvent être une cause de la mortalité des peuplements de pins sylvestres. La présence de différents nématodes de l'aubier, dont le caractère pathogène est prouvé, a été mise en évidence.

Des températures printanières et estivales supérieures semblent aussi favoriser les scolytes (*Tomicus piniperda* et *Tomicus minor*) qui sont aussi favorisées par l'augmentation des minimales hivernales qui limitent habituellement les populations.

Pour REBETZ et DOBBERTIN (2004), il est évident que le stress hydrique encourage l'explosion des populations de pathogènes et de prédateurs secondaires.

Impact du gui sur la mortalité du pin sylvestre

L'étude de DOBBERTIN *et al.* montre que l'infection des pins par le gui dans la vallée du Rhône Suisse est forte. Dans certains peuplements, plus de 80% des arbres sont infectés. Des recherches sur des placettes de suivi à long terme ont montré une augmentation du taux de mortalité (près de 10%) et une perte foliaire plus importante pour les arbres infectés suite à la sécheresse de 1998.

Pendant une sécheresse, lorsque l'arbre réduit sa transpiration par fermeture des stomates, le gui (*Viscum album*) continue de transpirer et cela augmente le stress hydrique.

Cette même étude met en lumière une remontée de 200 mètres de la limite supérieure de l'aire de répartition du gui dans le Valais, sous la seule influence des changements climatiques (augmentation des températures minimales de janvier et de juillet, qui sont les facteurs limitants du gui).

Les processus successionnels

La compétition par les espèces secondaires installées dans les peuplements pionniers de pin sylvestre, bien que ne faisant pas l'objet des articles analysés, est souvent citée.

Pour DOBBERTIN, en plus des polluants, de la sécheresse, des phytopathogènes et des

| PRECURSEURS | DECLENCHEURS | FINAUX |
|--|--|---|
| Compétition (dans un contexte de remontée biologique, conquête des feuillus) Limites stationnelles et sécheresse Vieillissement des arbres Infestation par le gui Pollution chronique (Ozone) | Périodes de sécheresse forte et autres conditions climatiques (températures, neiges lourdes) Champignons et insectes pathogènes | Champignons ou insectes pathogènes Infestation par le gui |

Fig. 3 :
Application de la théorie
de la maladie du déclin
aux pins sylvestres de
l'arrière-pays provençal

insectes, l'âge des peuplements et l'arrivée des espèces secondaires peuvent augmenter le stress de cette espèce de lumière.

Pour BIGGLER, la densification des peuplements due au processus successional de conquête par des espèces secondaires peut avoir imposé un stress supplémentaire à cette espèce de lumière qu'est le pin sylvestre. La compétition joue le rôle d'un facteur de prédisposition à long terme.

L'intolérance à l'ombre du pin sylvestre, arbre pionnier, rend cette espèce plus vulnérable à la compétition de certains des autres arbres présents dans le Valais comme le sapin, l'épicéa ou le chêne blanc. Il suppose alors que la compétition, qui agit sur le long-terme, prédispose les pins sylvestres à mourir.

Enfin, les différences de stratégie lors des épisodes de sécheresse sont défavorables au pin sylvestre. Il en résulte une croissance plus forte du chêne pubescent que du pin lors des années de sécheresse.

La théorie de la maladie du déclin

Dans leur article, BIGGLER *et al.* exposent cette théorie développée par MANION (1981) de la manière suivante :

« Ce n'est pas un simple facteur environnemental, mais plutôt une combinaison de multiples facteurs de stress qui cause le déclin des pins sylvestres. La théorie de la maladie

du déclin, un modèle conceptuel pour les phénomènes complexes de mortalité induite par le stress, propose un cadre pour comprendre la mortalité d'arbres ou la diminution de leur vigueur dans une succession de facteurs environnementaux. Un processus en trois étapes de prédisposition, déclenchement et final.

Les facteurs précurseurs comme la compétition ou les polluants affectent un arbre pendant des années. Ces facteurs à long terme s'expriment souvent par une croissance réduite et ils augmentent aussi la sensibilité des arbres aux stress ponctuels, comme la sécheresse ou une défoliation due aux insectes.

De tels facteurs déclencheurs affectent le fonctionnement physiologique d'un arbre et réduisent considérablement sa vigueur et ses défenses potentielles contre un pathogène. Il en résulte une forte baisse de la croissance de l'arbre. Finalement, le décès d'un arbre dépend souvent de la présence ou de l'absence de facteurs de stress aggravants qui agissent à court ou long terme. Par exemple, des insectes ou phytopathogènes secondaires, le gui ou des événements climatiques supplémentaires, qui peuvent finalement tuer les arbres stressés. »

Application de la théorie de la maladie du déclin aux pins sylvestres de l'arrière-pays provençal

Cf. Fig. 3.

Olivier CHANDIOUX
Technicien forestier
SARL Alcina Forêts
4 rue du Canal
05000 Gap
Mél : olivier.chandiox@alcina.fr

Conclusions

Dans une notice technique à destination des gestionnaires, l'équipe du WSL (Institut fédéral de recherche) qui a mené l'essentiel des recherches citées plus haut, donne des pistes de gestion des pinèdes à pin sylvestre du Valais. Aux altitudes inférieures à 1 200 mètres, les modes de gestion préconisés conduisent à une substitution du pin sylvestre par d'autres essences, notamment les essences en place en sous-étage.

La pratique de coupes sanitaires et de coupes de régénération visant à favoriser l'irrégularisation des peuplements et le mélange des espèces est considéré comme urgent. La plantation ou des méthodes de régénération (scarification) sont à réaliser sur les peuplements où les essences de substitution sont absentes.

Ces préconisations semblent être de bonnes pistes pour l'action dans les pinèdes de l'arrière-pays provençal. La régénération et la substitution par les essences feuillues du sous-étage permettent d'agir sur les seuls éléments que le forestier puisse maîtriser : la compétition, l'adaptation à la station et le vieillissement du peuplement. L'urgence consiste donc à pratiquer cette gestion dans les massifs les plus soumis aux autres facteurs de mortalité (gui, polluants, sécheresse).

O.C.

Résumé

Les dépérissements dans les vastes étendues de pin sylvestre provençales inquiètent les forestiers depuis 2003. Ces dépérissements sont manifestement un signe des changements climatiques en cours et probablement annonciateurs de crises à venir dans le paysage forestier méditerranéen. Cependant, pour les Suisses valaisans, le phénomène n'est pas nouveau puisque des cycles de dépérissement du pin sylvestre sont déjà intervenus plusieurs fois depuis 60 ans. Le phénomène est donc largement analysé dans cette vallée très sèche des Alpes internes et les forestiers ont d'ores et déjà tirés les conclusions nécessaires pour la gestion de leurs massifs de pin sylvestre.

Summary

Synthesis of studies concerning the mortality of Scotch pine in Switzerland's Valais region

The dying-off of vast tracts of Scotch pine in French Provence has been worrying foresters since 2003. Such decline is clearly an indication of current climate change and is a forewarning of future crisis in Mediterranean forest landscapes. Yet in Switzerland's Valais region the phenomenon is not new, insofar as cycles of decline in Scotch pine have been observed over the last 60 years. The phenomenon has thus been well analysed in this very dry valley in the heart of the Alps and by now foresters have drawn the requisite conclusions enabling them to continue the management of their Scotch pine stands.

Références

- Anonyme ; La mutation des pinèdes valaisannes, La gestion forestière du passé ; *La forêt* 1/2007
- Bigler C. *et al.*; Drought as an Inciting Mortality Factor in Scots Pine Stands of the Valais, Switzerland ; *Ecosystems* 9 ; 2006
- Dobbertin M., Brang P. ; Crown defoliation improves tree mortality models ; *Forest Ecology and Management* 141; 2001
- Dobbertin M. *et al.* ; The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) in Switzerland : the result of climate warming ? *International Journal of Biometeorology* n°50; 2005
- Kienast F.; Tree ring analysis, forest damage and air pollution in the Swiss Rhone Valley ; *Land Use Policy* ; January 1985
- Rebetz M. , Dobbertin M. ; Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps ; *Theor. Appl. Climatol.* 79, 1–9; 2004
- Rigling A. *et al.*; Intra annual tree-ring parameters indicating differences in drought stress of *Pinus sylvestris* forests within the Erico-Pinion in the Valais ; *Plant Ecology* 163; 2002
- Rigling A, Braker O.U., Schneiter G, Schweingruber F.H. ; Intra-annual tree-ring parameters indicating differences in drought stress of Scots pine forests within the Erico-Pinion in the Valais, Switzerland ; *Plant Ecology* 163 (1) ; 2002
- Rigling A. *et al.* ; Les chênes pubescents chassent-ils les pins sylvestres valaisans ? Notice pour le praticien n°41, Institut fédéral de recherche WSL Bimensdorf 2006

Changements climatiques et forêt méditerranéenne

Synthèse et conclusion des journées

A Marseille, les 8 et 9 novembre, dans l'hémicycle du Conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, mais aussi lors des deux journées sur le terrain dans les départements du Var et de l'Hérault, près de 400 personnes (scientifiques, experts, acteurs de terrain, gestionnaires, propriétaires, élus, chasseurs, randonneurs...) se sont réunis autour de l'association Forêt Méditerranéenne pour débattre du devenir de la forêt méditerranéenne dans le cadre du changement climatique.

