

Évolution récente de la répartition géographique des plantes émettrices de pollen allergisant et perspectives en liaison avec le changement climatique

The geographical distribution of the plants producing allergenic pollen: recent trends and perspectives in accordance with climate change

Jean-Pierre BESANCENOT⁽¹⁾, Michel THIBAUDON⁽¹⁾

Résumé

Les effets du changement climatique sur les allergènes aéroportés et, par suite, sur les maladies allergiques ont été étudiés par de nombreux auteurs. Si l'on met à part l'impact direct, extraclimatique, du CO₂ sur la croissance végétale, les principaux points abordés dans ces publications concernent les changements (1) dans la chronologie et la durée de la saison pollinique, (2) dans la production et les concentrations atmosphériques de pollen, (3) dans le contenu des grains de pollen en allergènes, et (4) dans la distribution spatiale des plantes allergisantes ou la dispersion de leur pollen. Un assez large consensus existe désormais sur les deux premiers points, de même que sur le troisième dans le cas particulier du bouleau et de l'ambrosie, mais le quatrième soulève bien des interrogations. Assurément, le changement climatique pourrait en théorie faciliter la diffusion de certaines espèces végétales hors des régions où elles étaient jusque-là présentes. Toutefois, en pratique, les plantes ne suivent pas automatiquement, et surtout pas immédiatement, « leur » climat. Il est important de ne pas confondre les niches écologiques potentielles, optimales et « réalisées ». Les simulations effectuées ici ou là ne sont pas des prévisions, et de grosses incertitudes subsistent d'autant que, par ses plantations agricoles ou d'ornement, l'homme peut perturber profondément les tendances naturelles.

Mots-clés

Végétation, pollen, aire de distribution, changement climatique, allergie.

Abstract

The impacts of climate change on aeroallergens and the resulting impacts on allergic diseases have been explored by many authors. Leaving aside the direct, extra-climatic effect of CO₂ on plant growth, the key points contained in those publications relate to changes (1) in the timing and length of pollen season, (2) in pollen production and atmospheric pollen concentration, (3) in the allergen content of the pollen grains, and (4) in the spatial distribution of allergenic plants or the dispersion of their pollen. A rather broad consensus emerged on the first two points, as well as on the third one, in the specific instance of birch and ragweed; but there remain many unknowns regarding the fourth point. Theoretically climate change might facilitate the spatial spread of particular plant species to new areas, which become climatically suitable for them. But, in practice, plants are not automatically and certainly not immediately following "their" climate. It is important not to confuse the potential, optimal and "achieved" ecological niches. Simulation is not forecasting: big uncertainties continue to exist and even more so because humans can profoundly alter the natural trend through agricultural or ornamental planting.

Keywords

Vegetation, pollen, distribution area, climate change, allergy.

(1) Réseau national de surveillance aérobiologique RNSA, Le Plat du Pin, 69690 Brussieu.

Introduction

Parmi les possibles impacts sanitaires des changements climatiques observés ou annoncés, la modulation et l'amplification du rôle des allergènes aéroportés (spores de moisissures, pollens...) suscitent de réelles inquiétudes, avec cette particularité que la menace ne se borne pas alors à un avenir plus ou moins lointain, comme cela est en général le cas pour les risques infectieux ou parasitaires, mais semble d'ores et déjà décelable. C'est surtout sur les pollens qu'a été jusqu'à présent étudiée l'influence du réchauffement en cours, avec des tentatives de projection de cette dynamique en direction d'un futur plus ou moins lointain [1-6]. En dehors de l'effet direct, extraclimatique, du dioxyde de carbone, cinq points sont régulièrement abordés dans ces publications :

1. la chronologie de la saison pollinique, avec une tendance assez générale à une plus grande précocité du début de pollinisation ;
2. la durée de la saison pollinique, qui tend à s'allonger ;
3. l'abondance du pollen émis par la végétation et se retrouvant en suspension dans l'air, avec une tendance dominante à l'augmentation, par-delà une assez forte variabilité interannuelle ;
4. le potentiel allergisant de ce pollen, autrement dit sa teneur en allergènes qui irait croissant ;
5. enfin, les modifications introduites ou attendues dans la répartition spatiale de diverses espèces de plantes.

Un assez large consensus commence à se dessiner sur les trois premiers points, ainsi que sur le quatrième si l'on s'en tient aux cas du bouleau et de l'ambrosie. Nous n'y reviendrons donc pas ici. Au contraire, en ce qui concerne la modification de l'aire de répartition de certaines plantes et l'évolution vers une « nouvelle » géographie des pollens, bien des inconnues demeurent, et un rapide survol de la littérature montre que, d'un auteur à l'autre, les positions peuvent être très divergentes. C'est donc sur ce seul aspect chorologique⁽²⁾ que porteront les réflexions qui suivent, lesquelles ne prétendent nullement clore le débat, mais simplement souligner la difficulté du sujet et l'inanité de certains raisonnements.

