

Le mont Ventoux : laboratoire d'études dans le cadre du changement climatique

par François LEFEVRE

Le mont Ventoux est un site exceptionnel de par sa diversité biologique, les dynamiques écologiques particulièrement actives qu'il a connues depuis le XIX^e siècle, associées aux évolutions récentes des pratiques et des usages et, enfin, par les nombreuses études et recherches qui y ont été menées depuis plus de 40 ans, dans des disciplines très variées. Cela en fait un formidable laboratoire et une source d'acquisition de connaissances, indispensables aujourd'hui dans le contexte préoccupant du changement climatique.

Introduction

Les articles qui précèdent soulignent bien trois caractéristiques du mont Ventoux, rarement combinées sur un même site et dont on se doute bien qu'elles représentent un atout majeur pour aborder les nouvelles questions posées dans la perspective du changement global : par quels mécanismes écologiques les écosystèmes peuvent-ils répondre aux changements environnementaux qui sont prédis ? comment l'adaptation des pratiques et des usages peut-elle influer sur cette réponse ? etc. La première caractéristique est l'existence d'une diversité de conditions environnementales et, par voie de conséquence, d'une diversité biologique exceptionnelles. La seconde est l'occurrence de dynamiques écologiques particulièrement actives suite aux grands travaux de reboisement démarrés au XIX^e siècle et aux évolutions récentes des pratiques et des usages. Enfin, la troisième qualité du Ventoux est une longue pratique d'études et de recherches bien documentées, dans des disciplines variées, depuis plus de 40 ans.

De nouvelles questions de recherche liées au changement climatique, les atouts du mont Ventoux pour y répondre

Le changement climatique est désormais une certitude¹. Sur le Bassin méditerranéen, plus de vingt modèles différents de simulation s'accordent pour prédire, au cours du XXI^e siècle : un accroissement de la température moyenne et des températures maximales, encore plus fort en été, une baisse des précipitations annuelles, encore plus marquée en été, des risques de sécheresse plus importants. Par voie de conséquence, on attend une extension du risque d'incendie de forêt sur le territoire et un allongement de la période de risque (Eric RIGOLOT, comm. pers.). Pour plus de précisions, nous renvoyons le lecteur au numéro spécial de *Forêt Méditerranéenne* reprenant les actes du colloque organisé par l'association en novembre 2007 « Changements climatiques et forêt méditerranéenne ».

Ces changements climatiques vont vraisemblablement conduire à des bouleversements écologiques et économiques majeurs au cours du prochain siècle. Au plan écologique, non seulement les espèces seront affectées chacune indépendamment dans ses relations avec le milieu, mais en outre toutes les interactions entre espèces seront perturbées du fait de sensibilités diverses au climat : évolution des cortèges de parasites, de mycorhizes, des populations de polliniseurs ou de disperseurs de graines, invasions biologiques, etc. L'article de Jacques Blondel (p. 359) relate les premières études de l'effet du climat sur l'avifaune du Ventoux. Ainsi, on voit bien que changement climatique et biodiversité ne sont pas seulement des mots-clés à la mode, mais qu'il y a bien derrière ces mots des enjeux essentiels, à court terme, pour l'évolution de notre société.

1 - Au-delà des polémiques résiduelles stériles, on trouve sur internet une excellente présentation de l'état des connaissances qui peut être lue à différents niveaux, du profane au spécialiste, et strictement basée sur les faits et conclusions du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) <http://www.greenfacts.org/climate-change/giec/giec.htm>

Si le changement climatique est bien une certitude, il reste malgré tout aujourd'hui de grandes incertitudes sur le climat futur. En premier lieu, l'ampleur du changement climatique varie fortement selon les scénarios d'émission de gaz à effets de serre : à l'échelle globale de la planète, l'accroissement attendu de la température moyenne varie de 1,5 à 6,5°C selon ces scénarios. Par ailleurs, l'amplitude des varia-

tions annuelles est encore mal prédictive : par exemple, l'augmentation de la température moyenne s'accompagnera-t-elle d'une élimination complète du risque de gel ? Au plan écologique, l'incertitude est encore plus grande car, d'une part, nous connaissons très peu la capacité de réponse des espèces à des variations aussi rapides de leur environnement physique et, d'autre part, l'étude des mécanismes d'interactions entre espèces (interactions biotiques) a généralement été menée dans un contexte de stabilité environnementale.

