



**HAL**  
open science

# Déplacements déjà observés des espèces végétales : quelques cas emblématiques mais pas de migrations massives

Jean-Luc Dupouey, Jeanne Bodin

► **To cite this version:**

Jean-Luc Dupouey, Jeanne Bodin. Déplacements déjà observés des espèces végétales : quelques cas emblématiques mais pas de migrations massives. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2007, hors-série 3, pp.34-39. hal-02653592

**HAL Id: hal-02653592**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02653592>**

Submitted on 11 Jul 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Déplacements déjà observés des espèces végétales : quelques cas emblématiques mais pas de migrations massives

*La seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle a connu une évolution significative du climat, accompagnée de changements observables dans le fonctionnement des couverts végétaux, notamment de leur phénologie. Mais observe-t-on des évolutions de la composition de la végétation ? Quels milieux, quelles espèces sont affectés ? Faisons le point, très concrètement, sur cette question faussement simple, qui introduit la problématique du suivi des effets du changement climatique.*

### Intérêt de l'étude de la végétation dans l'observation des effets du changement climatique

Les végétaux présentent un double intérêt dans l'étude de l'impact du changement climatique. D'une part, ce sont des indicateurs précieux des modifications de l'environnement, telles qu'elles sont perçues par la forêt. Ce rôle bio-indicateur de la végétation est utilisé depuis longtemps pour la typologie des stations forestières par exemple. Il est surtout joué par les espèces du sous-bois, plus nombreuses et moins soumises à la sylviculture que les espèces de la strate arborescente, sous fort contrôle de la gestion forestière. Mais surtout, les végétaux constituent une composante majeure de la biodiversité forestière et, à ce titre, ont une valeur écologique intrinsèque, fournissant services écologiques et réservoir de diversité. C'est évident dans le cas des arbres, espèces « clef de voûte » de l'écosystème forestier, mais c'est aussi le cas des espèces du sous-bois. Ces dernières constituent en effet la majeure partie de la diversité des gènes d'origine végétale présents dans l'écosystème : dans le réseau Renecofor

par exemple, on compte 17 espèces (appartenant à 10 familles) au maximum dans la strate arborescente de la placette la plus riche, contre 130 espèces (appartenant à 68 familles) dans les strates basses. De plus, les espèces du sous-bois peuvent constituer, dans les peuplements ouverts, une part importante des flux d'eau, d'énergie et de nutriments de l'écosystème. La modification de la composition en espèces peut donc affecter de façon importante le fonctionnement et la valeur des écosystèmes forestiers. À ces divers titres, il est nécessaire de connaître le devenir des communautés végétales sous l'impact du réchauffement climatique.

Les modèles d'impact du changement climatique sur l'aire de répartition des espèces forestières prévoient d'importants déplacements des aires potentielles des espèces au cours du 21<sup>e</sup> siècle (Badeau *et al.*, ce volume). La paléoécologie, quant à elle, nous enseigne que les espèces ont vu leur aire de répartition modifiée à l'échelle de l'ensemble de l'Europe dans des périodes de temps de quelques milliers d'années. Au cours des 10 000 der-

nières années par exemple, les actuelles forêts collinéennes du nord de la France ont connu successivement des phases de pelouses puis landes subarctiques, de forêts où ont dominé le bouleau, le noisetier, puis les chênes et l'orme et, enfin, le hêtre. Mais que s'est-il passé au cours du 20<sup>e</sup> siècle ? Observe-t-on déjà des effets du réchauffement climatique sur l'aire de répartition des végétaux ? Comment les mettre en évidence ? C'est à ces questions d'écologie historique que nous apportons quelques éléments de réponse dans cet article.