Une vision théorique

En théorie, les choses sont claires. On sait que le climat joue un rôle de premier plan dans la répartition des formations végétales, et que la végétation représentée sans doute le meilleur intégrateur climatique, en ce sens que chaque espèce ou chaque commu-

nauté végétale ne peut se développer qu'entre des seuils qui définissent les *limites de tolérance* de la plante [7]. Les géographes enseignent ainsi depuis longtemps que c'est l'olivier qui, par ses exigences écologiques, permet le mieux de délimiter les régions de climat méditerranéen. Soit dit au passage, il est assez paradoxal de choisir pour cette délimitation une espèce cultivée, mais cela nous entraînerait trop loin.

De toute manière, les limites des aires de distribution des différents taxons⁽³⁾ ne sont pas fixées une fois pour toutes. Elles fluctuent sous l'effet des variations continues de multiples facteurs, tantôt intrinsèques comme la capacité de propagation ou le potentiel évolutif des plantes, tantôt extrinsèques comme le climat, le sol, l'apparition de parasites ou de prédateurs, la compétition avec d'autres taxons, etc. On peut donc imaginer qu'un changement climatique facilite l'introduction d'une espèce dans un milieu où elle était jusque-là absente ; il peut aussi amener sa disparition d'une région où elle était présente, si les nouvelles conditions climatiques lui imposent un effort d'adaptation disproportionné à sa capacité de résistance [8]. Une autre répercussion envisageable, sans doute plus fréquente, concerne la modification de la densité, une espèce rare devenant abondante lorsqu'elle bénéficie de conditions plus favorables, et réciproquement. D'où des phénomènes d'expansion, de régression et d'extinction.

Or le climat évolue : en France, l'augmentation de la température moyenne au cours du xx^e siècle a été de l'ordre de 0,9 °C, avec une nette accélération sur la dernière décennie de ce siècle et sur la première du suivant [9]. Si l'on en croit le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la tendance est appelée à perdurer, et sans doute à s'amplifier [10], quoique dans une mesure variable selon l'hypothèse privilégiée pour l'évolution socio-économique et technologique à venir, donc pour les émissions de gaz à effet de serre. Différents scénarios ont ainsi été élaborés. On privilégiera ici l'un d'entre eux, baptisé « A2 », relativement pessimiste mais désormais considéré comme assez réaliste, puisqu'il postule une croissance de type exponentiel, avec un triplement d'ici à 2100 de la concentration de gaz à effet de serre par rapport à la valeur préindustrielle. Dans cette hypothèse, sur le territoire de la France métropolitaine, les températures moyennes hivernales augmenteraient au xx^e siècle de 1 à 2 °C au nord-ouest d'une ligne Bayonne-Lille, et de 2 à 3 °C partout ailleurs. En été, le réchauffement serait inférieur à 4 °C en façade atlantique, ainsi que sur le Nord et le Nord-Est, mais compris entre 4 et 5 °C sur le reste du pays, voire localement entre 5 et 6 °C [11, 12]. Or un relèvement de 1 °C de la température moyenne annuelle « équivaut », du point de vue thermique

(2) La chorologie est la science qui étudie la délimitation des aires de distribution géographique des espèces et des autres unités taxonomiques, ainsi que l'évolution dans le temps de cette répartition et les facteurs qui conditionnent cette évolution.

(3) Un taxon est un groupe d'organismes vivants constituant une unité systématique d'un niveau hiérarchique donné (variété, espèce, genre, famille, ordre, classe, embranchement...) et qui ont certains caractères communs. Le terme est surtout utilisé pour l'espèce ou la sous-espèce. La science qui étudie les taxons est la taxonomie ou taxonomie.

mais pas nécessairement pour d'autres aspects du climat, à un déplacement d'environ 200 km vers le nord ou à une remontée d'environ 150 m en altitude. La question se pose donc de savoir si, à partir de là, il est raisonnable d'avancer le postulat d'une migration quasi généralisée des espèces [13]. Un réchauffement de 3,5 °C, plausible pour le XXI^e siècle, vaudrait alors au nord de la Lorraine, d'ici à une petite centaine d'années, des températures qui sont actuellement celles de la Provence. Mais cela signifie-t-il que l'olivier va remonter aux portes du Luxembourg ?

