



HAL
open science

Impact du changement climatique sur la flore méditerranéenne: théorie et pratique

M. Vennetier, C. Ripert

► **To cite this version:**

M. Vennetier, C. Ripert. Impact du changement climatique sur la flore méditerranéenne: théorie et pratique. Changement climatique et biodiversité, Vuibert, p. 75 - p. 87, 2010. hal-00504471

HAL Id: hal-00504471

<https://hal.science/hal-00504471>

Submitted on 20 Jul 2010

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.

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA FLORE MEDITERRANEENNE : THEORIE ET PRATIQUE

Michel Vennetier* et Christian Ripert

Résumé

Le changement climatique modifie rapidement l'aire de répartition potentielle des plantes, et devrait se traduire par des modifications de la flore forestière à différentes échelles. Dans le sud-est de la France, la forêt méditerranéenne a subi une décennie de climat exceptionnellement chaud et sec de 1998 à 2008, faisant suite à une période de réchauffement plus limité et régulier depuis les années 70. Les variations de la flore à l'échelle locale au cours de cet épisode, qui ressemble à ce que pourrait être les conditions climatiques moyennes vers 2040, ont été simulées avec un modèle bioclimatique. Elles ont aussi été mesurées dans des placettes permanentes entre deux inventaires réalisés en 1996-97 puis en 2008. Par rapport à l'inventaire de 1997, la prédiction du modèle pour les variations de flore avec le climat moyen des 30 et 10 dernières années respectivement est de 11 % et 25 %. Les changements floristiques potentiellement induits par des variations de pluies (- 10 à 20% au printemps ou en été), de température (+1 ou 2°C) et d'une combinaison des deux sont calculés. Le changement observé dans les placettes permanentes représente 14 %. A l'échelle du paysage, les stratégies d'adaptation des plantes et la diversité de la mosaïque stationnelle permettent une résistance temporaire et partielle de composition végétale. Cependant, les 25% de changement floristique prédits par le modèle devraient être atteints avant la moitié du 21^{ème} siècle même pour les scénarios climatiques les plus optimistes.

Abstract

The climate change quickly modifies the potential distribution area of plants, and should result in modifications of forest flora on various scales. In southeastern France, the mediterranean forest experienced a decade of exceptionally warm and dry climate from 1998 till 2008, following a period of more limited and regular warming since the 70's. Variations of the flora on local scale during this episode, which looks like what could be the average climatic conditions by 2040, were simulated with a bioclimatic model. They were also measured in permanent plots between two censuses (1996-97 and 2008). With regard to the census of 1997, the prediction of the model for the flora turnover with the average climate of the last 30 and 10 years respectively were 11 % and 25 %. Potential changes were computed for reduced rainfall in spring or summer (-10 to 20%), warmer temperatures (+1 to 2 °C) and both changes. The observed change in permanent plots was 14%. On landscape scale, plant adaptation strategies and a high diversity of the site mosaic allow a temporary and partial resistance of vegetation composition. But the 25 % of Flora change forecasted by the model should be reached before the middle of the 21st century, even with the most optimistic climatic scenario.

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

SUR LA FLORE MEDITERRANEENNE :

THEORIE ET PRATIQUE

Michel Vennetier* et Christian Ripert

Unité de Recherche Ecosystèmes Méditerranéens et Risques
Cemagref, CS 40061, 13182 Aix-en-Provence cedex 5
*Correspondance: michel.vennetier@cemagref.fr

1 - Introduction

1.1 - L'hypothèse de départ

Une hypothèse formalisée par Philippe Daget [1], mais admise et utilisée de longue date, est qu'en région méditerranéenne, la disponibilité en eau est le facteur limitant principal pour la croissance de la végétation et un élément-clef de sa composition floristique. Elle est à la base de cet article.

Le synchronisme de la période du minimum de pluies et des mois d'été les plus chauds définit le climat méditerranéen, avec, parallèlement, des hivers doux ou frais, et un maximum de pluies en automne ou au printemps. La limite du climat méditerranéen et sa répartition dans le monde ne sont pas définies de la même façon par les différents auteurs, mais tous s'accordent pour reconnaître que le stress hydrique d'été est le principal frein au développement de la flore.