Quelles sont les caractéristiques de l'oscillation climatique du 20<sup>e</sup> siècle ? On observe un réchauffement global de la planète de 0,7 °C depuis 1850. Mais le réchauffement observé en France est plus élevé, de 0,9 °C au cours du 20<sup>e</sup> siècle (Moisselin *et al.* 2002). Il est plus important pour les températures minimales (+1,2 °C) que pour les maximales (+0,6 °C). Il est moins marqué en hiver que durant le reste de l'année. Mais surtout, ce réchauffement est intervenu en deux phases bien différenciées, au cours de la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle d'une part et depuis le milieu des années 1970 d'autre part. La

tendance des 30 dernières années est ainsi beaucoup plus élevée que sur le siècle entier, de +0,5 °C par décennie. Les pluies montrent une tendance globalement non significative à l'augmentation, plutôt en hiver. On observe enfin une tendance à l'augmentation de l'aridité du climat dans les régions les plus méridionales.

### Comment mettre en évidence les effets du changement climatique sur la répartition des végétaux ?

Pour évaluer l'impact de ce réchauffement sur l'aire de répartition des espèces forestières, il faut pouvoir disposer de données anciennes, relevés de végétation ou herbiers, avec lesquelles on pourra comparer la végétation actuelle. Paradoxalement, alors que la paléoécologie, qui s'intéresse à des périodes plus anciennes, peut s'appuyer sur de nombreuses références palynologiques (pollens) et anthracologiques (charbons de bois) trouvées dans les tourbières ou les sites archéologiques, l'étude de l'évolution de la végétation au cours du dernier siècle se heurte au manque de données de référence. Il existe bien sûr de très nombreux relevés de végétation anciens, faits à l'occasion des typologies de station forestière par exemple. Mais, pour la plupart, ils n'ont pas été réalisés dans l'optique d'un échantillonnage ultérieur. En particulier, ils n'ont pas été localisés avec précision et la végétation n'a pas été relevée de façon exhaustive. Nos prédécesseurs n'avaient malheureusement pas de GPS pour géoréférencer leurs observations ! Les réseaux d'observation *ad hoc* sont de création récente, et la détection des mouvements de végétation y est donc encore très délicate. Les premières observations floristiques systématiques de l'Inventaire forestier national, du réseau de surveillance de

l'état de santé des forêts et du réseau Renecofor datent de 1985, 1993 et 1995 respectivement.

En limite d'aire de répartition, la progression ou la régression des arbres peuvent aussi être étudiées par dendrochronologie, en caractérisant les structures d'âge des populations.

### Premières observations : en montagne et dans les régions boréales

Les observations de déplacement d'espèces végétales dans les plaines et collines de la zone tempérée attribuables au changement climatique sont encore très rares. Dès 1993, Mandin constatait en Ardèche la progression vers le Nord de plusieurs espèces thermophiles méditerranéennes dont la fêrulle commune. Mais l'impact du réchauffement climatique a surtout été recherché dans les montagnes. Non pas que le réchauffement y soit plus fort qu'ailleurs, mais parce que le gradient de température est très fort, en moyenne de 0,6 °C pour 100 m d'altitude, comparé aux plaines françaises où il est environ 1 000 fois plus faible, de l'ordre de 0,5 °C pour 100 km de latitude. L'augmentation de température observée au 20<sup>e</sup> siècle en France correspond donc à une montée des isothermes de 15 m/décennie environ en montagne. En plaine, ce réchauffement correspond, en moyenne sur la France, à un déplacement vers le nord de 36 km, 9 km et 18 km par décennie des isothermes de température minimale, maximale et moyenne, respectivement. Il est donc probable que les espèces puissent suivre de façon plus rapide et refléter de façon plus étroite les changements climatiques en montagne. En plaine, où les forêts sont en outre beaucoup plus morcelées qu'en montagne, de nombreuses espèces ne peuvent se déplacer à cette vitesse.