L'objectif de ces journées était d'alerter l'opinion sur le fait que le changement est déjà à l'œuvre — nous avons pu le constater lors des deux journées de terrain — et qu'il convient de l'observer et d'anticiper ses effets, de façon à pouvoir aider les écosystèmes à s'adapter. Il faut, bien entendu, se mobiliser pour limiter l'ampleur des impacts des activités humaines sur la planète, mais il faut aussi agir chaque fois que cela est possible, pour accompagner un changement de notre environnement devenu inéluctable, dans un sens qui sera acceptable pour tous.

Plus aucune place au doute : le changement climatique, dont le réchauffement planétaire est une des facettes, est aujourd'hui une réalité. Nous pouvons faire l'hypothèse, avec l'appui des données scientifiques, que nous sommes entrés dans une nouvelle époque où les aléas climatiques ne seront plus l'exception, mais la règle.

La température mondiale va augmenter (de 1,8 à 4 °C au cours du siècle). Les neiges et glaces vont fondre sur les sommets montagneux. Le niveau moyen des océans va monter.

L'ensemble du monde scientifique s'accorde à dire que la région méditerranéenne sera particulièrement touchée par ces bouleversements. C'est en effet une région déjà soumise à de fortes contraintes climatiques l'été, où manque d'eau et fortes températures vont de pair. Or, les modèles nous prédisent que c'est justement dans cette région que le réchauffement sera maximum l'été, avec un rallongement très significatif de la durée de la période de sécheresse.

Quelles en seront les conséquences sur les écosystèmes de cette région ?

La réponse des organismes aux changements globaux est très complexe. Le potentiel de réponse adaptative des populations est certes fort, mais sera-t-il compatible avec la vitesse des changements



Photo 1 :
Les pins sylvestres du Lachens dans le Haut-Var, ont subi de fortes mortalités depuis la sécheresse de 2003.
Photo D.A.

observés ? C'est la question majeure que l'on doit se poser.

Dans notre région méditerranéenne, les dégâts sur les espaces naturels et forestiers sont déjà une réalité. Plusieurs années de sécheresse consécutives ont affaibli les arbres, les rendant plus sensibles aux maladies et aux pathogènes. Elles ont conduit à des mortalités foudroyantes sur certains peuplements, et à des dépérissements plus insidieux sur beaucoup d'autres. Ainsi, sont non seulement touchés des peuplements en limite d'aire, comme les sapins des Alpes-Maritimes ou de l'Aude, les pins sylvestres du Haut-Var, mais aussi des peuplements a priori installés sur des stations où ils sont bien adaptés : ainsi pins d'Alep et chênes souffrent aussi dans les arrières-pays et sur le littoral. Le chêne-liège est en difficulté au Portugal, mais aussi sur l'ensemble des pays du pourtour méditerranéen. En Espagne, les zones arides gagnent du terrain. De l'autre côté de la Méditerranée, durement touché par le réchauffement, les cèdres dépérissent au Maroc et en Algérie.

Les conséquences de ces évolutions seront certes écologiques, avec une modification des aires de répartition des espèces et donc des paysages, une érosion plus forte des sols... ; mais elles seront aussi économiques et sociales, avec une augmentation des risques d'incendie, une diminution des exploitations de bois, une perte des « aménités » (loisirs,

tourisme, chasse...) et aussi des populations locales de plus en plus durement touchées par le manque d'eau. Ceci est vrai aujourd'hui dans les Pays du sud de la Méditerranée et le sera, sans doute demain, au nord du bassin...

Que pouvons-nous faire ? Sachant que les changements de cap nécessaires dépassent très largement les régions et pays méditerranéens, il nous revient à nous, aujourd'hui, avant tout, d'observer et d'anticiper, de façon à ne pas subir le changement, mais à s'y adapter, le limiter, l'observer, bref « faire avec », du mieux possible, puisque de toute façon, même en étant convaincus qu'il faut tout faire pour stopper son évolution, il est aujourd'hui en marche.

Déjà des réflexions sont conduites pour dégager des axes d'adaptation de la gestion forestière aux effets du changement climatique : choisir les essences et les provenances les plus adaptées, dynamiser les sylvicultures, gérer les crises, faire face aux dépérissements, récolter les peuplements suranés...

Une réflexion sur la nécessaire évolution de nos dispositifs de conservation de la biodiversité est aussi à entreprendre. Enfin, le transfert des connaissances et la communication doivent inciter et permettre à chaque acteur de se saisir, de façon pertinente, du problème à son niveau d'action.

Ne proposer que des actions palliatives ou d'accompagnement ne suffit pas. Il existe d'autres voies d'action, évoquées au cours du colloque : la fixation de carbone, l'utilisation de nouvelles sources d'énergie renouvelables... Une véritable remise en question, bien plus globale, des modes de consommation de nos sociétés est également nécessaire, qui doit nous conduire à réfléchir aussi sur la façon dont nous avons, en seulement un siècle et demi, dilapidé une bonne partie des ressources non-renouvelables de la planète et nous obliger à changer nos modes de vie.

F.M.

« On a longtemps expliqué les sociétés par les circonstances climatiques ; désormais ce sont vraisemblablement les sociétés humaines qui expliquent le climat... » (Pascal Acot, Marseille, 8 novembre 2007)

Liste des participants *

- Hikmat ABBAS Département de foresterie et d'écologie, Faculté d'Agronomie, Université de Tichrine, Lattaquié SYRIE mahfoud_ilene@yahoo.fr. ou abbas-hk@scs-net.org
- André ABBE *L'Agriculateur provençal* St-Barthelemy 83520 ROQUEBRUNE-SUR-ARGENS
- Annie ABOUCAYA Conservatoire Botanique de Porquerolles Castel Sainte Claire Rue Ste Claire 83418 HYERES cedex annie.aboucaya@espaces-naturels.fr
- Bernard ABRIAL Cemagref 3275 route de Cézanne CS 40061 13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5 bernard.abrial@cemagref.fr
- Pascal ACOT Institut d'histoire et de philosophie des sciences et des techniques 13 rue du Four 75006 PARIS acot@univ-paris1.fr
- Bertrand ADER Union Régionale Vie et Nature Chemin du Val d'Aubert 83680 LA GARDE FREINET
- Denise AFXANTIDIS Forêt Méditerranéenne 14 Rue Louis Astouin 13002 MARSEILLE denise.afxantidis@foret-mediterranee.org
- Georges AILLAUD UDVN (13) 66 rue d'Aubagne 13001 MARSEILLE udvn13@wanadoo.fr
- Vincent ALLIER Communauté d'Agglomération Nîmes Métropole Service environnement 3 rue du Colisée 30947 NÎMES Cedex 9 vincent.allier@nimes-metropole.fr
- Swanni ALVARADO Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Louis AMANDIER Centre régional de la propriété forestière de Provence Alpes Côte d'Azur 7 Impasse R. Digne 13004 MARSEILLE louis.amandier@crpf.fr
- Annabelle AMM Institut National de la Recherche Agronomique Site Agroparc Domaine St Paul 84914 AVIGNON Cedex 9 annabelle.amm@avignon.inra.fr
- Marguerite ARAGON Syndicat des Propriétaires Forestiers et Sylviculteurs des Alpes-Maritimes Forêt Privée 06230 MAGAGNOSC foret.privee06@wanadoo.fr
- Sandra ARNAUD Syndicat des Propriétaires Forestiers Sylviculteurs du Var Maison de la forêt ZI les Lauves 83340 LE LUC spfsvar@aol.com
- Eric ARNOU Conseil régional Rhône Alpes BP 19 78 Rte de Paris 69751 CHARBONNIERES LES BAINS
- Auréa ARNOUX Mairie Hôtel de Ville 04800 ESPARRON DE VERDON mairie.esparron-de-verdon@wanadoo.fr
- Anne-Claire ARREGHINI 13320 BOUC BEL AIR ac.arreghini@hotmail.fr
- Guy AUBERT 84400 APT
- Nicette AUBERT Conseil régional Provence Alpes Côte d'Azur 27 Place Jules Guesde 13481 MARSEILLE Cedex 20 naubert@regionpaca.fr
- Catherine AUBRY *Var Matin* 41 bd Libération 83700 SAINT RAPHAEL
- Claude AUDIBERT ASL de gestion forestière de la suberaie varoise Le Grand Sud - PA Rue Blaise Pascal BP 82 83312 COGOLIN Cedex asl.suberaie-wanadoo.fr
- Vincent BADEAU Institut National de la Recherche Agronomique UMR INRA UHP Ecologie et écophysologie forestière 54280 CHAMPENOIX badeau@nancy.inra.fr
- Christophe BARBE Centre régional de la propriété forestière de Rhône Alpes Chambre d'agriculture 95 Av G. Brassens 26500 BOURG LES VALENCE christophe.barbe@crpf.fr
- Richard BARETY Conservatoire du Littoral et des rivages lacustres Bastide Beaumanoir 3 rue Marcel Arnaud 13100
- AIX EN PROVENCE r.barety@conservatoire-du-littoral.fr
- Michel BARITEAU Institut National de la Recherche Agronomique Site Agroparc Domaine St Paul 84914 AVIGNON Cedex 9 bariteau@avignon.inra.fr
- Francis BARSSE Office National des Forêts Direction Territoriale 505 rue de la Croix Verte BP 74208 34094 MONTEPELLIER Cedex 5 francis.barsse@onf.fr
- Philippe BARTOLOMEO Mairie de Toulon Direction environnement cadre de vie Av de la République 83000 TOULON pbartolomeo@mairie.toulon.fr
- Jonathan BAUDUEL Faculté de Saint Jérôme Avenue Escadrille Normandie Niemen 13397 MARSEILLE Cedex 20
- Teddy BAUMBERGER Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Claude BAURY Chambre Départementale d'Agriculture des Bouches du Rhône 22 Av Pontier 13626 AIX EN PROVENCE Cedex 01 c.baur@bouches-du-rhone.chambagri.fr
- Martine BAUX Mairie Hôtel de Ville Rue Grande 83520 ROQUEBRUNE SUR ARGENS mbaux@mairie-roquebrune-argens.fr
- Patrick BAYLE Ville de Marseille Direction des parcs et jardins 48 av. Clot Bey 13008 MARSEILLE
- Hellmut BEIER 83610 COLLOBRIERES
- Jean-Paul BELLOC Mairie Route de Montpellier 34150 PUECHABON
- Jean BELVISI Mémoire à lire territoire à l'écoute LEGTA 32 chemin St Lazare 83400 HYERES maltae@wanadoo.fr
- Luc BENEZECH Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Frédéric BENIAMINO Conseil général du Var Bât Omega 77 Impasse Lavoisier 83160 LA VALETTE fbeniamino@cg83.fr
- Jean-Luc BENNAHMIAIS Conseil régional Provence Alpes Côte d'Azur 27 Place Jules Guesde 13481 MARSEILLE Cedex 20
- Guy BENOIT de COGNAC Forêt Méditerranéenne 14 Rue Louis Astouin 13002 MARSEILLE contact@foret-mediterranee.org
- Samuel BENOIT de COGNAC 13770 VENELLES
- Abdallah BENTOUATI Université de Batna Institut d'Agronomie Route de Tazoult 05000 BATNA ALGERIE bentouati2@caramail.com
- Monique BERCET ASSENMENCE Relais Nature St Joseph 64 bd Simon Bolivar 13014 MARSEILLE assenemce@free.fr
- Elsa BERNARD Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Gilbert BERNARDI Communauté d'Agglomération Pays d'Aubagne et de l'Etoile 932 av de la Fleuride ZI les Paluds 13785 AUBAGNE cedex gilbert.bernardini@agglou-paydaubagne.fr
- François BESSE CIRAD FORÊT TA10/C Bât C 34398 MONTEPELLIER Cedex 5 francois.besse@cirad.fr
- Jacques BEVANCON Mairie Hôtel de Ville 83860 NANS LES PINS
- Isabelle BILGER Cemagref Direction de l'amélioration génétique Domaine des Barres 45290 NOGENT SUR VERNISSON isabelle.bilger@cemagref.fr