Cette hypothèse est implicite dans les travaux qui ont décrit la stratification de la végétation méditerranéenne en étages bioclimatiques [2 et 3]. Les définitions de ces étages s'appuient sur une description de la composition floristique, mise en relation avec une combinaison de variables et d'indices relatifs à la température (moyenne annuelle, moyennes des maximums du mois le plus chaud, des minimums du mois le plus froid), et à la pluviométrie [4 et 5].

La température joue un rôle direct sur la répartition des espèces, à travers principalement ses valeurs extrêmes : on en trouve un exemple dans les grands froids qui, en 1929, 1956 ou 1985, ont tué oliviers, eucalyptus et bien d'autres végétaux en Provence [6] ou dans les chaleurs exceptionnelles de 2003 qui ont fait dépérir le pin

sylvestre dans sa frange méditerranéenne de basse altitude [7]. Mais elle est aussi un élément-clef du bilan hydrique, via l'évaporation et l'évapotranspiration, et contribue directement au stress des végétaux.

L'hypothèse peut être renversée : si la disponibilité en eau détermine une large part de la composition et de la croissance de la flore, on doit pouvoir utiliser cette composition et cette croissance comme des indices permettant d'évaluer le bilan hydrique. En effet, la flore d'un site prise dans son ensemble peut être considérée comme intégratrice des conditions stationnelles à moyen terme, incluant les fluctuations interannuelles du climat, certains événements extrêmes, et les interactions entre le climat, le sol et le bilan hydrique local [8].

1.2 - Le contexte

Les régions méditerranéennes d'Europe et d'Afrique du Nord sont particulièrement concernées par les changements climatiques : d'une part les différents modèles de recherche climatique à long terme y prédisent une évolution plus rapide et plus importante que dans d'autres parties du monde [9] ; d'autre part les changements attendus vont dans le sens d'une réduction de la disponibilité en eau durant la saison de végétation, aggravant ce qui constitue déjà le principal facteur limitant.

Dans certaines régions, le climat semble avoir anticipé les scénarios du futur : ainsi, au cours de la période 1998-2007, le climat de la Provence a été marqué par une très forte augmentation des

températures moyennes annuelles (1,4 °C) par rapport aux normales des quarante années précédentes et par une réduction sensible des pluies de printemps et d'été. Les années 2004 à 2007 ont été particulièrement sèches, ce qui a accentué les effets néfastes de la canicule de 2003 et provoqué des mortalités massives dans certains massifs forestiers (pin sylvestre et sapin dans le sud des Alpes, chêne liège dans les Maures).

L'un des risques liés à ces changements est que les végétaux ne puissent s'adapter aux modifications locales très rapides de leurs conditions de vie. C'est particulièrement vrai pour certains arbres forestiers qui ont des cycles de reproduction dépassant plusieurs dizaines d'années. Ils ne pourront pas tous suivre le déplacement des limites de leur aire potentielle de répartition, car ils ont souvent de courtes distances de dissémination. Par ailleurs, tous les types d'espèces vivantes sont potentiellement amenés à se déplacer ou à disparaître, parmi lesquels des espèces symbiotiques ou parasites [10], mettant en danger les équilibres biologiques établis. Enfin, les changements climatiques décalent dans le temps les principales étapes de la phénologie des plantes [11], ce qui les rend plus ou moins sensibles à certains accidents météorologiques de printemps et d'automne [12] et modifie leur capacité reproductive [13].

1.3 - Bases et objectifs de cette étude

En s'appuyant sur l'hypothèse posée ci-dessus, et afin de répondre aux interrogations des forestiers méditerranéens face à l'impact du changement climatique, nous avons, au cours des dix dernières années, développé un modèle bioclimatique basé sur l'analyse de la composition floristique d'un large échantillon de vieilles forêts de Provence. Grâce à une évaluation du bilan hydrique, ce modèle permet de cartographier les potentialités forestières à des échelles allant de quelques centaines de mètres carrés à plusieurs milliers de kilomètres carrés [14], mais aussi de simuler l'impact du changement climatique sur la composition floristique [15].