En 2003, Camille Parmesan et Gary Yohe publiaient dans la revue *Nature* la première synthèse scientifique annonçant l'observation d'effets globaux, généralisés et significatifs du réchauffement climatique en cours sur l'aire de répartition des espèces. L'analyse des déplacements de près de 1 000 espèces animales et végétales montrait un déplacement significatif des limites de leur aire de répartition, évalué à 6,1 km vers le nord, soit 6,1 m en altitude par décennie. Mais qu'en était-il des seuls végétaux ?



J.L. Dupouey, INRA

*Progression en altitude du pin à crochets dans les Pyrénées : déprise pastorale ou réchauffement climatique ? On observe des bouquets d'arbres d'âges décroissants en remontant dans les rhodoraies situées au contact des massifs forestiers.*

En fait, les études analysées dans cette synthèse concernaient principalement les végétaux des régions arctique et antarctique. Dans les régions européennes, un seul travail était pris en compte (Grabherr *et al.*, 1994). Il s'agit du rééchantillonnage à long terme d'une trentaine de sommets alpins, presque tous dépassant 3 000 m d'altitude. Ces rééchantillonnages ont montré dans la majorité des cas (70 %) une augmentation au cours du 20<sup>e</sup> siècle du nombre d'espèces présentes sur ces som-

mets : on observe une pénétration des espèces de l'étage sub-alpin dans cet étage nival, qui est attribuée par les auteurs de cette étude au réchauffement climatique. Mais les études méthodologiques menées dans le réseau Renecofor (Camaret *et al.* 2004) nous ont aussi montré à quel point le nombre d'espèces observées en un site est un paramètre entaché d'une très forte erreur, car fortement variable d'un observateur à l'autre. Dans une même bande de 100 m<sup>2</sup>, les écarts peuvent aller de 70 à 105 espèces pour des observateurs pourtant expérimentés et en condition de test. L'interprétation des variations de la richesse en espèces au cours du temps doit donc rester très prudente.

Plus bas en altitude, au contact des zones forestières, on observe dans de nombreuses régions du monde une forte progression vers le haut de la limite de la forêt. La dendrochronologie, qui permet de caractériser la dynamique de ces populations d'altitude et de dater avec précision l'âge d'installation de chaque arbre, montre que ces recolonisations sont le plus souvent récentes. Mais leur attribution de façon univoque au changement climatique est quasiment impossible, puisque la déprise pastorale dans les montagnes européennes et le réchauffement du 20<sup>e</sup> siècle sont concomitants, et les deux causes sont donc très difficiles à distinguer. Il est d'ailleurs très probable que la diminution de la pression de pâturage ait joué un rôle bien supérieur au changement climatique dans cette fluctuation du niveau supérieur de la forêt. De nombreux indices, phytosociologiques, dendrométriques, historiques ou anthracologiques indiquent que la forêt européenne est actuellement plusieurs centaines de mètres plus bas que sa limite climatique, pour des causes anthropiques. Finalement, peu de sites supra-forestiers permettent

l'étude de l'impact du changement climatique seul. Dans les montagnes de l'Oural, on a pu mettre en évidence une progression de 20 à 40 m entre 1910 et 2000 du mélèze de Sibérie à sa limite altitudinale, alors que l'herbivorie y est supposée sans effet (Shiyatov, 2003). Dans le même temps, l'isotherme de juin-juillet a monté de 120-130 m.

### La progression des espèces laurifoliées

Les études en milieu forestier échappent, pour partie, au problème de l'évolution de la pression de pâturage. La première observation a été faite par Gian-Reto Walther dans les chênaies du piedmont Suisse (2002). Sur le versant sud des Alpes, il a observé par échantillonnage à 30 ans d'intervalle (années 1960 puis années 1990) une forte progression des espèces à feuilles larges et pérennes. Parmi celles-ci, on trouve quelques espèces indigènes, telles que le houx, le lierre, le petit houx ou le daphné lauréole. Mais surtout, on observe l'apparition dans ces forêts d'un cortège important d'espèces introduites : palmier de Chine, laurier-cerise, laurier-sauce, camphrier du Népal (*Cinnamomum glanduliferum*)... L'aspect des forêts en est fortement affecté (photo ci-dessous) ! Ces espèces ont été introduites pour la plupart depuis plus d'un siècle dans les jardins de la région. Mais elles ne se sont répandues dans les forêts que récemment. Walther relie cette expansion des espèces « laurifoliées » à la diminution drastique du nombre de jours de gel observée dans la même région en un siècle : de 75 à 30 jours en moyenne entre la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle et les 3 dernières décennies. Il faut souligner l'intérêt de ces observations : le changement climatique ne favorisera pas que les espèces autochtones et son interaction avec les introductions d'espèces

