

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 méditerra-

néennes (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, Ia. 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., Bordàcs 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.