En se basant sur les fonctionnalités de ce modèle, les objectifs de cette étude étaient :

- d'une part de quantifier précisément les variations de la flore simulées suivant différents scénarios de changement climatique,
- et d'autre part de valider ces simulations en les comparant aux variations de flore observées sur le terrain au cours des douze dernières années, marquées par des conditions climatiques particulièrement rudes dans notre zone d'étude provençale.

2 - Zone d'étude et méthodes utilisées

2.1 - Zone d'étude et échantillonnage

Notre zone d'étude est un quadrilatère de 7 000 km² situé en Provence calcaire, entre la vallée du Rhône à l'ouest, celle du Gapeau à l'est, la mer Méditerranée au sud, et le Luberon au nord (Fig. 1).

Un échantillon de 325 placettes permanentes (surface échantillonnée = 400m²) y a été installé en 1996-97, représentatif de l'ensemble des conditions écologiques. Un inventaire de flore aussi exhaustif que possible y a été réalisé en même temps qu'un relevé des variables descriptives du milieu et de la structure de la forêt.

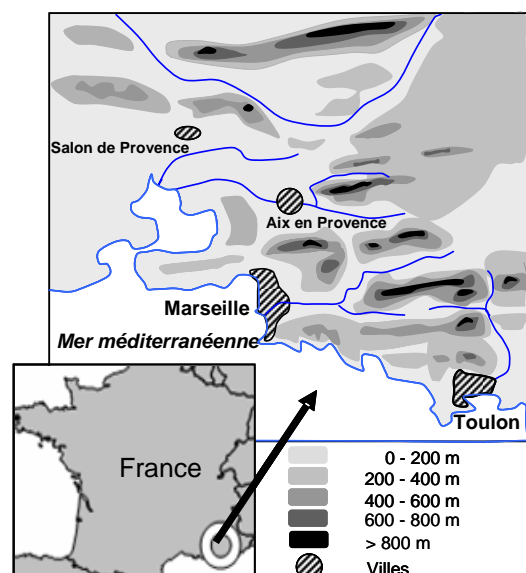


Fig. 1: Zone d'étude

Nous ne décrivons pas ici en détail la conception du modèle qui est opérationnel sur le terrain depuis de nombreuses années [16] et a été validé scientifiquement et publié par ailleurs [17].

Nous n'en reprenons que les fonctionnalités utilisées dans ce travail. Ce modèle est conçu en deux étapes : analyse floristique et modélisation.

2.2 - Analyse floristique

Dans la première étape, nous réalisons une analyse statistique purement basée sur la flore des placettes : analyse factorielle des correspondances (méthode de représentation statistique selon des axes significatifs) avec les 192 plantes présentes au moins trois fois dans l'inventaire.

Elle permet de démontrer que la disponibilité en eau est bien le facteur principal de la composition végétale : projetées dans cette analyse, l'ensemble des variables liées au bilan hydrique s'organisent autour de l'axe principal de l'analyse factorielle des correspondances qui est statistiquement très dominant (Fig. 2).

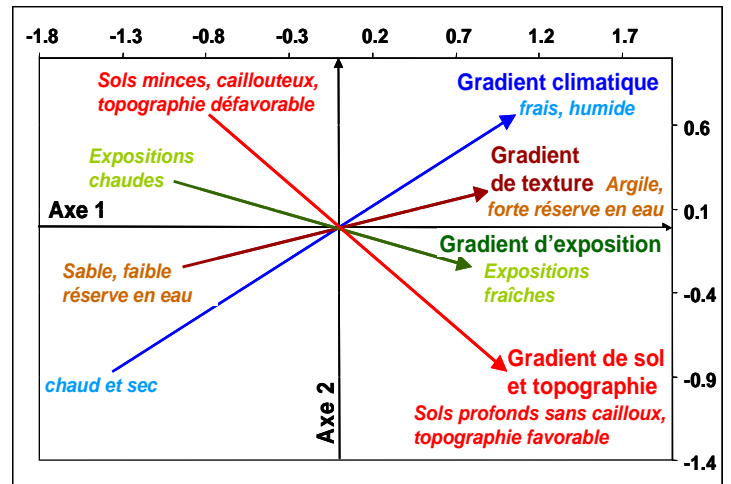


Fig. 2: Plan des deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances. L'axe 1 est la résultante de tous les gradients qui contribuent au bilan hydrique à différentes échelles : gradients climatique (de température, de pluie et d'altitude), de texture (capacité de rétention en eau du sol), d'exposition (adrets chauds/ubacs frais), de topographie (concave retenant l'eau/convexe drainant + hauts/bas de versants) et de sol (profondeur, pourcentage de cailloux et de roche). C'est donc clairement un axe de disponibilité en eau pour les végétaux.