pourra amener à l'apparition de combinaisons d'espèces très imprévisibles dans nos forêts.



V. Badeau, INRA

Les espèces laurifoliées (ici, palmier de Chine) envahissent les chênaies du piedmont alpin, en Suisse

Cette première observation a été confirmée pour le houx dans d'autres sites, et en particulier dans les zones de plaine. Un rééchantillonnage à 50 ans d'intervalle montre que l'espèce progresse rapidement vers le nord le long des côtes sud de la Suède, à la limite de son aire de répartition actuelle. En France, nous avons pu étudier son évolution dans les quelques départements où l'Inventaire forestier national (IFN) a déjà effectué deux cycles complets d'inventaire (Cluzeau *et al.*, 2001). Ainsi, dans les Ardennes, l'espèce progresse très fortement entre 1987 et 1998, passant de 10 à 21 % de présence dans les relevés floristiques de l'IFN (figure 1). La limite climatique de cette espèce se situe sur l'isotherme -0,5 °C de température moyenne du mois le plus froid de l'année. Dans les Ardennes, cette température du mois le plus froid a progressé de plus de 2 °C entre les deux inventaires, entre les décennies 1978-1987 et 1989-1998, alors qu'elle se situait justement à peine au-dessus de la limite de -0,5 °C lors de la première de ces deux périodes. Roland Carbiener avait déjà observé il y a plusieurs décennies que la dynamique du houx dans les Vosges était fortement liée à l'évolution des gelées. On ne peut exclure aussi le rôle de la sylviculture dans cette progression du