Certains franchissent allègrement le pas, en déclarant que l'évolution du climat a déjà modifié la distribution spatiale des pollens, et présentent comme « une évidence » le fait que le phénomène va se poursuivre [14]. D'autres vont encore plus loin, en faisant remarquer que les Pays-Bas ont enregistré, en 2006-2007, des températures qui étaient celles de la France entre 1961 et 1990, ce qui fait par exemple que le climat de Lyon règnerait dorénavant sur Utrecht (figure 1). La végétation étant en train de « suivre » l'évolution du climat, proposition toutefois plus affirmée que démontrée, les auteurs concluent qu'avant la fin du XXI^e siècle, les plus gros risques allergiques sur le territoire néerlandais seront imputables aux pollens d'ambrosie⁽⁴⁾ et d'olivier qui auront ainsi, et de loin, supplanté les graminées et le bouleau, au point de devenir quasiment les deux seuls taxons « à risque » [15]. De même, sur le continent nord-américain, une publication récente honorée du label des plus hautes autorités sanitaires et environnementales [3] fait état, à échéance de 50 ou 100

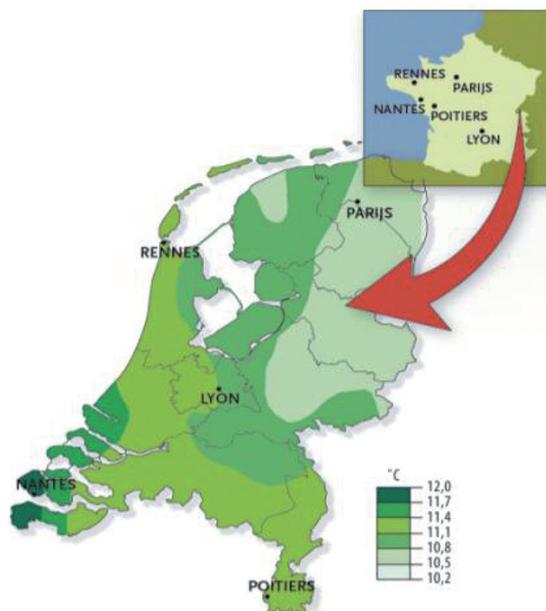


Figure 1.

Évolution récente du climat, vue par des allergologues néerlandais. Source : [13].
Recent climate evolution as seen by Dutch allergists.

ans, de la disparition « possible ou probable » de différents pollens, dont certains sont aujourd'hui impliqués dans de nombreuses allergies, et de leur « remplacement » par d'autres taxons, dont le potentiel allergisant n'est pas moindre (comme le genévrier occidental, *Juniperus occidentalis*, dans le centre de l'Oregon) – de sorte que le risque allergique resterait peut-être quantitativement identique, mais présenterait une forte évolution qualitative.

Qu'en est-il vraiment ? Une évolution est-elle déjà observable [16] ? Et à quoi faut-il s'attendre dans l'avenir ?

L'évolution déjà observable

Compte tenu notamment de leur forte variabilité interannuelle et de la relative brièveté des séries disponibles, les comptes polliniques effectués en routine par les réseaux de surveillance aérobiologique [17] ne peuvent pas encore être utilisés pour détecter une éventuelle modification de la répartition spatiale des plantes émettrices. Force est donc de s'en remettre à des approches indirectes.

Pour le passé récent, l'une des études les plus solides à l'échelle de la France est sans doute celle du programme Climfourrel [18]. Depuis 1980, le climat méditerranéen (figure 2) aurait progressé de 70 à 100 km vers le nord et l'ouest, si bien que des villes comme Toulouse, Millau et Montélimar doivent désormais être considérées comme « méditerranéennes ». D'un point de vue strictement climatique, le constat paraît indiscutable. En est-il cependant résulté un déplacement significatif de certaines espèces végétales ? Le sous-titre de l'article de Dupouey et Bodin [19] reflète bien la réalité : « quelques cas emblématiques mais pas de migrations massives ». Parmi les espèces à pollen modérément ou fortement allergisant, la seule évolution significative concerne l'olivier (*Olea europea*), dont Donzère a longtemps marqué la limite nord de culture. Or, au cours des trois dernières décennies, cette limite est légèrement « remontée » à la hauteur du défilé de Cruas, au nord de Montélimar, ce qui ne représente cependant pas un déplacement supérieur à une vingtaine de kilomètres... Quelques autres espèces thermophiles méditerranéennes ont également un peu progressé vers le nord en Ardèche [20], notamment la férule commune (*Ferula communis*), qui est une apiacée entomophile, toxique mais non allergisante en dehors de dermatites de contact rares, mais parfois sévères.

Hors des franges méditerranéennes, un cas exemplaire est celui du houx (*Ilex aquifolium*), espèce à affinités méditerranéo-atlantiques qui dépérit et, souvent, disparaît quand la température moyenne du mois le plus froid descend au-dessous de -0,5 °C. Dans les Ardennes, la moyenne a tourné jusqu'en

(4) Le cas de l'ambrosie ne sera pas développé ici, dans la mesure où les spécialistes s'accordent à considérer que les facteurs anthropiques jouent dans sa dissémination un rôle très supérieur à celui du climat.