* Cette liste comprend les participants des deux journées de visites, dans le Var et l'Hérault, et du colloque de Marseille.

- Françoise BINET ASL de gestion forestière de la suberaie varoise
Le Grand Sud - PA Rue Blaise Pascal BP 82 83312 COGOLIN
Cedex asl.suberaie-varoise@wanadoo.fr
- Yves BIROT EFIMED Passeig Lluís Companys 23 08010 BARCELONE
yves.biro@wanadoo.fr
- Perrine BLANC Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Rémi BLEYNAT Conseil général du Var Bât Omega 77 Impasse Lavoisier 83160 LA VALETTE
rbleynat@cg83.fr
- Jacques BLONDEL Centre National de la Recherche Scientifique CEFE CEFE L Emberger BP 5051 34033 MONTPELLIER Cedex
jacques.blondel@cefe.cnrs.fr
- Gilles BONIN Université de Provence Faculté St Jérôme Case 421 Bis 13397 MARSEILLE Cedex 20
gilles.bonin@univ.u-3mrs.fr
- Rémy BONNASSE Syndicat Intercommunal de la Gisle Le Grand Sud - PA BP 82 83312 COGOLIN Cedex
syndicat.gis@free.fr
- Christian BONNET 13009 MARSEILLE
tian.bonnet@free.fr
- Jean BONNIER Forêt Méditerranéenne 14 Rue Louis Astouin 13002 MARSEILLE
contact@foret-mediterraneenne.org
- Aurore BONTEMPS Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Adeline BONTOUX Conseil régional Provence Alpes Côte d'Azur 27 Place Jules Guesde 13481 MARSEILLE Cedex 20
contact@regionpaca.fr
- Sophie BOURLON Parc Naturel Régional du Luberon BP 122 60 Pl J Jaurès 84404 APT Cedex
sophie.bourlon@parcduluberon.fr
- Bernard BOUTTE Ministère de l'Agriculture et de la Pêche DSF BP 95 84143 MONTFAVET Cedex
bernard.boutte@agriculture.gouv.fr
- Hervé BOYAC Centre régional de la propriété forestière du Var
Maison de la forêt ZI les Lauves 83340 LE LUC
herve.boyac@crpf.fr
- Stéphanie BRACHET AgroParis Tech ENGREF Arboretum national des Barres Domaine des Barres 45290 NOGENT SUR VERNISSON
brachet@engref.fr
- Philippe BREGLIANO Mairie de Correns Place Général de Gaulle 83570 CORRENS
phbregli@club-internet.fr
- Robert BRES AVSANE 238 avenue Amiral Vence 83200 TOULON
- Bernard CABANNES Centre régional de la propriété forestière du Var Maison de la forêt ZI les Lauves 83340 LE LUC
bernard.cabannes@crpf.fr
- Jean-Pierre CAMP Région Verte 18 rue JM de Heredia 75007 PARIS
jpcamp@easyconnect.fr
- Bernard CAMPARDON 83700 BOULOURIS
banout@laposte.net
- Jean-Noël CANDAU Service canadien des forêts Ressources naturelles Canada rue Queen est, Sault Ste Marie (Ontario) P6A 2E5 Gouvernement du Canada
Jean-Noel.Candau@nrncan.gc.ca
- Jean CARLES 05000 GAP
jean.carles@wanadoo.fr
- Mélanie CARRARA Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Françoise CARRER Direction Départementale Agriculture et Forêt Cité administrative Place N. Blache BP 122 83071 TOULON Cedex
francoise.carrer@agriculture.gouv.fr
- Antoinette CASILE Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt BP 309 8 Crs Napoléon 20176 AJACCIO Cedex
antoinette.casile@agriculture.gouv.fr
- Laure CASTELLI Observatoire de la Forêt Méditerranéenne Pavillon de chasse du Roy René Domaine de Valabre 13120 GARDANNE
laure.castelli@ofme.org
- Diane CATENOZ Faculté de Saint Jérôme Avenue Escadrille Normandie Niemen 13397 MARSEILLE Cedex 20
- Philippe CAZAL Paysan du Midi BP 249 34434 SAINT JEAN
- DE VEDAS Cedex philippe.cazal@paysandumidi.fr
- Orso CERATI Centre régional de la propriété forestière de Corse Zone de Baleone 5bis Lieu dit Panchetta 20167 SARROLA-CARCOPINO
orso.cerati@crpf.fr
- André CHALLOT 13480 CABRIES
- Frédérique CHAMBONNET Centre régional de la propriété forestière de Rhône-Alpes Bureau de l'Ardèche 10 Place Olivier de Serre 07200 AUBENAS
frederique.chambonnet@crpf.fr
- Olivier CHANDIOUX SARL Alcina 2 Place Pierre Viala 34060 MONTPELLIER Cedex
olivier.chandieux@alcina.fr
- Jean-David CHAPELIN VISCARDI Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Charlotte CHARMETANT Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Jean-Paul CHASSANY Institut National de la Recherche Agronomique 2 Place Viala 34060 MONTPELLIER Cedex
2 chassany@supagro.inra.fr
- Florence CHATZIGIANIS Azur Alive 31 rue du Touring Club 83700 SAINT RAPHAEL
- Robert CHEVROU 34430 SAINT JEAN DE VEDAS
bernard.chevrou@wanadoo.fr
- Pierre CHOILLOT Association des Amis des arbres et du reboisement 11 av Thiers 06110 LE CANNET
- Alain CHRISTOPHLE Alain Christophe Expertise et gestion forestières Les Prades 12340 SAINT JULIEN DE RODELLE
alain.christophle@wanadoo.fr
- Isabelle CHUINE Centre National de la Recherche Scientifique CEFE CEFE L Emberger BP 5051 34033 MONTPELLIER Cedex
isabelle.chuine@cefe.cnrs.fr
- Lise CLAMENS Conservatoire du Littoral et des rivages lacustres Bastide Beaumanoir 3 rue Marcel Arnaud 13100 AIX EN PROVENCE
l.clamens@conservatoire-du-littoral.fr
- Florence CLAP NATUR AE 17 Lot Bellevue 30114 NAGES
natur-ae.clap@orange.fr
- Patrick CLAUDE 66600 SALSES LE CHÂTEAU
- Sébastien CLAUDIN ASL de gestion forestière de la suberaie varoise Le Grand Sud - PA Rue Blaise Pascal BP 82 83312 COGOLIN Cedex asl.suberaie-varoise@wanadoo.fr
- Nicolas CLOUET Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Luc COLLANGE Conseil général du Var 390 avenue des Lices BP 1303 83076 TOULON Cedex
lcollange@cg83.fr
- Eric COLLIN Cemagref Direction de l'amélioration génétique Domaine des Barres 45290 NOGENT SUR VERNISSON
eric.collin@cemagref.fr
- Roland COMMERCON Lycée agricole Gîte du Jabron Le Ripert 04290 SALIGNAC
roland.commercon@educagri.fr
- Cyrille CONORD Institut National de la Recherche Agronomique Site Agroparc Domaine St Paul 84914 AVIGNON Cedex 9
cyrille.conord@avignon.inra.fr
- Marc CONRUYT Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Ariel CONTE 83910 POURRIERES
ariel.conte@tiscali.fr
- Jean-Marc CORTI Centre régional de la propriété forestière de Provence Alpes Côte d'Azur 7 Impasse R. Digne 13004 MARSEILLE
jean-marc.corti@crpf.fr
- Charlotte COURTIN-ORDNER Association Internationale Forêts Méditerranéennes 14 rue Louis Astouin 13002 MARSEILLE
info@aifm.org
- Wolfgang CRAMER PIK POTJDAM PO Box 60 12 03 D 14412 POTSDAM
wolfgang.cramer@pik-potsdam.de
- Francis CROS 34330 LA SALVETAT SUR AGOUT
francis.cros@hautlanguedoc.fr
- Thomas CURT Cemagref BP 50085 63172 AUBIERE Cedex 1
- Joseph D'ARRIGO Le Dauphiné 16 Bd François Robert 13009 MARSEILLE
darrigojoseph@hotmail.com