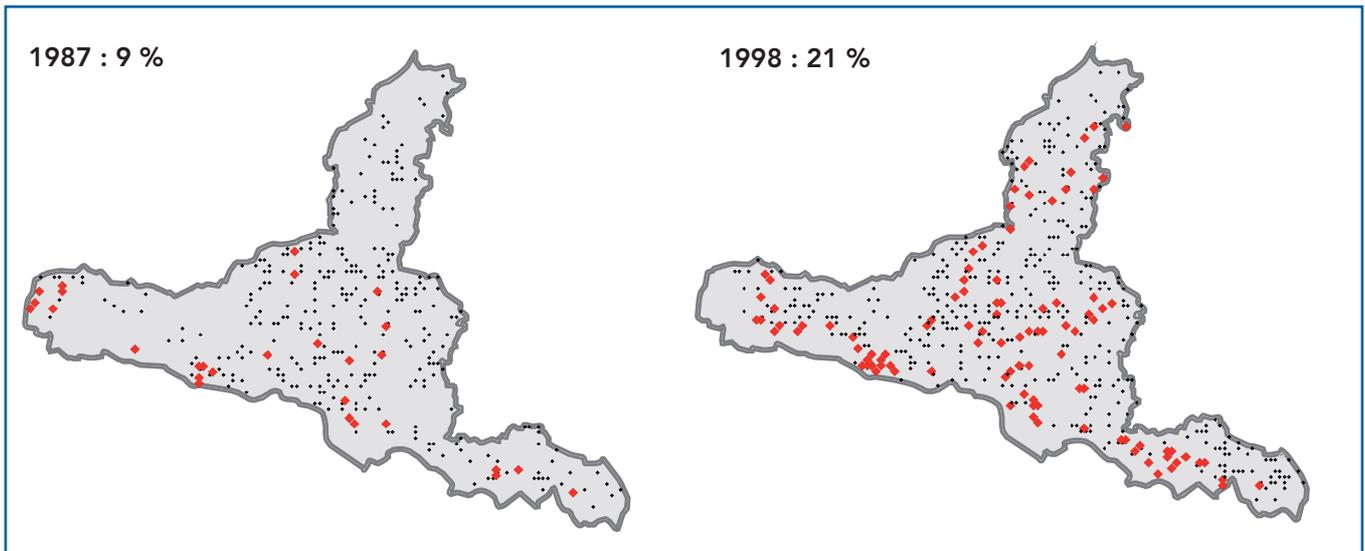


Fig. 1 : progression du houx dans l'Ardenne Primaire entre 1987 et 1998 dans les relevés de l'IFN

Les points noirs indiquent les relevés IFN et les points rouges ceux où le houx est présent.

houx, puisque, en France du moins, cette espèce naguère considérée comme gênante pour le forestier est aujourd'hui nettement favorisée afin d'introduire une certaine diversité dans des peuplements par ailleurs très pauvres en essences.

Le gui, une autre espèce à feuilles pérennes, montre aussi des déplacements d'aire de répartition significatifs. Dans le Valais suisse, Matthias Dobbartin (2005) a montré que cette espèce a progressé sur pin sylvestre de 200 m en altitude, de 1050 à 1250 m, entre 1910 et la fin du 20<sup>e</sup> siècle. Conformément à l'hypothèse d'une mise en équilibre avec le climat, cette progression est parfaitement cohérente avec les modèles connus de limitation du gui par la température du mois le plus froid et par les changements observés de cette température dans le Valais. Le gui, lorsqu'il est présent, entraîne un surcroît de mortalité du pin sylvestre de 10 % environ. Le changement climatique entraîne donc aussi des modifications de l'aire de répartition des parasites des plantes. Là encore, cela conduira à terme à un fort remaniement des combinaisons d'espèces.

Dans les zones plus méridionales de France et d'Europe, les espèces à feuilles caduques de la zone tempérée entrent en contact avec les espèces sclérophylles des forêts méditerranéennes qui pourraient, elles aussi, progresser sous l'effet du réchauffement climatique. Peñuelas et Boada (2003) ont ainsi observé une régression significative des surfaces de hêtraie entre 1945 et 1994 sur le flanc sud du massif de Montseny, en Catalogne, entre 800 et 1 200 m, au profit du chêne vert. Cette disparition s'accompagne de divers symptômes de régression dans les hêtraies encore en place : morcellement des peuplements, faiblesse de la régénération, niveau élevé de défoliation.

### Un changement global dans lequel il est difficile de faire la part des différentes modifications de l'environnement

Dans les étages sylvatiques des Alpes françaises, nous avons mené trois études afin de rechercher d'éventuels impacts des changements climatiques. Dans le Briançonnais, nous avons rééchantillonné un ensemble de 73 placettes à 23 ans d'intervalle, entre

1969 et 1992, stratifié selon les conditions de substrat, altitude et exposition. L'évolution de la végétation montre une progression significative des espèces vers de plus hautes altitudes (Dupouey et al., 1998). Cette évolution est en fait nulle dans l'étage montagnard et très significative dans l'étage subalpin et en particulier sur les versants nord, où elle correspond, ramenée au gradient de température, à une augmentation de 0,09 °C/décennie (figure 2). Il faut noter que ces peuplements subalpins de versant nord sont aussi ceux qui ont subi les changements de pression anthropique les plus faibles au cours de la période étudiée. Dans la vallée de la Maurienne, nous avons refait en 2002 et 2003 un échantillonnage identique à celui mis en place par Charles Bartoli à partir des années 1950 pour l'étude des types de station de cette vallée. La comparaison des deux échantillons montre la progression des espèces nitrophiles et à caractère océanique. Ces deux facteurs sont intimement corrélés et nous ne pouvons pas encore identifier sans ambiguïté le facteur responsable de cette évolution (pollution azotée d'origine autoroutière ou réelle océanisation du climat).