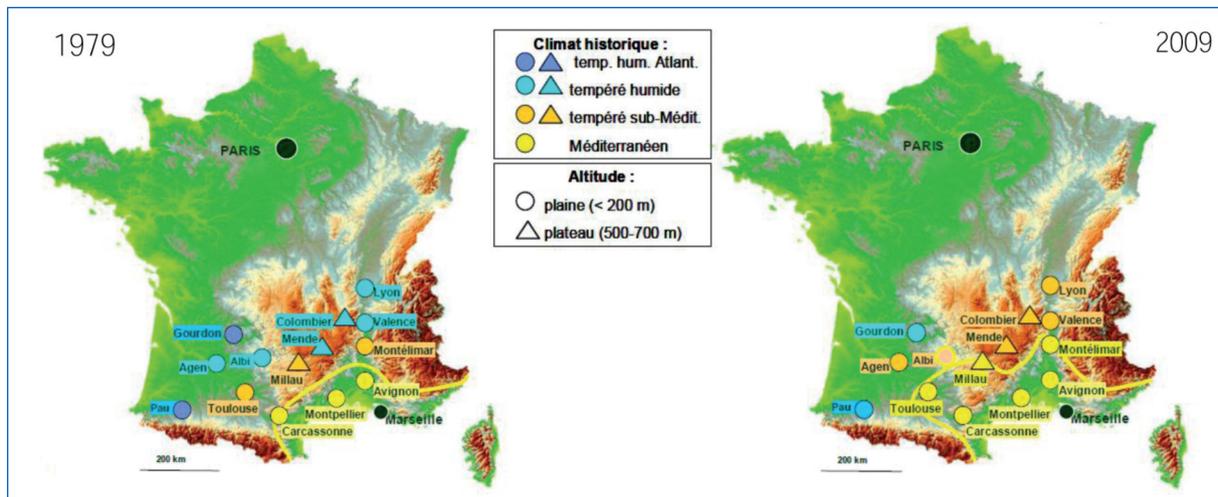


Figure 2.

Déplacement de la limite nord du climat méditerranéen en France, de 1979 à 2009.

Source : <http://climfouriel.agropolis.fr/>

The shift of the north limit of the Mediterranean climate in France, from 1979 to 2009.

1987 autour de ce chiffre. Depuis lors, elle s'est élevée d'un peu plus de 2 °C, ce qui en fait un des réchauffements hivernaux les plus forts de France. La répercussion sur la végétation a été presque immédiate : en seulement douze ans, de 1987 à 1998, la densité du houx, évaluée à partir des relevés floristiques de l'Inventaire forestier national et du Conservatoire botanique, a plus que doublé – et, depuis 1998, la tendance se poursuit. Des constats très voisins ont été faits dans les Vosges, en Alsace et en Suisse sur le piedmont alpin, où le nombre annuel de jours de gel est tombé de 75 à 30 entre la première moitié du xx^e siècle et les trois dernières décennies [19]. Il serait néanmoins abusif de tout attribuer au réchauffement des hivers : le houx, naguère jugé gênant et volontiers détruit par les forestiers, est aujourd'hui favorisé afin d'introduire une certaine diversité dans des peuplements par ailleurs très pauvres en essences. Il ne faut jamais perdre de vue le caractère éminemment *multifactoriel* de l'évolution de la végétation.

Les projections dans le futur

À partir d'un petit nombre d'observations comme celles que l'on vient d'évoquer, et du lien ainsi suggéré entre évolution du climat et évolution de la végétation, des modèles plus ou moins complexes ont été mis au point pour simuler ce que pourrait être dans l'avenir la réaction des principaux écosystèmes aux changements climatiques. La première tentative a, semble-t-il, été réalisée au Montana en 1976. Beaucoup d'autres ont suivi, l'une d'entre elles au moins s'étant focalisée sur les espèces au plus fort potentiel allergisant [21]. Mais il a fallu attendre l'an 2000 pour enregistrer des progrès décisifs, largement dus à l'utilisation de techniques statistiques performantes et de systèmes sophistiqués de géoréférencement (GPS, SIG...). Lorsque, dans les plus

robustes de ces simulateurs, on remplace les variables climatiques actuelles par celles attendues pour le milieu ou la fin du xxi^e siècle, on obtient des cartes de ce que pourrait être l'état de la végétation dans 50 ou 100 ans, selon que la température moyenne aura augmenté de 1, 3 ou 6 °C. De telles simulations, appliquées au territoire métropolitain français, attirent l'attention sur une évolution saisissante de la distribution potentielle de certains arbres ou de certaines herbacées : qu'ils soient naturels ou cultivés, les écosystèmes méditerranéens et aquitains subirait une progression d'ensemble vers le nord et pourraient quitter leur bassin d'origine, pour se développer dans les actuelles régions « tempérées fraîches », comme la moitié nord de la France, au détriment des influences océaniques, continentales et montagnardes.