Ainsi, le changement climatique est un processus qui s'inscrit dans la durée, à l'échelle du siècle, et les écosystèmes, notamment forestiers, devront faire face à une succession de conditions pédo-climatiques et de contextes biotiques difficilement prévisibles, peut-être inédits. Compte tenu des incertitudes sur la situation future, les politiques d'adaptation au changement global qui se mettent en place doivent avoir comme objectif de préserver dans la durée, sur le long terme, la capacité des systèmes naturels et cultivés à toujours évoluer. Les recherches doivent alors mettre l'accent sur les mécanismes d'évolution, d'adaptation à de nouvelles conditions environnementales, les dynamiques écologiques et économiques (non traitées ici). Un autre défi nous est posé par la brusquerie du changement climatique. En effet, les évolutions et dynamiques écologiques relèvent de processus complexes et l'expérimentation peut être lourde et peut prendre du temps (surtout quand on s'intéresse aux arbres !), or nous n'avons pas le temps d'attendre longtemps les résultats de la recherche, car ce sont les décisions prises aujourd'hui qui produiront leurs effets demain. Nous sommes donc dans le domaine de la « recherche-action », nécessitant des ajustements continus.

On comprend mieux, dès lors, l'intérêt du site du mont Ventoux pour ces recherches. Tout d'abord, comme cela a été rappelé dans les articles de Michel Thimon (p. 289) et Guy Aubert (p. 295), le mont Ventoux est un carrefour bioclimatique où se côtoient les influences méditerranéennes et alpines, conduisant à une mosaïque de conditions environnementales très diversifiées, organisées selon les gradients altitudinaux et l'orientation des versants. Cette diversité des habitats est à l'origine d'une biodiversité remarquable du point de vue du nombre d'espèces présentes (voir l'article de Jacques

Blondel, p. 359). En outre, le mont Ventoux représente aussi une zone limite de l'aire de distribution de nombreuses espèces végétales et animales : marge méridionale d'espèces alpines et montagnardes, ou marge septentrionale d'espèces typiquement méditerranéennes. Ainsi, pour les arbres forestiers, les peuplements de sapin pectiné, de hêtre ou, inversement, de pin d'Alep du mont Ventoux peuvent être qualifiés de marginaux, au sens qu'ils ont développé des adaptations particulières par rapport aux autres populations des mêmes espèces, par sélection naturelle au fil du temps.

D'autre part, le mont Ventoux se caractérise par de fortes dynamiques écologiques en cours, dont certaines font l'objet de suivi depuis plusieurs décennies. Une des évolutions les plus marquantes est la maturation des écosystèmes forestiers, avec le retour d'espèces caractéristiques des stades écologiques avancés, comme le hêtre et le sapin, sous les peuplements artificiels de pins issus des boisements de Restauration des terrains en montagne (RTM) (DREYFUS, 2004 ; COURDIER & DREYFUS, 2005). On pourrait également parler de l'extension de la cédraie qui tend à coloniser spontanément les taillis de chêne. Des dynamiques émergentes sont également observées chez d'autres organismes : ainsi un processus d'invasion biologique récente chez un insecte parasite des graines de cèdre a été détecté depuis les années 1990 et suivi finement depuis (FABRE *et al*, 2004) ; voir également l'article de Jacques Blondel sur les dynamiques de populations d'oiseaux (p. 359). Il est ainsi possible, sur le Ventoux, d'étudier des dynamiques d'expansion ou de régression de populations en train de se produire et non pas seulement se contenter d'observer le résultat de dynamiques passées. Pour la plupart, ces dynamiques ont été initiées lors des changements de pratiques et d'usages des territoires depuis le XIX^e siècle. Ces changements récents sont souvent assez bien documentés, ce qui offre la perspective de retour sur expérience par analyse rétrospective, approche particulièrement intéressante dans le cadre d'une « recherche-action » comme celle qui nous intéresse ici.