- Christiane D'IZARNY GARGAS
Groupement Forestier
Sylvabelle Magdeleine 04150
REVEST DES BROUSSES
- Andrée DAGORNE 06000 NICE
- Laurence DALSTEIN RICHIER
Groupe International d'Etudes
des Forêts Sud Européennes
69 av des Hespérides 06300
NICE ldalstein@aol.com
- Michel DARD 83260 LA CRAU
mdard83@orange.fr
- Guillaume DAVID Ecole
Nationale du Génie Rural des
Eaux et Forêts 14 Rue Girardet
CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Jacques-Louis de BEAULIEU
13013 MARSEILLE jacques-
louis.debeaulieu@wanadoo.fr
- Jean de MONTGOLFIER Ecole
Nationale du Génie de l'Eau et
de l'Environnement de
Strasbourg 67000
STRASBOURG jm@engees.u-
strasbg.fr
- Jacques DEGENEVE Centre
régional de la propriété
forestière de Rhône-Alpes
Bureau de l'Ardèche 10 Place
Olivier de Serre 07200
AUBENAS
jacques.degeneve@crpf.fr
- Marc DELAHAYE-PANCHOUT
Office National des Forêts
Actiplus - ZI Saint Joseph
04100 MANOSQUE
marc.delahaye-panchout@onf.fr
- Noémie DELAPORTE Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
Paléo-écologie Université Aix-
Marseille III Europôle méd. de
l'Arbois BP 80 13545 AIX EN
PROVENCE Cedex 04
- Pierre DELENNE Centre régional
de la propriété forestière de
Provence Alpes Côte d'Azur 7
Impasse R. Digne 13004
MARSEILLE
pierre.delenne@wanadoo.fr
- Philippe DEMARQ Office
National des Forêts Direction
territoriale Méditerranée CS
80411 13097 AIX EN
PROVENCE Cedex 02
philippe.demarq@onf.fr
- Jonathan DEMARI Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
Paléo-écologie Université Aix-
Marseille III Europôle méd. de
l'Arbois BP 80 13545 AIX EN
PROVENCE Cedex 04
- Nicole DENELLE Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
Paléo-écologie Fac des Sciences
et Techniques de St-Jérôme
Case 461 13397 MARSEILLE
Cedex 20 nicole.denelle@univ-
cezanne.fr
- Frédéric DENTAND Office
National des Forêts Agence
départementale Alpes
Maritimes BP 3260 06205
NICE Cedex 03
frederic.dentand@onf.fr
- Pierre DERIOZ Faculté de lettres
74 rue Louis Pasteur Case 17
84029 AVIGNON Cedex 1
pierre.derioz@univ-avignon.fr
- Isabelle DESMARTIN
FORESTOUR Pavillon du Roy
René Valabre 13120
GARDANNE
contact@forestour-paca.org
- Michel DEUFF TPBM 13500
MARTIGUES
deuffm@wanadoo.fr
- Patrice DEVALLOIS Centre
régional de la propriété
forestière de Provence Alpes
Côte d'Azur 7 Impasse R. Digne
13004 MARSEILLE
patrice.devallois@crpf.fr
- Robert DEVAUCHELLE
Inventaire Forestier National
Place des Arcades BP 1001
34972 LATTES Cedex
robert.devauchelle@ifn.fr
- Sébastien DIETTE SARL Alcina 2
Place Pierre Viala 34060
MONTPELLIER Cedex
sebastien.diette@alcina.fr
- Lydie DOISY Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
Paléo-écologie Université Aix-
Marseille III Europôle méd. de
l'Arbois BP 80 13545 AIX EN
PROVENCE Cedex 04
- Jean-Marc DONNAT TPM
Environnement 20 rue Nicolas
Peiresc 83000 TOULON
- Rémy DROUIN Mairie de
Cavalaire Hôtel de Ville Place
Benjamin Gaillard 83240
CAVALAIRE SUR MER
remyrouin@wanadoo.fr
- Anthony DUBOIS Centre
d'Etudes Techniques de
l'Equipement Méditerranéen
DHACE ENV. BP 37000 13791
AIX-EN-PROVENCE Cedex
anthony.dubois@equipement.g
uv.fr
- Luc DUBOIS Conseil régional
Provence Alpes Côte d'Azur 27
Place Jules Guesde 13481
MARSEILLE Cedex 20
ldubois@regionpaca.fr
- Florent DUBOSCLARD Ecole
Nationale du Génie Rural des
Eaux et Forêts 14 Rue Girardet
CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Louis-Michel DUHEN Centre
régional de la propriété
forestière de Provence Alpes
Côte d'Azur 7 Impasse R. Digne
13004 MARSEILLE louis-
michel.duhen@crpf.fr
- Jean-Luc DUPUY Institut
National de la Recherche
Agronomique URFM Site
Agroparc St Paul 84914
AVIGNON cedex 9
dupuy@avignon.inra.fr
- Amel ENNAJAH CEFE IMEP
- Jimmy EQUENOT Ecole
Nationale du Génie Rural des
Eaux et Forêts 14 Rue Girardet
CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Maurice ESMIOL 13090 AIX EN
PROVENCE
esmiol.furet@free.fr
- Bruno FADY Institut National de
la Recherche Agronomique Site
Agroparc Domaine St Paul
84914 AVIGNON Cedex 9
fady@avignon.inra.fr
- Gérard FALCONNET Ecole
Nationale du Génie Rural des
Eaux et Forêts 14 Rue Girardet
CS 14216 54042 NANCY Cedex
falconnet@engref.fr
- Jean FALCOZ
- Hubert FALQUE 84330
CAROMB
- Pierre FAURY Centre régional de
la propriété forestière des Alpes
Maritimes DDAF Centre
Administratif Cadam - BP 3038
06021 NICE Cedex
faury.pierre@free.fr
- Martine FAYAUBOST 83690
VILLECROZE
- Nicolas FENART Office National
des Forêts Maison forestière
Militaire 83840 COMPS SUR
ARTUBY nicolas.fenart@onf.fr
- Patrick FERMONTE 84440
ROBION
- Catherine FERNANDEZ Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
- Paléo-écologie Fac des Sciences
et Techniques de St-Jérôme
Case 421 13297 MARSEILLE
Cedex
catherine.fernandez@univ-
provence.fr
- David FERRANDO Ecologistes de
L'Euzière Domaine de
Restinclières 34730 PRADES
LE LEZ euziere@euziere.org
- Frédérique FIGUEROA Centre
d'Etudes Techniques de
l'Equipement Méditerranéen
DHACE ENV. BP 37000 13791
AIX-EN-PROVENCE Cedex
frederique.figueroa@equipemen
t.gouv.fr
- Bertrand FLEURY Office
National des Forêts Direction
Territoriale 505 rue de la Croix
Verte BP 74208 34094
MONTPELLIER Cedex 5
bertrand.fleury@onf.fr
- Natacha FLEURY Mairie Hôtel
de Ville Rue Grande 83520
ROQUEBRUNE SUR
ARGENS nfleury@mairie-
roquebrune-argens.fr
- Christelle FONTAINE Centre
national de la recherche
scientifique EPHE 1919 route
de Mende UPR 9056 CNRS
34293 MONTPELLIER Cedex
5 christelle.fontaine@cefe-
cnrs.fr
- Nicolas FORESTIER Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
Paléo-écologie Université Aix-
Marseille III Europôle méd. de
l'Arbois BP 80 13545 AIX EN
PROVENCE Cedex 04
- Yannick FORNO Service
Départemental d'Incendies et
de Secours 1 avenue de
Boisbaudran ZI de la Delorme
13326 MARSEILLE Cedex 15



Dans le Var, le 25 septembre 2007. Photo D.A.