Ainsi, dans le cadre du programme Carbofor [22-24], les chercheurs de l'INRA-Nancy ont caractérisé les aires actuelles de répartition de différentes essences ligneuses, puis calculé par régression leurs aires climatiques potentielles, en recherchant pour chacune des espèces retenues le modèle statistique qui explique au mieux sa présence ou son absence, à partir des différentes variables climatiques disponibles. Les modèles de répartition des essences étant connus, les auteurs ont ensuite remplacé les variables climatiques actuelles par leurs valeurs moyennes futures, déterminées pour les périodes 2020-2049 et 2070-2099 à partir des sorties du scénario ARPEGE-B2 de Météo-France. Les résultats obtenus laissent présager une nette extension de l'aire du chêne vert (*Quercus ilex*), qui a besoin d'une assez grande chaleur estivale, doublée d'un ensoleillement généreux, alors qu'il ne supporte ni les fortes amplitudes thermiques annuelles ni des jours de gel trop fréquents. Sa « niche climatique », aujourd'hui strictement inféodée au domaine méditerranéen, pourrait dès 2050 dépasser une ligne

Bordeaux-Saint-Étienne et franchir la Loire avant 2100 (figure 3a). Une évolution très voisine caractériserait nombre d'espèces méditerranéennes, que leur pollen soit fortement allergisant, comme l'olivier (*Olea*) et le cyprès de Provence (*Cupressus sempervirens*), ou qu'il ne le soit quasiment pas, comme le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et le pin parasol (*Pinus pinea*).

À l'inverse, l'aire de répartition potentielle du hêtre commun (*Fagus sylvatica*), essence de plaine dans le nord de son domaine et plutôt de montagne vers le sud, pourrait se rétracter notablement d'ici à une centaine d'années et disparaître de tout ou partie du quart sud-ouest du pays (fig. 3b), où l'on a commencé à constater une dégradation de la régénération naturelle [25], du fait de la conjonction de températures

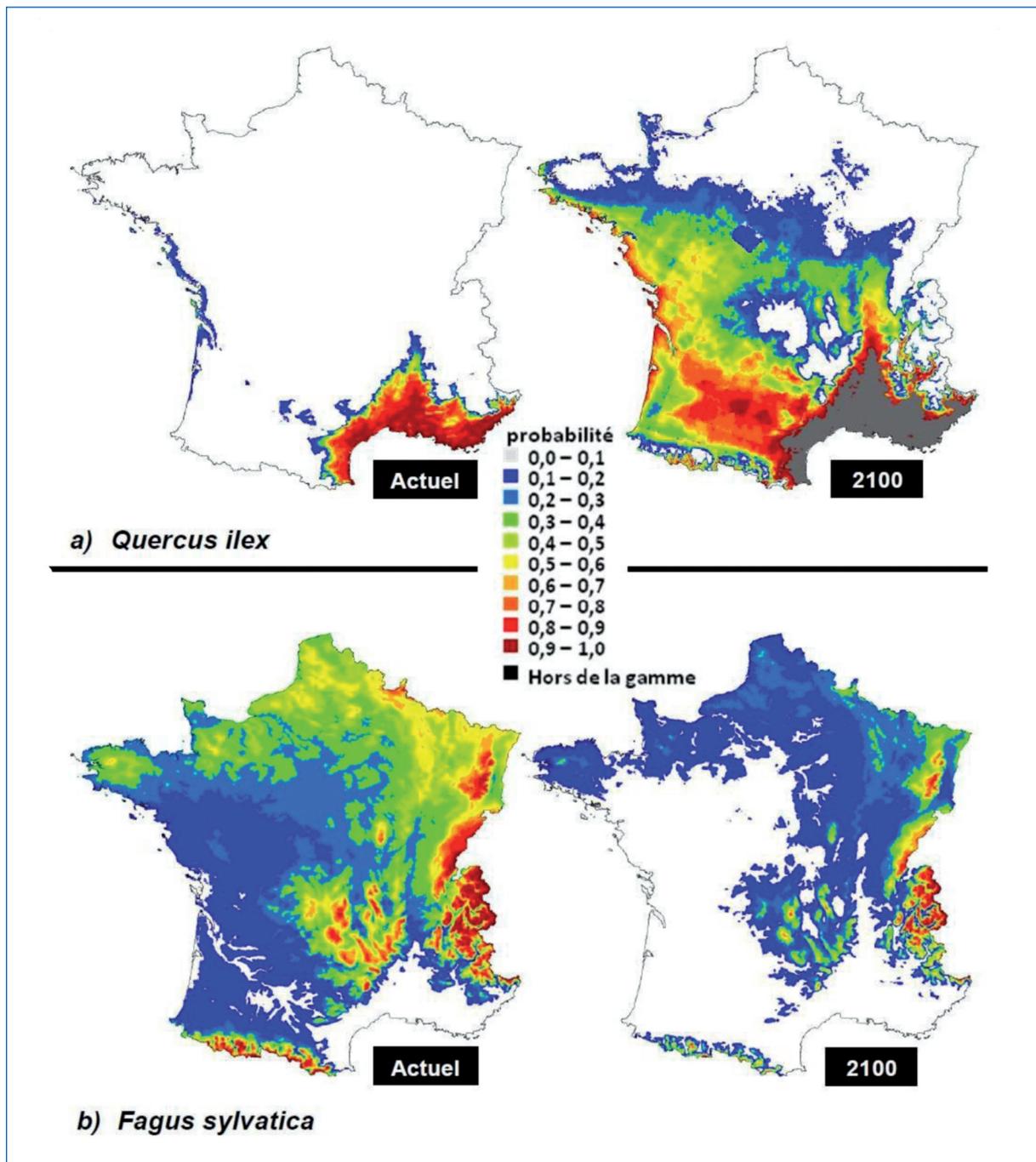


Figure 3.