Enfin, des résultats et des observations récentes montrent que les dynamiques écologiques en cours sur le mont Ventoux s'accompagnent de processus évolutifs d'adaptation. Ainsi, dans sa thèse consacrée

aux cèdres du Petit Luberon (mais le même processus est en cours sur le mont Ventoux), Delphine Fallour (1998) a mis en évidence des évolutions génétiques adaptatives rapides, après seulement trois générations d'arbres qui se sont succédé depuis l'introduction de l'espèce dans son nouvel environnement en 1863. Ces résultats rejoignent d'autres données de la littérature sur les espèces forestières transplantées hors de leur milieu d'origine lors de reboisements en Europe au cours des XIX^e et XX^e siècles : ces évolutions seraient principalement dues au tri par sélection naturelle dans l'important réservoir de diversité génétique qui caractérise les peuplements d'arbres forestiers (KREMER, 1994). Plus récemment, depuis la canicule de l'année 2003 et la succession d'années sèches qui ont suivi, on observe sur le mont Ventoux des mortalités par tâches

Photo 1 :
Vue de l'Observatoire du Ventoux à travers la cédraie.
Photo M. Bariteau



2 -
http://www.avignon.inra.fr/les_recherches_1/liste_des_unites/recherches_forestieres_mediterraneennes_urfm

de sapins et de pins sylvestres adultes, ainsi que des dépérissements localisés chez le chêne pubescent. Là encore, les chercheurs trouvent une situation idéale de processus sélectifs « en train de se produire », ouvrant la voie à des approches expérimentales rétrospectives.

De nouveaux programmes de recherche, en réseau, sur le mont Ventoux

A l'heure des nouvelles questions posées à la recherche par le contexte de changement climatique, on réalise encore mieux combien les travaux réalisés dans les années 1960-70 étaient pionniers et combien, en particulier, l'ouvrage coordonné par Paul du Merle

(1978) est devenu aujourd'hui une référence incontournable. L'article de Jean Bonnier (p. 333) montre bien comment ces chercheurs ont ouvert la voie à une histoire de recherche intimement liée au territoire du mont Ventoux. Par chance, certains projets de recherche se poursuivent depuis plusieurs décennies, comme sur les oiseaux par le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE) du CNRS ou sur la vipère d'Orsini par le Centre d'études biologiques de Chizé. D'autres projets en revanche se sont interrompus avec le départ des chercheurs qui portaient les compétences requises, comme sur les fourmis ou les araignées. Les pratiques de recherche tendent à évoluer vers la constitution de collectifs de chercheurs travaillant sur le même projet : même si les projets restent tributaires de financements à court terme, gageons que l'émergence de ces collectifs de chercheurs permettra d'assurer une certaine continuité des travaux.

Depuis les années 1990, une nouvelle génération de projets de recherche sur l'écologie des forêts du Ventoux a vu le jour, impliquant notamment les équipes de l'Unité de recherches forestières méditerranéennes (URFM²) de l'INRA en partenariat étroit avec les services de recherche et développement de l'ONF et en collaboration avec d'autres laboratoires de recherche comme l'Institut méditerranéen d'écologie et de paléocologie (IMEP) du CNRS ou d'autres unités INRA (AgroClim, Climat Sol Environnement). De façon très (trop) schématique, ces nouveaux projets de recherche en écologie peuvent être classés autour de trois axes : l'étude des mécanismes écologiques fondamentaux qui régulent la biodiversité, comme la dispersion (BERTRAND, 2004 ; AMM, 2006) ou la reproduction (RESTOUX *et al.*, 2007) et les dynamiques démographiques (PICHOT, 2005) ; l'étude de l'impact des pratiques de gestion sur la biodiversité, au travers des processus précédents (DREYFUS *et al.*, 2005 ; ODDOU-MURATORIO *et al.*, 2005) ; et l'étude de l'effet des conditions pédo-climatiques sur le fonctionnement des forêts en place et sur les processus de dynamique évolutive de ces écosystèmes (CAILLERET, 2007). On voit bien que la dimension « dynamique » et la connaissance des mécanismes de cette dynamique sont mis en avant. L'article de Philippe Dreyfus (p. 419) en donne une bonne illustration.