Gaëlle FOSSOY Association
Internationale Forêts
Méditerranéennes 14 rue Louis
Astouin 13002 MARSEILLE
gaelle.fossoy@aifm.org

Camille FRACHON-DUGAS
Institut Méditerranéen
d'Ecologie et de Paléo-écologie
Université Aix-Marseille III
Europôle méd. de l'Arbois BP
80 13545 AIX EN PROVENCE
Cedex 04

Claude GADBIN-HENRY Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
Paléo-écologie Fac des Sciences
et Techniques de St-Jérôme
Case 461 13397 MARSEILLE
Cedex 20 claude.gadbin-
henry@univ-cezanne.fr

Olivier GAIRALDI Conseil
général du Var 390 avenue des
Lices BP 1303 83076 TOULON
Cedex ogairaldi@cg83.fr

Norbert GALLAND 13320 BOUC-
BEL-AIR
galland.norbert@neuf.fr

Raffaele GAMBINO Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
Paléo-écologie Université Aix-
Marseille III Europôle méd. de
l'Arbois BP 80 13545 AIX EN
PROVENCE Cedex 04

Joseph GARRIGUE Réserve
Naturelle de La Massane
Laboratoire Arago BP 44 66651
BANYULS SUR MER
massane.rm@free.fr

Aïda GASMI Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
Paléo-écologie Université Aix-
Marseille III Europôle méd. de
l'Arbois BP 80 13545 AIX EN
PROVENCE Cedex 04

Christian GAUBERVILLE
Institut pour le Développement
Forestier 13 avenue des Droits

de l'Homme 45921 ORLEANS
christian.gauberville@cnpf.fr

Jean GAUJOUX 13009
MARSEILLE

Thierry GAUQUELIN Université
de Provence Faculté St Jérôme
Case 421 Bis 13397
MARSEILLE Cedex 20
thierry.gauquelin@univ-
provence.fr

Annick GAZONNEAU Agence
France Presse rue Vacon 13001
MARSEILLE

Laura GEIGANT 13015
MARSEILLE

Thierry GENDREAU Ecole
Nationale du Génie Rural des
Eaux et Forêts 14 Rue Girardet
CS 14216 54042 NANCY Cedex

Jacky GERARD Conseil général
13 et Entente pour la forêt
méditerranéenne Centre
Francis Arrighi Domaine de
Valabre 13120 GARDANNE
entente.foret@wanadoo.fr

Frédérique GERBEAUD-
MAULIN Centre d'Etudes
Techniques de l'Équipement
Méditerranéen DHACE ENV.
BP 37000 13791 AIX-EN-
PROVENCE Cedex
frederique.maulin@equipement
.gouv.fr

Bernard GERMAIN Centre
régional de la propriété
forestière de Provence Alpes
Côte d'Azur 7 Impasse R. Digne
13004 MARSEILLE
paca@crpf.fr

Bruno GIAMINARDI Fédération
Départementale des Chasseurs
du Var Immeuble le Dragon 7
Bd G. Péri 83300
DRAGUIGNAN

fede.chasseur.var@wanadoo.fr

Charlotte GIGOUT Conseil
régional Provence Alpes Côte

d'Azur 27 Place Jules Guesde
13481 MARSEILLE Cedex 20
cgigout@regionpaca.fr

Chantal GILLET Conseil régional
Provence Alpes Côte d'Azur Sce
espaces naturels et forêt 27
Place Jules Guesde 13481
MARSEILLE Cedex 20
cgillet@regionpaca.fr

Dominique GIRARD Conseil
général du Var Bât Omega 77
Impasse Lavoisier 83160 LA
VALETTE dgirard@cg83.fr

Pierre GIRARD Ministère de
l'Agriculture et de la Pêche
DSF BP 95 84143
MONTFAVET Cedex
betse.ds.f.derf@agriculture.gouv
.fr

Sabine GIRARD Institut pour le
Développement Forestier 175
Cours Lafayette 69006 LYON

André GORLIER Communauté
d'Agglomération Pays
d'Aubagne et de l'Étoile 932 av
de la Fleuride ZI les Paluds
13785 AUBAGNE cedex
andre.gorlier@agglo-
paydaubagne.fr

Morgane GOUDET Ecole
Nationale du Génie Rural des
Eaux et Forêts 14 Rue Girardet
CS 14216 54042 NANCY Cedex

Julien GOURRAUD ASL de
gestion forestière de la suberaie
varoise Le Grand Sud - PA Rue
Blaise Pascal BP 82 83312
COGOLIN Cedex asl.suberaie-
varoise@wanadoo.fr

Chantal GOUTAY LEGTA
"Charlemagne" Route de St
Hilaire 11000 CARCASSONNE
legta.carcassonne@educagri.fr

Carlos GRACIA CREAM
Universitat Autònoma de
Barcelona Edifici C 08193
BELLATERRA ESPAGNE
cgracia@ub.edu

Jean-Paul GRANDADAM
AVSANE 238 avenue Amiral
Vence 83200 TOULON

Anne-Marie GRANIER 30100
ALES
annemariegranier@free.fr

Cyrielle GRISIER Ecole Nationale
du Génie Rural des Eaux et
Forêts 14 Rue Girardet CS
14216 54042 NANCY Cedex

Emmanuel GRITTI Centre
National de la Recherche
Scientifique CEFE CEFE L
Emberger BP 5051 34033
MONTPELLIER Cedex
emmanuel.gritti@cefe.cnrs.fr

Alain GROGNOU Office National
des Forêts Direction
Territoriale 505 rue de la Croix

Verte BP 74208 34094
MONTPELLIER Cedex 5
alain.grognou@onf.fr

Frédéric GUIBAL IMEP - CNRS
UMR 6116 Europôle de l'Arbois
Pavillon Villemain BP 80 13545
AIX EN PROVENCE Cedex 04
frederic.guibal@univ-cezanne.fr

Geneviève GUIGNOT 84200
CARPENTRAS
genevieve.guignot@free.fr

Fern GUILLIBERT 83520
ROQUEBRUNE SUR
ARGENS

Alexis GUILLON Ecole Nationale
du Génie Rural des Eaux et
Forêts 14 Rue Girardet CS
14216 54042 NANCY Cedex

Corinne GUIN TINI
Conservatoire du Littoral et
des rivages lacustres Bastide
Beaumanoir 3 rue Marcel
Arnaud 13100 AIX EN
PROVENCE
paca@conservatoire-du-
littoral.fr

Joël GUIOT CNRS CEREGE
UMR 6635 Europôle de l'Arbois
BP 80 13545 AIX EN
PROVENCE Cedex 4
guiot@cerge.fr

Alain GUIRAUD Centre régional
de la propriété forestière de
Languedoc-Roussillon Parc
Euromédecine 1 378 rue de la
Galéra 34097 MONTPELLIER
Cedex 5 alain.guiraud@crpf.fr

Elisabeth GUYONNET 83510
SAINT ANTONIN
pguyonnet@volga.fr

Françoise HALLARD Société du
Canal de Provence Le Tholonet
CS 70064 13182 AIX EN
PROVENCE Cedex 5
francoise.hallard@canal-de-
provence.com

Okkacha HASNAOUI Institut
Méditerranéen d'Ecologie et de
Paléo-écologie Université Aix-
Marseille III Europôle méd. de
l'Arbois BP 80 13545 AIX EN
PROVENCE Cedex 04
okhasnaoui2001@yahoo.fr

Thadée HENNEBO Conseil
régional Languedoc-Roussillon
Economie rurale littorale
touristique 201 av de la
Pompignane 34064
MONTPELLIER Cedex
hennebo.thadee@cr-
languedocroussillon.fr

François HENRIOT 83520
ROQUEBRUNE SUR
ARGENS f.henriot@free.fr

Mireille HENRY Mairie de Saint
Martin de Crau Hôtel de Ville
Place du Dr Bagnaninchi 13310
SAINT MARTIN DE CRAU



A Puechabon (Hérault) le 9 octobre 2007. Photo D.A.