Enfin, nous étudions actuellement l'évolution en 14 ans (1984 à 1998 en moyenne) de la végétation dans les Alpes du Sud au travers des relevés de l'Inventaire forestier national. Sur un total de près de 2000 taxons inventoriés dans 31 000 relevés, 341 espèces présentent une fréquence d'observation supérieure à 50 placettes aux deux dates d'échantillonnage, 227 parmi celles-ci ont une réponse de type « courbe en cloche » à l'altitude, montrant donc une altitude optimale qu'il est possible d'estimer aux deux dates d'échantillonnage. Parmi ces 227 espèces, 177 sont considérées comme identifiées de façon fiable par l'IFN aux deux dates. Sur ces 177 espèces, le déplacement médian en 14 ans est de +21 m, correspondant à un réchauffement de +0,08 °C / décennie (figure 3). Contrairement à ce que nous avons observé en Briançonnais, ce déplacement est surtout visible pour les espèces des étages inférieurs (supra-méditerranéen et montagnard).

### De la nécessité de réseaux d'observation cohérents, fiables et pérennes

En conclusion, nous n'assistons pas encore aujourd'hui à un déplacement massif des espèces végétales forestières sous l'effet du changement climatique en cours. La situation est différente de celle constatée pour la phénologie des plantes, avec un accroissement bien documenté de plus de 10 jours de la durée de saison de végétation au cours des dernières décennies (Seguin et al., ce volume). Certains indices, souvent encore ambigus, vont bien dans le sens d'une pression accrue des variations du climat sur la dynamique des communautés végétales. Mais les déplacements observés sont souvent inférieurs à ce qu'on pourrait attendre à partir de simples calculs de rééquilibrage avec les variations du climat. Ce fait est à relier au constat que les espèces herbacées forestières ont,

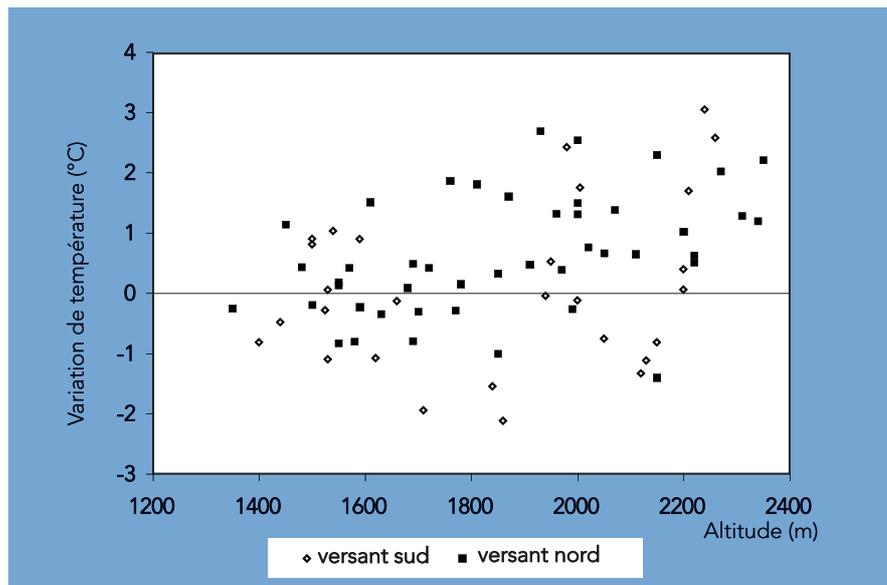


Fig. 2 : estimation des modifications de température indiquées par les changements de végétation entre 1969 et 1992 dans les forêts du Briançonnais. En abscisse, altitude mesurée des 73 relevés de végétation échantillonnés. En ordonnée, déplacement altitudinal de la végétation en 23 ans, calibré en équivalent température (°C/siècle), à partir du gradient vertical de 0,6 °C/100 m.