Les recherches sur les mécanismes de



dynamique écologique combinent approches expérimentales et modélisation. Les observations faites sur un terrain particulier servent à établir des hypothèses pour construire un « modèle » qui s'appliquera de façon générale à d'autres sites similaires. Les données expérimentales servent aussi à valider, ou infirmer, les hypothèses de travail établies dans le cadre d'un modèle élaboré par ailleurs. Ainsi, les recherches menées dans le cadre du changement climatique sur le mont Ventoux ont-elles une portée bien plus large que le seul site. Un site expérimental à fort potentiel comme le mont Ventoux s'enrichit encore de l'accumulation des recherches qui s'y déroulent. On comprend ainsi mieux la reconnaissance du mont Ventoux comme site d'intérêt par différents réseaux de recherche, nationaux et internationaux.

Par ailleurs, il est clair que les mutations à venir de nos paysages et de notre environnement résulteront de l'interaction de multiples processus écologiques et socio-économiques. Le contexte de changement global nous incite à développer les recherches interdisciplinaires alliant sciences physiques, sciences biologiques, sciences de l'homme et de la société. Ainsi, c'est avec le double objectif de fédérer les recherches sur un nombre limité de sites et de promouvoir l'interdisciplinarité que le programme Environnement-Vie-Société du CNRS avait lancé l'initiative des zones-atelier. Sous l'impulsion de Gilles Bonin de l'IMEP, qui en devint le responsable, un projet « Arrière-pays méditerranéen » fut labellisé dès 2002. Cette zone-atelier était composée d'un pôle Provence, comprenant le mont Ventoux et animé par Michel Bariteau de l'INRA, et d'un pôle Languedoc, animé par Jacques Lepart du CNRS. Ce fut l'occasion de réels échanges entre équipes de recherche d'horizons divers qui ne se côtoyaient pas au préalable et de nouveaux projets de recherche ont émergé de cette initiative, notamment sur le mont Ventoux. Malheureusement, le financement de la zone-atelier prit fin en 2005. Depuis 2006, les équipes travaillant sur le mont Ventoux (INRA-URFM, CNRS-IMEP) ont intégré le Réseau d'excellence européen (un des outils dont s'est doté l'Union pour « structurer l'espace européen de la recherche ») EVOLTREE³ dont les recherches portent sur l'évolution des forêts comme vecteurs de la biodiversité terrestre. Ce réseau, coordonné par l'INRA et regroupant vingt-cinq partenaires



naires dans quinze pays, a sélectionné sept sites d'études intensives représentatifs de l'ensemble des écosystèmes forestiers présents en Europe : le mont Ventoux a été retenu comme l'un des sites fédérateurs, en raison même des caractéristiques rappelées dans l'introduction. A ce titre, de nouvelles équipes de recherche européennes seront amenées à y travailler. A terme, l'ambition est de pérenniser la reconnaissance de ces sept sites sous forme d'observatoires de recherche pour la communauté scientifique européenne travaillant sur la biodiversité terrestre.

Les scientifiques qui travaillent actuellement sur le mont Ventoux sont convaincus des opportunités de recherche offertes sur ce site pour répondre aux questions soulevées par le changement climatique. Ils sont également conscients de la « valeur pour la recherche » acquise par l'accumulation des travaux de recherche antérieurs. L'enjeu est désormais de capitaliser ce patrimoine scientifique et d'assurer la meilleure traçabilité des données pour une éventuelle valorisation future. Ainsi, les nouveaux projets tentent de pérenniser les « placettes » où se déroulent les observations par un repérage précis au GPS afin de pouvoir y revenir à long terme, au-delà de la durée des projets en cours.

Photo 3 :
Dépérissement sur chêne pubescent en versant sud du mont Ventoux.
Photo F.L.