Contours des aires potentielles de distribution de *Quercus ilex* (chêne vert, a) et de *Fagus sylvatica* (hêtre commun, b) en France, entre la période actuelle et la fin du xxi^e siècle. Les probabilités d'occurrence sont exprimées dans une échelle de 0 (présence totalement exclue) à 1 (présence certaine). Source : projet Carbofor.

Potential distribution areas of *Quercus ilex* (holly oak, a) and *Fagus sylvatica* (common beech, b) in France, between the current period and the end of the 21st century. The probabilities of occurrence are recorded using a scale which runs from 0 (presence totally excluded) to 1 (presence absolutely certain).

estivales en hausse et de précipitations en baisse. Cet arbre réclame en effet une lame d'eau moyenne annuelle d'au moins 700 mm. Avec quelques nuances, la même tendance pourrait affecter la plupart des espèces montagnardes, comme le mélèze (*Larix*), le sapin (*Abies*) et l'épicéa (*Picea*).

Nous pourrions donc assister à de profondes modifications des spectres polliniques régionaux, malgré un scénario plutôt « optimiste » de l'évolution du climat au cours du siècle à venir. En effet, le modèle utilisé prévoit une élévation thermique de 2,5 °C en moyenne d'ici à 2100, alors que la gamme de variation de l'ensemble des modèles actuellement disponibles s'étend de 1,5 à 6,0 °C.

Discussion

Il convient toutefois de préciser que les simulations ainsi réalisées ne sont pas des prévisions. Elles doivent être considérées comme de « simples scénarios sans valeur prédictive » [22] et comportent de multiples incertitudes.

Une première série d'arguments qui doit nous inciter à la prudence tient au comportement de la végétation, à commencer par son inertie. C'est une évidence que les plantes, enracinées dans le sol, n'ont pas la mobilité de la plupart des animaux. Quand les conditions deviennent moins favorables, voire défavorables à leur développement, elles ne peuvent compter que sur la dispersion de leurs semences comme moyen de déplacement vers de nouvelles zones. N'oublions pas qu'il a fallu environ 2 000 ans aux chênes pour coloniser la France, du sud vers le nord, lors du réchauffement qui a suivi la dernière glaciation, il y a environ 10 000 ans [26]. Dès lors, quelle sera la capacité des végétaux actuels à migrer pour coloniser de nouvelles niches climatiques à un pas de temps n'excédant pas quelques dizaines d'années ? Seront-ils capables de s'adapter à la compétition avec de nouvelles espèces ? Quels seront les équilibres avec les nouveaux cortèges de pathogènes, de parasites et d'insectes ravageurs ? Ainsi, pour les rouilles du peuplier, une augmentation de 1 °C conduit à une avancée de 11 jours de la date des premières infections, ce qui se traduit par une augmentation de 30 % de la proportion de tissus malades chez l'arbre. En outre, quel rôle jouera la variabilité génétique ? Pour toutes ces raisons, la prévision de l'issue exacte du changement climatique est encore hors de notre portée scientifique. Les modifications des écosystèmes ne seront pas forcément linéaires [27]. Des effets de seuil sont à prévoir, entraînant après de longues périodes de latence des risques d'accélération brutale, d'emballlement, mais quand et au-delà de quels seuils ? De surcroît, si la plupart des scientifiques s'accordent pour envisager un déplacement des aires de répartition potentielle vers des zones aujourd'hui plus fraîches, l'amplitude de ces déplacements ne doit en aucun cas être surestimée. Les végétaux ne suivent pas nécessaire-

ment, et en tout cas pas immédiatement, « leur » climat. En s'appuyant sur ce qui s'est passé à la fin de la dernière période glaciaire, le Muséum d'Histoire Naturelle de New York a pu estimer qu'entre 2050 et 2100, même dans l'hypothèse du réchauffement le plus fort évoqué par le GIEC, soit environ 6 °C, 38 à 52 % des végétaux conserveraient exactement la distribution spatiale qu'ils ont aujourd'hui [28]. Pour des espèces à long cycle de vie comme les arbres, la migration « naturelle » (et il faut insister sur ce qualificatif) ne dépasserait qu'exceptionnellement quelques dizaines de kilomètres vers le nord ou une centaine de mètres en altitude [29]. Au mieux ou au pire, la translation pourrait atteindre la centaine de kilomètres pour un très petit nombre d'herbacées à cycle court. Le « potentiel écologique » ne doit pas être confondu avec l'évolution prévisible de la végétation : on y reviendra. Cela étant, il ne faut pas dissimuler que, par ses plantations agricoles ou d'ornement, l'homme est capable de modifier la répartition des espèces et d'anticiper largement l'évolution naturelle, en facilitant des « migrations assistées ».