Les plantes peuvent être représentées dans le même plan : elles se positionnent en fonction de leur répartition dans les placettes, et donc dans le paysage. L'axe 1 les trie dans un ordre croissant de bilan hydrique : à gauche du plan, sont représentées les plus résistantes à la sécheresse et à la chaleur (xéro-thermophiles¹), et à droite les plus exigeantes en eau et en fraîcheur (mésophiles). Sur la base des coordonnées sur cet axe, nous avons scindé les plantes en cinq groupes d'importance égale : les super-xérophiles (xéro-), les xérophiles (xéro), les intermédiaires (int), les mésophiles (més) et les très mésophiles (més+).

Dans la même projection, on peut représenter les placettes (Fig. 3), dont la position est déterminée par leur composition floristique (mathématiquement, une placette se positionne au centre de gravité des plantes qu'elle contient). Nous considérons donc la coordonnée d'une placette sur l'axe 1 comme son "Indice floristique" (If), cet indice permettant de trier les placettes, comme les plantes, dans le gradient de bilan hydrique.

¹ Les végétaux sont souvent qualifiés par des termes exprimant les caractéristiques des milieux dans lesquels ils se développent le mieux : milieux secs (plantes xérophiles), chauds (thermophiles), à température et humidité modérée (mésophiles), ensoleillés (héliophiles), ombragés (sciaphiles).

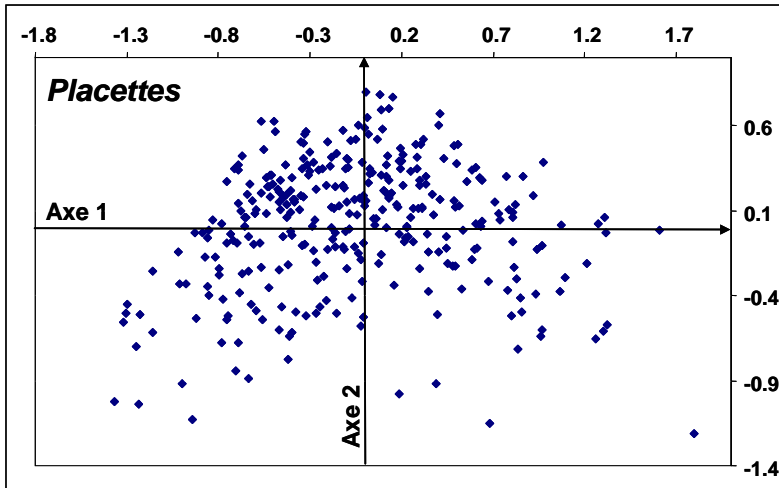


Fig. 3 : Position des placettes dans le plan des deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances. La coordonnée des placettes sur l'axe 1 est retenue comme indice floristique, puisqu'elle est déterminée par sa composition végétale. De gauche à droite, elle trie les placettes suivant une disponibilité croissante en eau et une température décroissante. Les plantes peuvent être positionnées dans le même plan.

2.3 - Modèle bioclimatique

Dans la deuxième étape, nous cherchons à prédire l'indice floristique des placettes à partir des variables descriptives du milieu. La valeur prédite est considérée comme leur indice bioclimatique (Ib). Parmi les variables climatiques, la répartition des pluies (distribuées selon trois "saisons": printemps, été, automne + hiver) et la température moyenne annuelle jouent un rôle important. Les valeurs climatiques retenues pour la modélisation de la flore de 1996-97 sont celles de la période 1961-96. La modélisation permet d'expliquer 81 % des variations de la flore à l'aide de huit variables climatiques et géographiques, et de six variables décrivant la topographie locale et le sol.