- François HERMANT Centre régional de la propriété forestière de Provence Alpes Côte d'Azur 7 Impasse R. Digne 13004 MARSEILLE paca@crpf.fr
- Olivier HIDREAU Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Jean-Paul HOLLE Mairie Hôtel de Ville 83860 NANS LES PINS
- Roland HUC Institut National de la Recherche Agronomique URFM Site Agroparc St Paul 84914 AVIGNON cedex 9 huc@avignon.inra.fr
- Philippe HUGUES Hérault Sport Parc Euromédecine 747 rue des Apothicaires BP 24389 34196 MONTPELLIER Cedex 5
- Manuel IBANEZ Ecologistes de L'Euzière Domaine de Restinchières 34730 PRADES LE LEZ manuel@euziere.org
- Valérie JACQ Météorologie nationale Sud-Est 2 Bd Château Double 13098 AIX EN PROVENCE Cedex 02 valerie.jacq@meteo.fr
- Karine JACQUET Centre national de la recherche scientifique EPHE 1919 route de Mende UPR 9056 CNRS 34293 MONTPELLIER Cedex 5 karine.jacquet@cefe-cnrs.fr
- Dominique JARDINÉ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie 2 bd Gabès 13008 MARSEILLE ademe.paca@ademe.fr
- Emmanuelle JOURDAIN Forêt Méditerranéenne 14 Rue Louis Astouin 13002 MARSEILLE emmanuelle.jourdain@foret-mediterranee.org
- Jacqueline KOSSOW Mairie de Nice Rue de l'Hôtel de Ville 06364 NICE Cedex 4 jacqueline.kossow@wanadoo.fr
- Jean LABADIE Conseil général du Var Bât Omega 77 Impasse Lavoisier 83160 LA VALETTE jlabadie@cg83.fr
- Eric LACOMBE Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS 14216 54042 NANCY Cedex lacombe@engref.fr
- Jean LADIER Office National des Forêts Actiplus - ZI Saint Joseph 04100 MANOSQUE jean.ladier@onf.fr
- Jean-Marie LAFOND GIP des Calanques Parc d'Affaires Marseille-Sud Impasse le Paradou Bât A4 13009 MARSEILLE sig@gipcalanques.fr
- Philippe LAMINE Conseil général des Bouches du Rhône Direction de l'environnement 52 av de St Just 13256 MARSEILLE Cedex 20 philippe.lamine@cg13.fr
- Guy LANDMANN GIP ECOFOR 6 rue du Général Clergerie 75116 PARIS secretariat@gip-ecofor.org
- Luc LANGERON Institut pour la Protection et la Valorisation de la Forêt Méditerranéenne CD 7 Chemin de Roman 13120 GARDANNE llangeron@institut-foret.com
- Philippe LANGEVIN Faculté des sciences économiques et de gestion Université Aix Marseille II 14 rue Puviss de Chavannes 13001 MARSEILLE Philippe.Langevin@univmed.fr
- Gabrielle LANTES En Pays Varois 26 Bl Jean Jaurès 83300 DRAGUIGNAN enpays.varois@wanadoo.fr
- Abdellah LAOUINA Université Mohammed V BP 1040 RABAT CHELLAH laouina@menara.ma
- Danièle LARCENA LATES/EHESS 2 rue de la Charité 13002 MARSEILLE larcena@wanadoo.fr
- Joël LAURENT Conseil général des Bouches du Rhône DGACEEP Education Bureau A4145 MIDEV 52 av de St Just 13256 MARSEILLE Cedex 20 joel.laurent@cg13.fr
- Alban LAURIAK Centre régional de la propriété forestière de Languedoc-Roussillon Parc Euromédecine 1 378 rue de la Galéra 34097 MONTPELLIER Cedex 5 alban.lauriac@crpf.fr
- Mélanie LE GUILLOUX Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Henri-Noël LE HOUEIROU 34090 MONTPELLIER hn.le-houerou@club-internet.fr
- Patrick LE MEIGNEN Office National des Forêts Agence départementale 1 allée des Fontainiers 04000 DIGNE patrick.le-meignen@onf.fr
- Dominique LEDERLIN-ADER 83680 LA GARDE FREINET d.lederlinader@wanadoo.fr
- Guy LEFER Syndicat des Propriétaires Forestiers de de la Drôme Chambre d'agriculture Bd Vauban BP 21 26001 VALENCE Cedex crpfbourglesvalence@free.fr
- François LEFEVRE Institut National de la Recherche Agronomique URFM Site Agroparc St Paul 84914 AVIGNON cedex 9 francois.lefevre@avignon.inra.fr
- Myriam LEGAY Institut National de la Recherche Agronomique UMR INRA UHP Ecologie et écophysio forestière 54280 CHAMPENOUX legay@nancy.inra.fr
- Véronique LEGRAND-BASCOUL Conseil général des Alpes-Maritimes Rte de Grenoble BP 3007 06201 NICE Cedex 3 vlegrand@cg06.fr
- Lidwine LEMIRE PECHEUX GIP des Calanques Parc d'Affaires Marseille-Sud Impasse le Paradou Bât A4 13009 MARSEILLE lidwine.lm-pecheux@gipcalanques.fr
- Aurélien LEQUETTE Pays Pyrénées Méditerranée 2 rue Jean Amade BP 121 66401 CERET Cedex a.lequette@payspyreneesmediterrane.org
- Guy LEROY Office National des Forêts Agence départementale du Var 101 Chemin de San Peyre 83220 LE PRADET guy.leroy@onf.fr
- Alain LESTURGEZ Observatoire de la Forêt Méditerranéenne Pavillon de chasse du Roy René Domaine de Valabre 13120 GARDANNE alain.lesturgez@ofme.org
- Edouard LHOMER Faculté de Saint Jérôme Avenue Escadrille Normandie Niemen 13397 MARSEILLE Cedex 20
- Nicole LIAUTAUD 13012 MARSEILLE
- Guy-Georges LIMORTE Secrétariat général pour les affaires régionales 2 Bd Paul Peytral 13282 MARSEILLE Cedex 20 sgar@paca.pref.gouv.fr
- Michel LLINARES 30260 ORTOUX Serignac Quilhan llinaresm@wanadoo.fr
- Eric LOPEZ EBE BOIS SARL Quartier Craux Chemin St Jean de Garguier 43D 13400 AUBAGNE eric@ebe-bois.com
- Camille LOUDUN HAMON Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Nicolas LUIGI Centre régional de la propriété forestière du Gard 7 Chemin du Peyrigoux 30140 BAGARD gard@crpf.fr
- Jean-André MAGDALOU Réserve Naturelle de La Massane Laboratoire Arago BP 44 66651 BANYULS SUR MER massane.rn@free.fr
- Ilène MAHFOUD Faculté de lettres 74 rue Louis Pasteur Case 17 84029 AVIGNON Cedex 1 mahfoud_ilene@yahoo.fr
- Philippe MAIGNE Syndicat Mixte Départemental des Massifs Concors Sainte Victoire Immeuble Le Derby 570 av du Club Hippique 13084 AIX EN PROVENCE Cedex 2 philippe.maigne@grandsitesaintevictoire.com
- Albert MAILLET Office National des Forêts Direction territoriale Méditerranée CS 80411 13097 AIX EN PROVENCE Cedex 02 albert.maillet@onf.fr
- Martial MAIROT Ville de Marseille Direction des parcs et jardins 48 av. Clot Bey 13008 MARSEILLE
- Mihaela MARC 84000 AVIGNON
- Henri MARCH Union régionale des Maires de Provence Alpes Côte d'Azur 14 rue Sainte Barbe 13001 MARSEILLE hmarch@regionpaca.fr
- Phidias MARCO Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Guy MARECHAL Conseil général des Alpes Maritimes Ctre Administratif Rte de Grenoble BP 7 06030 NICE Cedex gmarechal@cg06.fr
- Stéphanie MARI Conseil général de Vaucluse Direction de l'environnement Rue Viala 84909 AVIGNON Cedex 9 mari-s@cg84.fr
- Bruno MARITON Centre régional de la propriété forestière des Pyrénées-Orientales Château Cap de Fousté 66100 PERPIGNAN pyreneesorientales@crpf.fr

Christine MARSTEAU Direction régionale de l'Environnement
58 av Marie de Montpellier CS
79 034 34965 MONTPELLIER
Cedex 2
christine.marsteau@languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr

Nicolas MARTIN Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS
14216 54042 NANCY Cedex

Willy MARTIN Cemagref 3275 route de Cézanne CS 40061
13182 AIX EN PROVENCE
Cedex 5
willy.martin@cemagref.fr

Olivier MARTINEAU Centre régional de la propriété forestière de Provence Alpes Côte d'Azur 7 Impasse R. Digne
13004 MARSEILLE
crpf.arbois@free.fr

Valérie MARTINEZ Conseil régional Provence Alpes Côte d'Azur DEDDA 27 Place Jules Guesde 13481 MARSEILLE
Cedex 20
vmartinez@regionpaca.fr

Annick MASSON Mairie de Nîmes Sce forestier 30033
NÎMES Cedex 9
annick.masson@ville-nîmes.fr

Mireille MATHERON Mairie Hôtel de Ville 04800
ESPARRON DE VERDON
mairie.esparron-de-verdon@wanadoo.fr

Francis MATHIEU Centre régional de la propriété forestière de Lozère Maison de la forêt 16 quai de Berlière
48000 MENDE
francis.mathieu@crpf.fr

Adrien MATRAND ASL de gestion forestière de la suberaie varoise Le Grand Sud - PA Rue Blaise Pascal BP 82 83312

COGOLIN Cedex asl.suberaie-varoise@wanadoo.fr

Luc MAUCHAMP Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables Direction de la Nature et des Paysages 20 Avenue de Ségur
75302 PARIS 07 SP
luc.mauchamp@ecologie.gouv.fr

Marie-Thérèse MAUGIRARD ANNAM Gpe mycologique et botanique 696 ch de Françoise La Toccata 83510 LORGUES
jcm8357@aol.com

Robert MAURAS Syndicat Chaîne les Côtes-Trevaresse 885 chemin des Garrigues 13840
ROGNES

Frédéric MEDAIL Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
f.medail@univ-cezanne.fr