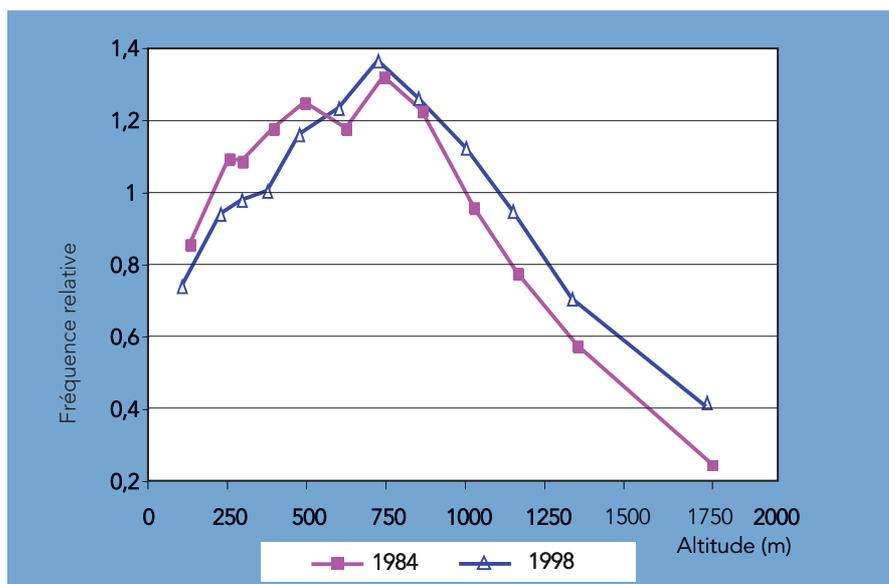


Fig. 3 : déplacement altitudinal de la germandrée petit chêne, une espèce forestière commune, dans la région PACA entre 1984 et 1998, d'après les données de l'IFN

En ordonnée : fréquence relative de l'espèce par rapport à sa fréquence moyenne d'observation à chaque date (28 % en 1984 et 40 % en 1998).

du moins pour celles de forêts anciennes, des capacités de dispersion très faibles (Dupouey et al., 2002). Il faut donc s'attendre logiquement à ce que la dynamique des communautés végétales, même en montagne, ne suive celle du climat qu'avec un temps de latence plus ou moins long. Les

espèces semblent ne pas toutes avoir réagi de la même façon. En accord avec leurs traits d'histoire de vie, les espèces lauriphyllées en particulier seraient favorisées par le réchauffement climatique, puisque la pérennité des feuilles leur permet d'assimiler le carbone dès que la chaleur est suffisante.

L'écologie historique est là face à deux difficultés majeures : disposer de données anciennes fiables et adéquates d'une part et séparer le signal climatique des autres facteurs de changement dans les évolutions observées. Le changement climatique intervient en effet en même temps que d'autres évolutions drastiques de l'environnement forestier : évolution de l'acidité des pluies, des niveaux de dépôts azotés (Dupouey *et al.*, 1999), accroissement du volume sur pied des peuplements forestiers, progression des forêts sur abandons culturels en plaine et zones de déprise pastorale en montagne, intensification de la sylviculture (tassement du sol lié à la mécanisation croissante, augmentation de la densité du réseau de routes forestières...), introduction d'espèces. Il ne faut pas s'y tromper, ces facteurs réunis ont très certainement joué, jusqu'à maintenant, un plus grand rôle que le changement climatique dans la dynamique de la végétation. Seule la maintenance dans le long terme de réseaux de suivi de la végétation de plus en plus cohérents et fiables (Renecofor, réseau 16 km x 16 km, IFN, réseau du Département de la Santé des Forêts) permettra de mesurer et comprendre les effets réels du changement climatique sur la dynamique de la végétation forestière. À ce dispositif déjà existant, il faudrait idéalement pouvoir ajouter le suivi spécifique des populations ou espèces en limite de leur aire de répartition, en plaine et en montagne.