C'est cette très bonne correspondance entre les indices floristiques (If) et leur estimation par le modèle (Ib) qui permet de réaliser les simulations de l'impact potentiel du changement climatique.

2.4 - Simulations de l'impact des changements climatiques

La simulation se base sur les deux étapes du modèle:

Dans un premier temps, on modifie les paramètres climatiques de chaque placette dans le modèle, en se basant sur des scénarios fournis par les météorologues ou sur les données des années récentes.

On obtient donc pour ces placettes un nouvel indice bioclimatique (Ib') : si le climat devient plus chaud et plus sec, cet indice est inférieur à celui d'origine et les placettes se déplacent vers la gauche de l'axe 1.

Dans un deuxième temps, on considère qu'une augmentation de la température ou une diminution de la pluie durant les saisons critiques (printemps et été) accroît le stress hydrique et tend à faire disparaître prioritairement, dans chaque placette, les plantes les plus exigeantes en eau et les moins tolérantes à la chaleur. Parallèlement, les plantes les plus résistantes à la chaleur et à la sécheresse, libérées d'une partie de la concurrence par ces disparitions, devraient gagner du terrain en nombre d'espèces et en recouvrement. On simule donc l'effet potentiel du changement climatique sur la végétation en modifiant la flore observée de chaque placettes suivant ce schéma : élimination de plantes mésophiles et addition de plantes xéro-thermophiles, ou diminution de l'abondance des plantes mésophiles et accroissement de celle des plantes xéro-thermophiles.

En représentant ces placettes à flore modifiée comme observation supplémentaire dans l'analyse factorielle des correspondances d'origine, on calcule pour chacune d'elle un nouvel indice floristique (If'), inférieur au précédent et correspondant donc à un déplacement vers la gauche sur l'axe 1 de l'analyse factorielle des correspondances.

La très bonne qualité prédictive du modèle permet de faire correspondre les variations simulées au cours des deux étapes (Ib' et If'), et donc mettre en parallèle des modifications du climat et des pourcentages de modification de la flore.

2.5 - Validation par un nouvel inventaire

Cinquante des placettes de l'étude initiale, représentatives des principaux gradients

écologiques, ont été réinventoriées au printemps 2008 par la même équipe en respectant strictement les mêmes protocoles. Les deux inventaires ont été comparés en séparant les cinq classes de plantes triées par ordre de bilan hydrique. Afin d'éviter les variations de flore qui pourraient être dues à des dates différentes d'inventaires, nous avons comparé d'une part, l'inventaire total de la flore et d'autre part, l'inventaire des plantes pérennes et reconnaissables en toutes saisons.

3 - Résultats

3.1 - Simulation des variations de flore

La figure 4 montre les correspondances entre des modifications simulées du climat et de la flore en pourcentage de la flore d'origine. Nous avons simulé des variations de la pluie seule (soit d'été, soit de printemps), de la température seule et de différentes combinaisons de pluies et de températures. Le changement le plus extrême, à droite de la figure, correspond aux modifications observées du climat au cours des dix dernières années par rapport à la période 1961-96. La flore d'une placette comporte en moyenne 25 plantes.

La réduction de 20 % des pluies de printemps ou des pluies d'été ne modifie que d'une plante la composition floristique, soit moins de 5 %. La hausse de 1 °C des températures a plus d'effet, et conjuguée avec une perte de 10 % des pluies de printemps (ou d'été), aboutit à près de 10 % de variations de la flore. Si le climat des dix dernières années se maintenait sur le moyen terme, c'est plus d'un quart de la flore qui serait changé, soit 6 à 7 plantes sur 25.