Gregori MIAILLIER Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS 14216 54042 NANCY Cedex

Lilian MICAS Office National des Forêts 04170 SAINT ANDRÉ
LES ALPES

Dominique MICAUX Office Nationale des Forêts Agence départementale de l'Aude BP 1074 11870 CARCASSONNE
Cedex 09
dominique.micaux@onf.fr

Jérémy MIGLIORE Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04

Roland MIJO Entente pour la forêt méditerranéenne Centre Francis Arrighi Domaine de

Valabre 13120 GARDANNE
entente.foret@wanadoo.fr

Ghislaine MILLET France 3 Marseille 2 all Ray Grassi
13008 MARSEILLE
ghislaine.millet@france3.fr

Serge MIQUEL Conseil général de l'Hérault Hôtel du Département 1000 Rue d'Alco
34087 MONTPELLIER Cedex
smiquel@cg34.fr

Jean-Marie MOLLET Conseil général des Bouches du Rhône Direction des routes - SGR 52
Av de St Just 13256
MARSEILLE Cedex 20
jeanmarie.mollet@cg13.fr

Yogan MONNIER IMEP-CEMAGREF 164 route de Chateauneuf le Rouge 13100
BEAURECUEIL

Valentine MOREAU Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04

Elsa MORELLO Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04

Bernard MOURGUES Languedoc-Roussillon Nature Environnement 474 allée Henri II de Montmorency 34000
MONTPELLIER
contact@lrne.org

Isabelle MOUSSIN Direction Départementale Agriculture et Forêt Cité administrative Place N. Blache BP 122 83071
TOULON Cedex
DDAF83@agriculture.gouv.fr

Maliki MSA Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04

Véronique MURE Communauté d'Agglomération Nîmes Métropole Sce environnement 3 rue du Colisée 30947 NÎMES
Cedex 9
veronique.mure@nîmes-metropole.fr

May MYKLEBUST Institut National de la Recherche Agronomique URFM Site Agroparc St Paul 84914
AVIGNON cedex 9

Aminata N'DIAYE BOUBACAR Cemagref 3275 route de Cézanne CS 40061 13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5
contact@cemagref.fr

Nadine NASI Office National des Forêts Agence départementale du Var 101 Chemin de San Peyre 83220 LE PRADET
ag.var@onf.fr

Cyrille NAUDY Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix 8 Place Jeanne d'Arc BP 322
13611 AIX EN PROVENCE
Cedex 1 CNaudy@agglo-paysdaix.fr

Jérôme NAVARRO Mairie de Toulon Av de la République
83000 TOULON
jnavarro@mairie-toulon.fr

Philippe NECTOUX Union régionale des Maires de Provence Alpes Côte d'Azur 14 rue Sainte Barbe 13001
MARSEILLE

Michel NEVEUX Syndicat Intercommunal de la Giscle Le Grand Sud - PA BP 82 83312
COGOLIN Cedex
syndicat.giscle@free.fr

Nicolas NGUYEN THE AFOCEL Station régionale Sud Domaine de St Clément 34980 SAINT CLEMENT DE RIVIERE
nicolas.nguyen-the@fcb.fr

Jean-Michel NINGRE 13009
MARSEILLE

Marine NIRONI Forêt Méditerranéenne 14 Rue Louis Astouin 13002 MARSEILLE
contact@foret-mediterranee.org

Benjamin NOC Syndicat mixte de gestion du Parc naturel régional des Alpilles 10-12 avenue Notre Dame du Château 13103 SAINT ETIENNE DU GRES
b.noc@parc-alpilles.fr

Daniel NOUALS Direction Départementale Agriculture et Forêt Cité administrative Place N. Blache BP 122 83071
TOULON Cedex
daniel.nouals@agriculture.gouv.fr

Jacques OLIVIER Conseil régional Provence Alpes Côte d'Azur Commission Agriculture, forêt, mer 27 Place Jules Guesde 13481
MARSEILLE Cedex 20
jolivier@regionpaca.fr

Anthony OLLIVIER Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04

Jérôme ORGEAS Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN



A Puéchabon (Hérault) le 9 octobre 2007

Photo D.A.

- PROVENCE Cedex 04
jerome.orgeas@univ-cezanne.fr
- Pascal ORRU Conseil général du Var Bât Omega 77 Impasse Lavoisier 83160 LA VALETTE porru@cg83.fr
- Jean-Marc OURCIVAL Centre National de la Recherche Scientifique CEFE CEFE L Emberger BP 5051 34033 MONTPELLIER Cedex
- Loïc PANZANI Le Naturoscope 166 av de Hambourg Bât Le Sud 13008 MARSEILLE loic.panzani@naturoscope.fr
- Guy PARRAT Ecopolenergie 2 bis avenue de la Libération 13120 GARDANNE
- Elodie PAYEN CPIE du Haut Languedoc 3 et 4 les Bouldouires 34330 LA SALVETAT SUR AGOUT cofor34@hautlanguedoc.fr
- Gwendoline PECHON 83600 FREJUS gwnepechon@hotmail.fr
- Sophie PERCHAT Association Départementale des Communes Forestières du Var Rue Blaise Pascal BP 82 83312 COGOLIN Cedex sophie.perchat@ofme.org
- Frédéric PERNON Office National des Forêts 10 Place Olivier de Serre BP 138 07201 AUBENAS Cedex frederic.pernon@onf.fr
- Nicolas PERRETTE AgroParis Tech ENGREF Arboretum national des Barres Domaine des Barres 45290 NOGENT SUR VERNISSON perrette@engref.fr
- Vincent PETIT Direction Départementale Agriculture et Forêt Cité administrative Place N. Blache BP 122 83071 TOULON Cedex vincent.petit@agriculture.gouv.fr
- Stéphane PEYRAUD Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Christian PICHOT Institut National de la Recherche Agronomique Site Agroparc Domaine St Paul 84914 AVIGNON Cedex 9 pichot@avignon.inra.fr
- Jean-Michel PIRASTRU Syndicat mixte de gestion du Parc naturel régional des Alpilles régional des Alpilles 10-12 avenue Notre Dame du Château 13103 SAINT ETIENNE DU GRES jm.pirastru@parc-alpilles.fr
- Corinne PODLEJSKI Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement Méditerranéen DHACE ENV. BP 37000 13791 AIX-EN-PROVENCE Cedex corinne.podlejski@equipement.gouv.fr
- Benjamin POILVET 13008 MARSEILLE benjpoilvet@hotmail.fr
- Dominique PONTIEU LEGTA "Charlemagne" Route de St Hilaire 11000 CARCASSONNE legta.carcassonne@educagri.fr
- Clément POYER Office National des Forêts Agence départementale du Var 101 Chemin de San Peyre 83220 LE PRADET ag.var@onf.fr
- François PREVOST Société du Canal de Provence Le Tholonet CS 70064 13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5 francois.prevost@canal-de-provence.com
- Bernard PREVOSTO Cemagref 3275 route de Cézanne CS 40061 13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5 bernard.prevosto@cemagref.fr
- Laure PUMAREDA Parc Naturel Régional du Verdon Domaine de Valx BP 14 04360 MOUSTIERS SAINTE MARIE lpumareda@parcduverdon.fr
- Leila QASEMIAN Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Simone QUARD 26220 DIEULEFIT
- Serge RAMBAL Centre National de la Recherche Scientifique CEFE CEFE L Emberger BP 5051 34033 MONTPELLIER Cedex serge.rambal@cefe.cnrs.fr
- Jean-Pierre RAMEL C.I.R.A.M.E 779 Chemin de l'Hermitage Hameau de Serres 84200 CARPENTRAS ramel-jp@agrometeo.fr
- Thomas RAMPAL Conseil général du Var Bât Omega 77 Impasse Lavoisier 83160 LA VALETTE trampal@cg83.fr
- Hubert RAUZIER 34070 MONTPELLIER hubertrosy@wanadoo.fr
- Xavier RAVAUX Office National des Forêts Agence départementale du Var 101 Chemin de San Peyre 83220 LE PRADET ag.var@onf.fr
- Alain REDER Arbres formation Languedoc-Roussillon Comberousse 34660 COURNONTERRAL
- Jean-Baptiste REGNE Groupement de Développement Forestier Gardois 7 chemin de Peyrigoux Maison de CRPF 30140 BAGARD foretgaroise@free.fr
- François REMOND AS des sites de la Croix Valmer BP 62 83420 LA CROIX VALMER fran.chan.remond@wanadoo.fr
- Catherine RÉTORÉ Conseil Economique et Social Provence Alpes Côte d'Azur 27 Place Jules Guesde 13235 MARSEILLE Cedex 2 cretore@regionpaca.fr
- Denis REVALOR 13840 ROGNES denis.revalor@wanadoo.fr
- Elisabeth RICAUD C.I.R.A.M.E 779 Chemin de l'Hermitage Hameau de Serres 84200 CARPENTRAS ricaud-e@agrometeo.fr
- Guy RIEFF Office National des Forêts Maison forestière du Grenouillet 34190 GORNIES
- Jacques RIGAUD Communauté de Communes des Cévennes gangeoises Plan de l'ormeau Hôtel de Ville 34190 GANGES nvenier@cg34.fr
- Eric RIGOLOTT Institut National de la Recherche Agronomique URFM Site Agroparc St Paul 84914 AVIGNON cedex 9 rigolot@avignon.inra.fr
- Alain RIOLES 34090 MONTPELLIER riolsa@wanadoo.fr
- Christian RIPERT Cemagref 3275 route de Cézanne CS 40061 13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5 christian.ripert@aix.cemagref.fr
- Evelyne RODRIGUEZ Conseil général des Bouches du Rhône Direction de l'environnement 52 av de St Just 13256 MARSEILLE Cedex 2 evelyne.rodriguez@cg13.fr
- Frédéric RODRIGUEZ Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Géraldine ROGEON Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Gaëlle ROUAULT Institut National de la Recherche Agronomique URFM Site Agroparc St Paul 84914 AVIGNON cedex 9 grouault@avignon.inra.fr
- Armand ROUVIER SIVOM Artuby Verdon Avenue de Chamay 83840 COMPS sur ARTUBY sivom.artuby.verdon@free.fr
- Lisa RUSSO Ecofys France SAS 10 rue aux Ours 75003 PARIS l.russo@ecofys.com
- Er Riyahi SABER 13090 AIX EN PROVENCE e.saber@caramail.com
- Kamel SADKI Groupe Energies Renouvelables et Environnement 40 rue Saint Jacques 13006 MARSEILLE k.sadki@geres.eu
- Claude SAFON AgriPacte 118 rte de Frouzet 34380 SAINT MARTIN DE LONDRES agripacte@wanadoo.fr
- José SALLÉ Mouvement National de Lutte pour l'Environnement 19 rue Albrand 13002 MARSEILLE mnle13@wanadoo.fr