On passera beaucoup plus rapidement sur les autres sources d'incertitude :

- Fussent-elles estampillées GIEC, les prédictions relatives à l'évolution du climat à échéance séculaire sont toujours entachées de nombreuses imprécisions, liées pour une part au caractère chaotique de l'évolution du système climatique et pour une autre part, probablement majoritaire, aux inconnues relatives aux choix économiques, sociaux et politiques qui seront faits pour atténuer un phénomène désormais avéré [30].
- Le climat ne saurait se réduire à la température, même si celle-ci est à bien des égards « le moteur » du développement des plantes [31]. Certes, les modèles intègrent quantité d'autres paramètres (précipitations, évapotranspiration potentielle, humidité du sol, etc.), mais leur simulation est encore plus imprécise que celle de la température. En outre, force est de reconnaître que l'impact de ces autres paramètres sur la végétation est encore mal cerné, surtout si l'on veut intégrer plusieurs variables dans un même modèle.
- Les simulations sont encore incapables de prendre en compte un bon nombre de facteurs extraclimatiques, ou seulement liés de façon indirecte au climat, qui peuvent pourtant jouer un rôle décisif, tantôt limitant et tantôt favorisant, sur la migration de diverses espèces. Qu'il suffise d'évoquer le rôle des insectes ravageurs (chenille processionnaire du pin et du chêne...), de certains xylophages, des bactéries et des champignons, mais aussi les choix des sociétés en termes de gestion du milieu « naturel ».
- Enfin, et à d'infimes exceptions près, il n'est pas réaliste (figure 4) d'imaginer les aires de répartition des différentes espèces comme étant d'un seul tenant, avec des contours rigides, ce qui peut conduire à bien des erreurs d'interprétation.

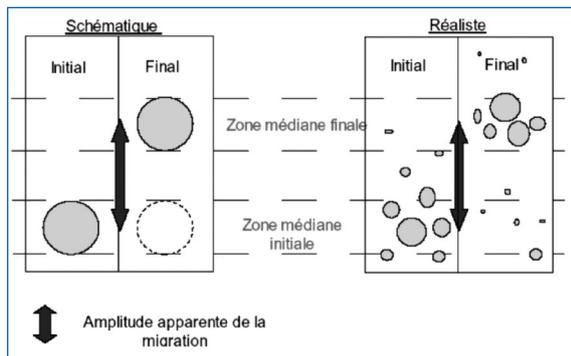


Figure 4.
Deux conceptions des limites de végétation.
D'après G. Beltrando.

Two conceptions of the vegetation limits.

Conclusion

La question de l'évolution récente, et plus encore des perspectives de la répartition géographique de la végétation en général, et des plantes émettrices de pollen allergisant en particulier, peut être considérée

comme « faussement simple » [19]. Elle s'avère en fait d'une redoutable complexité. Peut-être un premier pas serait-il franchi si l'on évitait de confondre :

- les niches écologiques *potentielles* (« l'espace possible », dont l'enveloppe est délimitée par les facteurs limitants : telle espèce ne supporte pas le gel...),
- les niches écologiques *optimales* (« le centre de la niche », qui font intervenir les qualités du sol, l'alimentation en eau et en nutriments, la compétition entre espèces...),
- et les niches écologiques *réalisées* (« l'espace occupé ») [32].

Pour revenir au cas des Pays-Bas évoqué plus haut (figure 1), il est possible qu'avant la fin du ^{xx}^e siècle, les températures moyennes les intègrent dans la niche potentielle de l'olivier. Mais il paraît utopique de penser que les autres éléments du climat et les sols fassent du territoire néerlandais la niche optimale de cet arbre typiquement méditerranéen. Et, sauf quelques spécimens plantés par l'homme, il n'y sera sûrement pas dans sa niche réalisée. Dès lors, le pollen d'olivier n'y sera pas, et de loin, celui qui représente le plus gros risque allergique !