3 - <http://www.evoltree.eu/>

Conclusion : un nouvel enjeu, le partage d'expériences et la mutualisation de l'information

Comme on vient de le voir, l'intérêt du mont Ventoux pour les études à mener dans le cadre du changement climatique vient non seulement de ses caractéristiques environnementales et écologiques, mais aussi de son histoire humaine, sociale et économique. Le développement des connaissances n'est pas l'apanage des chercheurs et le mont Ventoux a certainement vocation à devenir un laboratoire d'études où différents intervenants (habitants, gestionnaires, exploitants, usagers, chercheurs, etc.) partagent leurs expériences. La réserve MAB doit avoir un rôle pivot pour de tels échanges. Sur le plan purement scientifique, le mont Ventoux a montré sa valeur comme site de recherche au niveau international. Il sera nécessaire de relancer les projets interdisciplinaires. Sur le plan technique au niveau du terrain, un premier enjeu sera de pérenniser le patrimoine expérimental accumulé depuis des années, mais cela a un coût : repérage des placettes permanentes, suivis phénologiques, instrumentation du site, acquisition de données externes, etc. Le second enjeu sera la mutualisation de l'information : premier pas dans ce sens, un système d'information sur les métadonnées sera mis en place dans le cadre du réseau européen EVOLTREE (partage de l'information sur les données acquises par le réseau).

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
francois.lefeuvre@
avignon.inra.fr

Cailleret M., 2007. Dendroécologie comparée du sapin pectiné et du hêtre commun le long d'un gradient altitudinal. Master 2 Recherche Fonctionnement et Modélisation des Ecosystèmes terrestres. Université de Bordeaux 1. 34 p.

Courdier J.M., Dreyfus Ph., 2005. Retour du hêtre et du sapin dans les pineraies pionnières de l'arrière-pays méditerranéen. Conséquences pour la gestion et pour la biodiversité. ONF, *Rendez Vous Techniques* ONF (10), 56-62.

Dreyfus Ph., 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. Landreau, GIP-ECOFOR, MAPAR, MEDD, Paris. 142-152

Dreyfus Ph., Pichot C., de Coligny F., Gourlet-Fleury S., Cornu G., Jésel S., Dessard H., Oddou-Muratorio S., Gerber S., Caron H., Latouche-Hallé C., Lefèvre F., Courbet F., Seynave I., 2005. Couplage de modèles de flux de gènes et de modèles de dynamique forestière. *Les Actes du Bureau des Ressources Génétiques* 5, 231-250.

du Merle P. (coord.), 1978. Le massif du Ventoux, Vaucluse. Elements d'une synthèse écologique. *La Terre et la Vie*, supplément 1, 314p.

Fabre J.P., Auger-Rozenberg M.A., Chalon A., Boivin T., Roques A., 2004. Competition between exotic and native insects for seed resources in trees of a Mediterranean forest ecosystem. *Biological Invasions* 6, 11-22.

Fallour, D., 1998. Evolution et structuration spatiale de la diversité du cèdre de l'Atlas sur le petit Luberon : approches écologique, dendroécologique et génétique. Thèse de Doctorat : Université d'Aix-Marseille 3. 291 p.

Kremer, A., 1994. Diversité génétique et variabilité des caractères phénotypiques chez les arbres forestiers. *Genetics Selection Evolution*. 26 : 105s-123s

Oddou-Muratorio S., Musch B., Valadon A., 2005. Pratiques forestières et diversité génétique. *Rendez Vous Techniques* ONF. Hors-série N°1 « Diversité génétique des arbres forestiers », 3-6.

Pichot C., 2005. De la graine à l'arbre. *Rendez Vous Techniques* ONF. Hors-série N°1 « Diversité génétique des arbres forestiers », 89-96.

Restoux G., Klein E., Fady B., 2007. Comment varie la reproduction du sapin (*Abies alba*, Mill.) dans le temps et l'espace. Congrès des Doctorants en Sciences de l'Environnement. Marseille. 13-14 mars 2007.

Bibliographie

Amm A., 2006. Etude de la dynamique du sapin pectiné (*Abies alba* Mill.), en situation méditerranéenne : Modélisation de la dispersion efficace sur le mont Ventoux. Master 2 Recherche Biodiversité et Ecologie Continentale. Université P. Cézanne - Aix-Marseille III. 39 p. + annexes.

Bertrand A., 2004. Dynamique naturelle du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au mont Ventoux. Approche spatio-temporelle et éléments de modélisation. DEA Biosciences de l'Environnement. Université Aix-Marseille III. 35 p. et annexes.