A Marseille les 8 et 9 novembre 2007. Photo D.A.

- Jean SANTELLI Office National des Forêts Agence départementale du Var 101 Chemin de San Peyre 83220 LE PRADET jean.santelli@onf.fr
- Dominique SARRAILH Ville de Marseille Direction des parcs et jardins 48 av. Clot Bey 13008 MARSEILLE dsarrailh@mairie-marseille.fr
- Audrey SCALA ASSENMCE Relais Nature St Joseph 64 bd Simon Bolivar 13014 MARSEILLE assenemce@free.fr
- Ceydric SEDILLOT-GASMI Société forestière de la Caisse des Dépôts et Consignations 102 rue Réaumur 75002 PARIS sedillot-gasmi@forestiere-cdc.fr
- Bernard SEGUIN Institut National de la Recherche Agronomique Site Agroparc Domaine St Paul 84914 AVIGNON Cedex 9 seguin@avignon.inra.fr
- Eric SERANTONI Conservatoire Botanique de Porquerolles Castel Sainte Claire Rue Ste Claire 83418 HYERES cedex eric.serantoni@espaces-naturels.fr
- Magali SERRANO Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Eric SERRES Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Carole SIGNES
- Eloise SIMON Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Sylvie SIMON TEISSIER Office National des Forêts Les Cordeliers BP 76 04200 SISTERON sylvie.simon-teissier@onf.fr
- Stéphanie SINGH Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 14 Rue Girardet CS 14216 54042 NANCY Cedex
- Sylvestre SISCO Office du Développement Agricole et Rural de Corse Av P Giacobbi BP 618 20601 BASTIA sylvestre.sisco@odarc.fr
- Jean-François SOULAS 13009 MARSEILLE jfsoulas@free.fr
- Brigitte TALON Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04 b.tallon@univ.u-3mrs.fr
- Fabienne TANCHAUD Conseil général du Var Bât Omega 77 Impasse Lavoisier 83160 LA VALETTE ftan chaud@cg83.fr
- Chloé TARDIVET Direction Départementale Agriculture et Forêt CADAM BP 3038 06200 NICE chloe.tardivet@agriculture.gouv.fr
- Patrizia TARTARINO Università di Bari Dipartimento scienze produzioni vegetali Via Amendola 165/A 70126 BARI patrizia.tartarino@agr.uniba.it
- Nathalie TAUZIN Association Ginkgo Var "Les Moulins" 83680 LA GARDE FREINET
- Xavier TEISSERENC 34520 SAINT FELIX DE L'HERAS
- Nathalie TETEFORT GIP des Calanques Parc d'Affaires Marseille-Sud Impasse le Paradou Bât A4 13009 MARSEILLE sig@gipcalanques.fr
- Ali THABEET Cemagref 3275 route de Cézanne CS 40061 13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5 contact@cemagref.fr
- Jacques THIBAUT Direction Départementale Agriculture et Forêt Cité administrative Place N. Blache BP 122 83071 TOULON Cedex jacques.thibault@agriculture.gouv.fr
- Michel THINON Faculté de Saint Jérôme Case 462 Av Escadrille Normandie Niemens 13397 MARSEILLE Cedex 20 michel.thinon@univ-cezanne.fr
- Jean-Jacques TOLRON Cemagref 3275 route de Cézanne CS 40061 13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5 jean-jacques.tolron@cemagref.fr
- Jean-Michel TOSONI Entente pour la forêt méditerranéenne Centre Francis Arrighi Domaine de Valabre 13120 GARDANNE entente.foret@wanadoo.fr
- Nicolas TRAUB Centre régional de la propriété forestière de Rhône Alpes Parc de Crécy 18 av du Général de Gaulle 69771 SAINT DIDIER AU MONT D'OR nicolas.traub@crpf.fr
- Joseph TRAVE Réserve Naturelle de La Massane Laboratoire Arago BP 44 66651 BANYULS SUR MER massane.rn@free.fr
- Pascal TRUONG SILVA 6 avenue de Saint Mandé 75012 PARIS pascal_truong@yahoo.fr
- Louis VALENTIN Syndicat des Propriétaires Forestiers Sylviculteurs du Var Maison de la forêt ZI les Lauves 83340 LE LUC spfsvar@aol.com
- Daniel VALLAURI WWF France 6 rue des Fabres 13001 MARSEILLE dvallauri@wwf.fr
- Livia VALLEJO Faculté de Saint Jérôme Avenue Escadrille Normandie Niemen 13397 MARSEILLE Cedex 20
- Amélie VALLON Secrétariat général pour les affaires régionales 2 Bd Paul Peytral 13282 MARSEILLE Cedex 20 sgar@paca.pref.gouv.fr
- Benjamin VAN LUNSEN Syndicat Intercommunal de la Giscle Le Grand Sud - PA BP 82 83312 COGOLIN Cedex syndicat.giscle@free.fr
- Thierry VANWEDDINGEN 83111 AMPUS
- Maria Carolina VARELA Estação Florestal Nacional Quinta do Marquês 2780-159 OERIAS PORTUGAL carolina.varela@efn.com.pt
- Nicolas VAS Groupe International d'Etudes des Forêts Sud Européennes 69 av des Hespérides 06300 NICE vasicolas@aol.com
- Denis VAUTHIER Institut National de la Recherche Agronomique Site Agroparc Domaine St Paul 84914 AVIGNON Cedex 9 vauthier@avignon.inra.fr
- Michel VAUZELLE Conseil régional Provence Alpes Côte d'Azur 27 Place Jules Guesde 13481 MARSEILLE Cedex 20 contact@regionpaca.fr
- Michel VENNETIER Cemagref 3275 route de Cézanne CS 40061 13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5 michel.vennetier@cemagref.fr
- Agnès VERDEAU Conseil régional Provence Alpes Côte d'Azur 27 Place Jules Guesde 13481 MARSEILLE Cedex 20 averdeau@regionpaca.fr
- Pierre VETILLART Conseil régional Provence Alpes Côte d'Azur 27 Place Jules Guesde 13481 MARSEILLE Cedex 20 pvetillart@regionpaca.fr
- Pierre VEZINET 30120 MONTDARDIER
- Jean-Paul VIERON Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature Galerie du Polygone 38 av de Verdun 26000 VALENCE jp.vieron@frapna.org
- Jean-Pierre VIGLIETTI Direction Départementale Agriculture et Forêt Cité administrative Place N. Blache BP 122 83071 TOULON Cedex DDAF83@agriculture.gouv.fr
- Marianne VIGNOLLES Conseil général des Alpes Maritimes Ctre Administratif Rte de Grenoble BP 7 06030 NICE Cedex mvignolles@cg06.fr
- Bruno VILA Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie UMR CNRS 6116 Paléo-écologie UMR CNRS 6116 Université de Provence Case 421bis Av. Escadrille Normandie Niemen 13397 MARSEILLE Cedex 20 bruno.vila@up.univ-mrs.fr
- Jean-Pierre VILLEBRUN Arbres formation 1 Les Cades 34570 SAINT PAUL ET VALMALLE
- Sandrine VITALI Conseil général du Var Bât Omega 77 Impasse Lavoisier 83160 LA VALETTE svitali@cg83.fr
- Adrien VOISIN Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04
- Laurent VOISIN Office National des Forêts Vaucluse-Bouches-du-Rhône 46 av Paul Cézanne CS 80411 13097 AIX EN PROVENCE Cedex 02 laurent.voisin@onf.fr
- Sami YOUSSEF Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléo-écologie Université Aix-Marseille III Europôle méd. de l'Arbois BP 80 13545 AIX EN PROVENCE Cedex 04 sami.youssef@hotmail.com
- Audrey ZENASNI 30800 SAINT GILLES