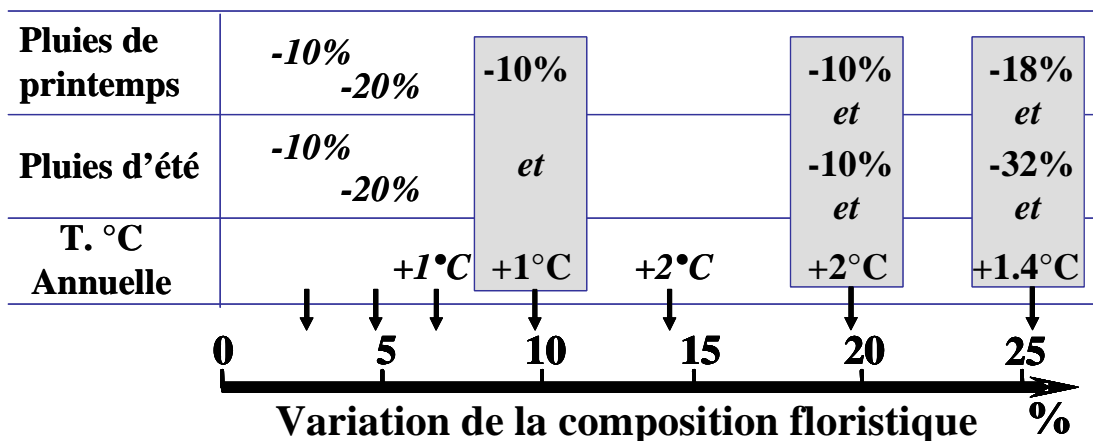


Fig. 4 : Modification attendues de la flore (en pourcentage des espèces présentes à l'origine) en fonction des changements simulés du climat. Nous avons simulé soit une réduction des pluies seule (-10 à -20% au printemps ou en été), soit une augmentation des températures moyennes annuelles seules (+1 ou +2 °C) soit une combinaison de variations de pluies et température (cadres gris). Le dernier cadre à droite correspond au climat moyen des années 1998-2007 comparé aux années 1961-96 ayant servi à calibrer le modèle initial.

3.2 - Validation par l'observation

Les résultats présentés ci-dessous sont identiques, que l'on considère toutes les plantes ou seulement celles qui sont reconnaissables en toutes saisons, montrant qu'ils ne sont pas biaisés par la méthode ou la date des inventaires.

La figure 5 montre les variations de l'occurrence des plantes dans les placettes entre les deux inventaires de 1996-97 et 2008. Près de 50 % des plantes les plus exigeantes en eau (mésos+) ont disparu en 2008 de placettes où elles étaient présentes en 1996-97, contre 20 % seulement des plus résistantes au stress hydrique et thermique. A l'inverse, moins de 10 % des plantes mésos+ ont gagné du terrain contre près de 40 % des plantes xéro+. Les apparitions et disparitions d'espèces ne se sont donc pas fait du hasard, mais ont été surtout marquées dans les groupes de bilans hydriques extrêmes. Dans le groupe méso, on note un déséquilibre de près de 20 % au profit des disparitions. Les changements dans les groupes xéro et intermédiaire ont été assez équilibrés, certaines espèces d'un même groupe remplaçant celles qui disparaissaient.

Variations d'occurrence des plantes (1997-2008)

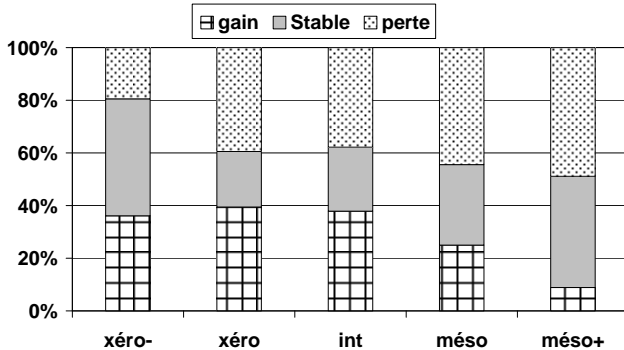


Fig. 5 : Variations, entre 1996-97 et 2008, de l'occurrence des plantes en fonction de leur résistance au stress hydrique et thermique, en pourcentage du nombre de plantes par classe. Une plante a gagné (respectivement perdu) si elle est présente en 2008 dans plus (respectivement dans moins) de placettes qu'en 1996-97.

L'écart entre mésophiles et xéro-thermophiles se creuse encore plus si l'on considère le recouvrement des espèces à l'aide des coefficients de Braun-Blanquet, qui permettent de caractériser l'abondance-dominance des végétaux (Fig. 6).