Références

- [1] Beggs PJ. Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clin Exp Allergy* 2004 ; 34 : 1507-13.
- [2] Thibaudon M. Pollens, allergies et changements climatiques. *Presse Therm Clim* 2007 ; 144 : 117-20.
- [3] Gamble JL, Reid CE, Post E, Sacks J. *A review of the impacts of climate variability and change on aeroallergens and their associated effects*. Washington: US Environmental Protection Agency 2008 : 1-91.
- [4] Clot B. Pollen de l'air et risque d'allergie : l'évolution récente. *Environ Risques Santé* 2008 ; 7 : 431-4.
- [5] Reid CE, Gamble JL. Aeroallergens, allergic disease and climate change: impacts and adaptation. *Ecohealth* 2009 ; 6 : 458-70.
- [6] Besancenot JP, Thibaudon M. Changement climatique et pollinisation. *Rev Mal Respir* 2012 ; 29 : 1238-53.
- [7] Nabors M. *Biologie végétale : structures, fonctionnement, écologie et biotechnologies*. Paris : Pearson, 2011 : 614 p.
- [8] Joyce L, Aber J, McNulty S *et al*. Potential consequences of climate variability and change for the forests of the United States. In: *Climate change impacts on the United States*. Cambridge: Cambridge University Press 2001 : 489-524.
- [9] Moisselin JM, Schneider M, Canellas C, Mestre O. Les changements climatiques en France au ^{xx}^e siècle : étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie* 2002 ; 38 : 45-56.
- [10] Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP *et al*. Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press 2007 : 976 p.
- [11] Déqué M. Changements attendus du climat : quels scénarios ? In : *Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques*. Fontainebleau : INRA-ONF 2007 : 9-14.
- [12] Peings Y, Jamous M, Planton S *et al*. *Le climat de la France au ^{xxi}^e siècle. II. Scénarios régionalisés – Indices de référence pour la métropole*. Paris : Météo France – Institut Pierre Simon Laplace 2012 : 303 p.
- [13] Cleland EE, Chuine I, Menzel A *et al*. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends Ecol Evol* 2007 ; 22 : 357-65.
- [14] D'Amato G, Cecchi L, Bonini S *et al*. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy* 2007 ; 62 : 76-90.

- [15] De Weger LA, Hiemstra PS. Klimaatverandering en pollenallergie in Nederland. *Ned Tijdschrift Geneeskunde* 2009 ; 153 : A1410.
- [16] Besancenot JP. Changement climatique et impacts sanitaires : une évolution déjà observable ? *Air Pur* ; 72 : 13-20.
- [17] Thibaudon M, Oliver G. Pollinoses et surveillance des pollens en France. *Air Pur* 2007 ; 71 : 10-6.
- [18] Lelièvre F, Sala S, Volaire F. Climate change at the temperate-Mediterranean interface in southern France and impacts on grasslands production. *Options Méditerran* 2010 ; A 9 : 187-92.
- [19] Dupouey JL, Bodin J. Déplacements déjà observés des espèces végétales : quelques cas emblématiques mais pas de migrations massives. In : *Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques*. Fontainebleau : INRA-ONF 2007 : 34-9.
- [20] Mandin JP. Progression actuelle d'espèces méditerranéennes vers le nord : le cas de *Ferula communis* L. *subsp. glauca* (L.) Rouy et Camus en Ardèche (France). *Acta Bot Gall* 1993 ; 140 : 81-90.
- [21] Emberlin J. The effects of patterns in climate and pollen abundance on allergy. *Allergy* 1994 ; 49 (suppl.) : 15-20.
- [22] Badeau V, Dupouey JL, Cluzeau C, Drapier J. Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100. In : *Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques*. Fontainebleau : INRA-ONF 2007 : 62-6.
- [23] Badeau V, Dupouey JL, Cluzeau C *et al.* Climate change and the biogeography of French tree species: first result and perspectives. In: Lousteau D. *Forests, carbon cycle and climate change*. Versailles : Quae 2010 : 231-52.
- [24] Lebon E, Badeau V. Potentiel de déplacement géographique des cultures et des essences forestières. In : Brisson N, Levraut F. *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces*. Paris : ADEME 2010 : 247-54.
- [25] Silva DE. *Écologie du hêtre (Fagus sylvatica L) en marge sud-ouest de son aire de distribution*. Thèse de doctorat en biologie végétale et forestière, Nancy : université Henri Poincaré 2010 : 196 p.
- [26] EducaPoles. *La biodiversité : déplacement des espèces*. Bruxelles : International Polar Foundation 2008 : Fiche 03.
- [27] Massu N, Landmann G. *Connaissance des impacts du changement climatique sur la biodiversité en France métropolitaine*. Paris : GIP Ecofor 2011 : 180 p.
- [28] Pearson RG. Climate change and the migration capacity of species. *Trends Ecol Evol* 2006 ; 21 : 111-3.
- [29] Breda N, Bosc A, Badeau V. Éléments sur le changement climatique et la forêt métropolitaine. In : Brisson N, Levraut F. *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces*. Paris : ADEME 2010 : 225-36.
- [30] Kergomard C. Changement climatique : certitudes, incertitudes et controverses. *Territoire en mouvement* 2012, 12 : 4-17.
- [31] Beltrando G. Le changement climatique et la forêt métropolitaine française. *An Univ București/Geogr* 2011 : 5-28.
- [32] Hutchinson GE. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 1957 ; 22 : 415-27.