**Jean-Luc DUPOUEY**

**Jeanne BODIN**

Équipe Phytoécologie forestière  
UMR Écologie et Écophysologie  
forestières

INRA Champenoux  
dupouey@nancy.inra.fr

## Bibliographie

CAMARET S., BOURJOT L., DOBREMEZ J.F., BRÊTHES A., COQUILLARD P., CORRIOL G., DUMÉ G., DUPOUEY J.L., FORGEARD F., LEBRET M., GUEUGNOT J., PICARD J.F., SCHMITT A., TIMBAL J., ULRICH E., 2004. RENECOFOR - Suivi de la composition floristique des placettes du réseau (1994/95-2000) et élaboration d'un programme d'assurance qualité intensif. Fontainebleau : ONF Direction technique. 86 p.

CLUZEAU C., DRAPIER J., VIRION R., DUPOUEY J.L., 2001. Changements à long terme de la végétation forestière : apport des données de l'IFN. Rapport Projet GIP-ECOFOR « Forêt et Modifications de l'Environnement ». Paris : GIP-ECOFOR. 36 p. + ann.

DOBBERTIN M., HILKER N., REBETZ M., ZIMMERMANN N.E., WOHLGEMUTH T., RIGLING A., 2005, The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album ssp. austriacum*) in Switzerland - the result of climate warming? *International Journal of Biometeorology*, vol. 50, n° 1, pp. 40-47

DUPOUEY J.L., BECKER M., BERT D., CADEL G., LEFÈVRE Y., PICARD J.F., THIMONIER A., 1998. Évolution récente des sols, de la végétation et de la productivité des forêts de montagne françaises. *Écologie*, vol. 29, n° 1-2, pp. 341-349

DUPOUEY J.L., THIMONIER A., LEBOURGEOIS F., BECKER M., PICARD J.F., TIMBAL J., 1999. Changements de la végétation dans les forêts du Nord-Est de la France entre 1970 et 1990. *Revue Forestière Française*, vol. 51, n° 2, pp.219-230

DUPOUEY J.L., SCIAMA D., KOERNER W., DAMBRINE E., RAMEAU

J.C., 2002. La végétation des forêts anciennes. *Revue Forestière Française*, vol. 54, n° 6, pp. 521-532

GRABHERR G., GOTTFRIED M., PAULI H., 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature*, vol. 369, n° 6480, p. 448

MANDIN J.P., 1993. Progression actuelle d'espèces méditerranéennes vers le nord : le cas de *Ferula communis* L. *subsp. glauca* (L.) Rouy et Camus en Ardèche (France). *Acta Botanica Gallica*, vol. 140, pp. 81-90

MOISSELIN J.M., SCHNEIDER M., CANELLAS C., MESTRE O., 2002. Les changements climatiques en France au XXe siècle : étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, n° 38, pp. 45-56. <en ligne : <http://www.smf.asso.fr/Ressources/Moisselin38.pdf>>

PEÑUELAS J., BOADA M., 2003. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, vol. 9, n° 2, pp. 131-140

PARMESAN C., YOHE G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, vol. 421, n° 6918, pp. 37-42

SHIYATOV S.G., 2003. Rates of change in the upper treeline ecotone in the Polar Ural mountains, 2002. *Past Global Changes News*, vol. 11, n° 1, pp. 8-10. <en ligne : <http://www.pages.unibe.ch/cgi-bin/WebObjects/products.woa/wa/product?id=3>>

WALTHER G.R., 2002. Weakening of climatic constraints with global warming and its consequences for evergreen broad-leaved species. *Folia Geobotanica*, vol. 37, n° 1, pp. 129-139