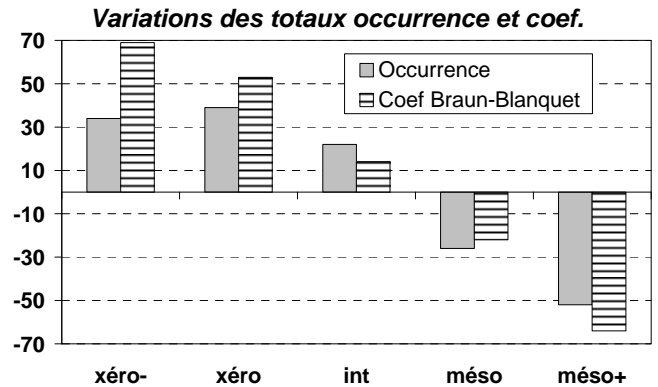


Fig. 6 : Variations, entre 1996-97 et 2008, des sommes des occurrences et des sommes des coefficients de Braun-Blanquet par classes de bilan hydrique sur les 50 placettes réinventoriées en 2008. Une occurrence correspond à une plante dans une placette.

En valeur absolue sur 50 placettes, les classes xéro- et xéro gagnent ensemble 70 occurrences, soit en moyenne 1,5 plantes par placette, mais près de 120 points, soit près de 2,5 indices de Braun-Blanquet. Cela signifie que, non seulement des plantes xérophiles nouvelles sont apparues dans les placettes, mais que certaines, déjà présentes, ont aussi gagné en recouvrement. Les plantes méso+ et méso ont perdu ensemble 70 occurrences et autant en coefficients, avec un équilibre entre pertes de présence et perte de recouvrement. Globalement, la variation de la flore par placette atteint trois plantes soit 12 % en dix ans.

4 - Discussion et conclusions

Une variation de 5 à 10 % de la composition entre deux inventaires successifs est fréquemment observée en absence de toute tendance climatique ou d'autres facteurs de l'environnement [18]. Mais dans ce cas, il n'y a aucune raison pour que cette variation soit liée à un gradient climatique. La flore méditerranéenne a, de plus, une dynamique propre indépendante du changement climatique, car les écosystèmes sont loin d'un état stable, après les multiples perturbations qu'ils ont subies dans le passé et continuent de subir. Dans notre cas, bien que les placettes soient situées dans des zones depuis longtemps forestières et peu anthropisées, l'évolution vers un écosystème de plus en plus mature devrait favoriser les espèces plutôt sciaphiles et mésophiles, au détriment des espèces pionnières opportunistes généralement xérophiles et héliophiles. Or c'est exactement l'inverse qui s'est produit sur les dix dernières années.

Ces évolutions valident le protocole de manipulation de la composition floristique que nous avons utilisé pour la simulation, à l'aide de notre modèle, de l'impact du changement climatique. Mais elles aboutissent à un taux de variations inférieur à celui qui est prédit par le modèle. Cela indique que la flore possède, heureusement, une certaine inertie face aux changements d'environnement.

Les espèces mésophiles peuvent survivre dans des zones favorables comme les vallons frais, les versants nord en pente forte, les zones abritées par des falaises, près de résurgences ou sur des sols très profonds. Elles peuvent regagner du terrain en se disséminant depuis ces refuges à chaque année favorable. Elles peuvent aussi se maintenir longtemps dans la banque de graines du sol et germer à la première occasion. Leur disparition définitive ne peut donc se produire à grande échelle que sur le moyen ou long terme. Les mortalités massives de pin sylvestre et sapin dans le sud-est de la France confirment cependant que la menace sur ces espèces exigeantes en eau est réelle.

A l'opposé, la flore xéro-thermophile est déjà largement disséminée dans les zones de climat frais et humide, profitant de sols superficiels, de versants très chauds, de falaises et crêtes rocheuses. Elles restent aussi présentes dans des sites plus favorables pour des raisons historiques, la grande majorité du territoire ayant été surexploitée par l'homme jusqu'au siècle dernier. Elles peuvent ainsi facilement s'étendre depuis ces bases avancées dans les espaces libérés par les plantes mésophiles, expliquant leur dynamique rapide observée dans cette étude.

Les fortes variations de la flore simulées par notre modèle ont donc toutes les chances de se produire dans un délai de quelques dizaines d'années au plus.

Références

- 1 - Daget, P. (1977) Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation. *Vegetatio*, 34, p. 1-20.
- 2 - Braun-Blanquet, J. (1952) Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. CNRS, Montpellier, 297 p.
- 3 - Emberger, L. (1930) La végétation de la région méditerranéenne : essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Gen. Bot.*, 42, p. 641-662, 705-721.
- 4 - Bagnouls, F. & Gaussen, H. (1953) Saison sèche et indice xérothermique. Doc. Cartes Product. Végét., Série Généralités, 3 (1), p. 1-47 + carte.
- 5 - Emberger, L. (1955) Une classification biogéographique des climats. *Rec Trav Lab Géol Bot Zool Fac Sci* (Montpellier), 7, p. 1-47.
- 6 - Devaux, J.P. & Le Bourhis M. (1978) La limite septentrionale du pin d'Alep en France. Etude dendroclimatique de l'impact des froids exceptionnels. *Biologie Ecologie méditerranéenne*, vol. V (4), p. 133-158.
- 7 - Département Santé des Forêts (2003-2007) Plusieurs rapports (actualisation permanente) sur l'état de santé des forêts après la canicule de 2003 peuvent être trouvés sur le site web du département santé des forêts du ministère de l'Agriculture. http://www.agriculture.gouv.fr/spip/ressources.themes.foretbois.santedesforets_r314.html.
- 8 - Berges, L., Gegout, J.C. & Franc, A. (2006) Can understory vegetation accurately predict site index? A comparative study using floristic and abiotic indices in sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) stands in northern France. *Annals of Forest Science*, 63 (1), p. 31-42.
- 9 - Hesselbjerg-Christiansen, J. & Hewitson, B. (2007) Regional Climate Projection. In: IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- 10 - Moorcroft, P.R., Pacala, S.W. & Lewis M.A. (2006) Potential role of natural enemies during tree range expansions following climate change. *Journal of Theoretical Biology*, 241 (3), p. 601-616.
- 11 - Menzel, A., Fabian, P. (1999) Growing season extended in Europe. *Nature*, 397 (6721), p. 659-659.
- 12 - Morin, X., Ameglio, T., Ahas, R., Kurz-Besson, C., Lanta, V., Lebourgeois, F., Miglietta, F. & Chuine I. (2007) Variation in cold hardiness and carbohydrate concentration from dormancy induction to bud burst among provenances of three European oak species. *Tree Physiology*, 27 (6), p. 817-25.
- 13 - Sherry, R.A., Zhou, X.H., Gu, S.L., Arnone, J.A., Schimel, D.S., Verburg P.S., Wallace, L.L. & Luo, Y.Q. (2007) Divergence of reproductive phenology under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 104 (1), p. 198-202.
- 14 - Vennetier, M., Ripert, C., Maille, E. (2003) Etude des potentialités forestières de la Provence calcaire ouest : Evaluation à petite échelle sur de grandes surfaces. *Forêt méditerranéenne*, XXIV (1), p. 32-36
- 15 - Vennetier, M. (2007) Un nouveau modèle bioclimatique pour la forêt méditerranéenne. Application à l'étude de l'impact du changement climatique sur la végétation et à l'évaluation de la productivité forestière. Thèse de doctorat, UR Ecosystèmes méditerranéens et risques, Cemagref / Université Paul Cézanne (Aix-Marseille III) Aix en Provence, 284 p.
- 16 - Ripert, C. & Vennetier, M. (2002) Guide Technique du Forestier Méditerranéen Français. Chapitre 2 bis : Evaluation des potentialités forestières. *Cemagref Edition*, Aix en Provence, 61 p.
- 17 - Vennetier, M., Ripert, C., Maillé, E., Blanc, L., Torre, F., Roche, P., Tatoni, T. & Brun J.-J. (2008) A new bioclimatic model calibrated with flora for Mediterranean forested areas. *Annals of Forest Science*, 65, n° 711.
- 18 - Archaux, F., Gosselin, F., Berges, L., Chevalier, R. (2006) Effects of sampling time, species richness and observer on the exhaustiveness of plant censuses. *Journal of Vegetation Science*, 17, p. 299-306.