

Intégration des effets du changement climatique sur les forêts méditerranéennes : observation, expérimentation, modélisation et gestion

par Josep PEÑUELAS, Carlos GRACIA, Iolanda Filella ALISTAIR JUMP,
Jofre CARNICER, Marta COLL, Francisco LLORET, Jorge Curiel YUSTE,
Marc ESTIARTE, This RUTISHAUSER, Romà OGAYA,
Joan LLUSIÀ et Jordi SARDANS

Tendances actuelles et prévues du changement climatique dans la région méditerranéenne

Bien que les scénarios portant sur l'évolution des températures varient en fonction des régions, ils montrent une tendance claire vers un réchauffement général. La hausse des températures entre 1850-1899 et 2001-2005 a été de 0,76°C à l'échelle globale. Dans certains pays méditerranéens, cependant, la hausse entre 1971 et 2000 était de 1,53°C, une valeur bien plus élevée que la hausse de 1,2°C prévue par les modèles climatiques (Cf. Fig. 1). De plus, des scénarios de simulation du climat futur tendent à confirmer que des émissions plus importantes de gaz à effet de serre pourraient produire une augmentation de la température supérieure à la moyenne, et réduire les précipitations (de plus de 20 %) et augmenter la variabilité interannuelle des niveaux de température et de précipitations (inondations, sécheresses, vagues de chaleur...).

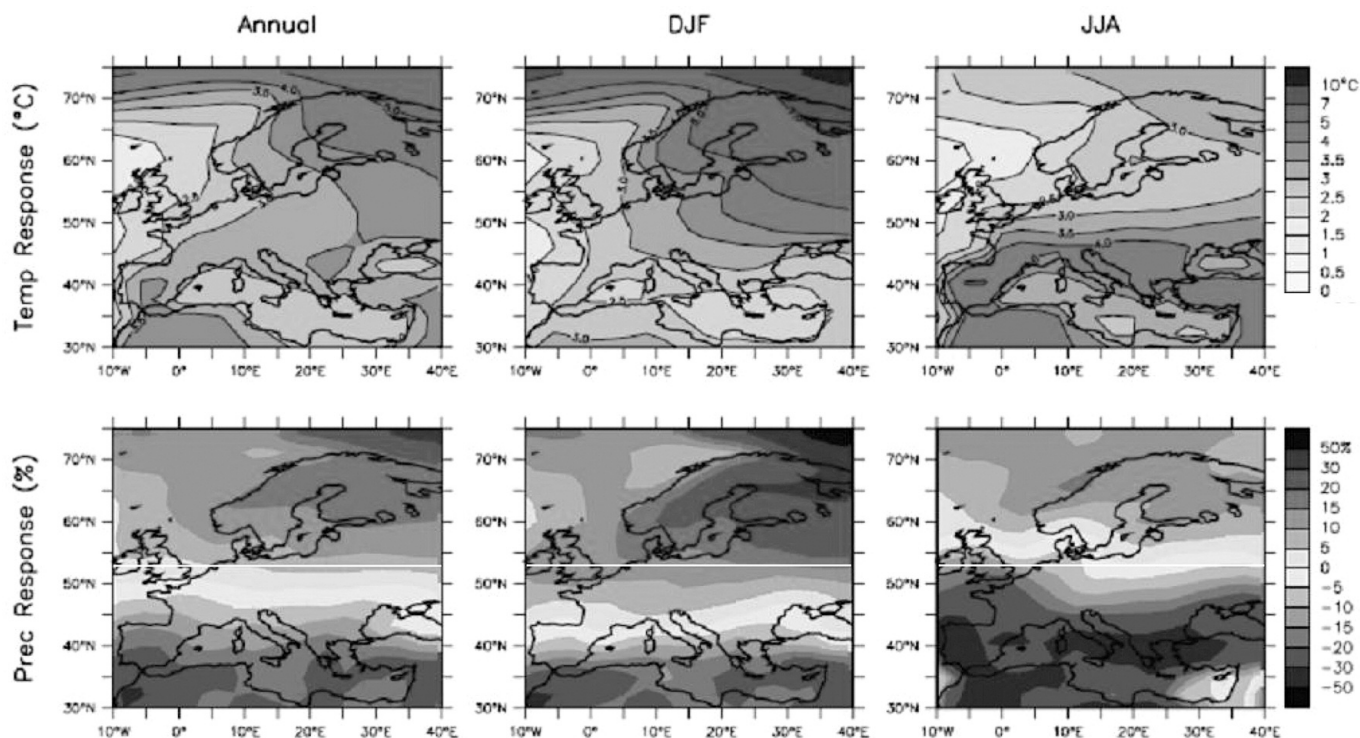


Fig. 1 :
Modélisation
des changements
de température
et de précipitations
en Europe
pour le scénario A1B.

Impacts biologiques du changement climatique dans un contexte de changement global

En haut : évolution
des températures
entre 1980-1999
et 2080-2099, moyenne
entre 21 modèles ;
moyennes annuelle,
hiver (DJF) ;
été (JJA)
En bas : idem,
mais pour l'évolution
des précipitations.

Source 4^e Rapport
d'évaluation du GIEC,
2007

Si la combinaison du changement climatique, des perturbations associées (inondations, sécheresses, incendies...) et des évolutions des autres composantes du changement global (en particulier les évolutions des usages des terres, la pollution, la surexploitation des ressources...) suivent la tendance actuelle dans les prochaines décennies, elle pourrait venir à bout de la résilience de beaucoup d'écosystèmes (c'est-à-dire leur capacité à s'adapter naturellement) (GIEC, 2007). Cela altèrera la structure et l'activité des écosystèmes, ainsi que les services qu'ils fournissent habituellement. L'effet du changement climatique sera influencé par l'interaction avec ces autres composantes du changement global et par la manière dont seront gérées ces problématiques.

Le changement climatique est global, mais les impacts écologiques varient localement. Les effets du changement climatique seront différents suivant les zones climatiques, avec des impacts supérieurs en termes de

réchauffement dans les régions froides où le facteur limitant est l'énergie, et en termes de sécheresse dans les zones arides et chaudes où le facteur limitant est la disponibilité en eau, comme c'est le cas des régions méditerranéennes.

Alors que les modèles de simulation tels que GOTILWA+ prédisent une diminution dramatique de la quantité d'eau contenue dans le sol dans les régions méditerranéennes, des études récentes prédisent un élargissement de la période de croissance de 50 jours pour la région méditerranéenne à l'horizon 2080. La saison de croissance a déjà augmenté de plusieurs jours dans les dernières décennies (Cf. Fig. 2). Cette situation conduira vers une demande accrue en eau, simultanément à une baisse de la ressource disponible pour les écosystèmes forestiers.

De plus, des températures plus élevées induiront une augmentation exponentielle des taux de respiration des tissus vivants des arbres, alors que la photosynthèse ne devrait pas augmenter beaucoup en réponse aux températures. Cela pourrait se traduire par une dégradation des réserves de carbohydrates mobiles indispensables aux arbres méditerranéens pour résister aux périodes sèches de l'été. Nombre de phénomènes de dépérissements observés dans les forêts

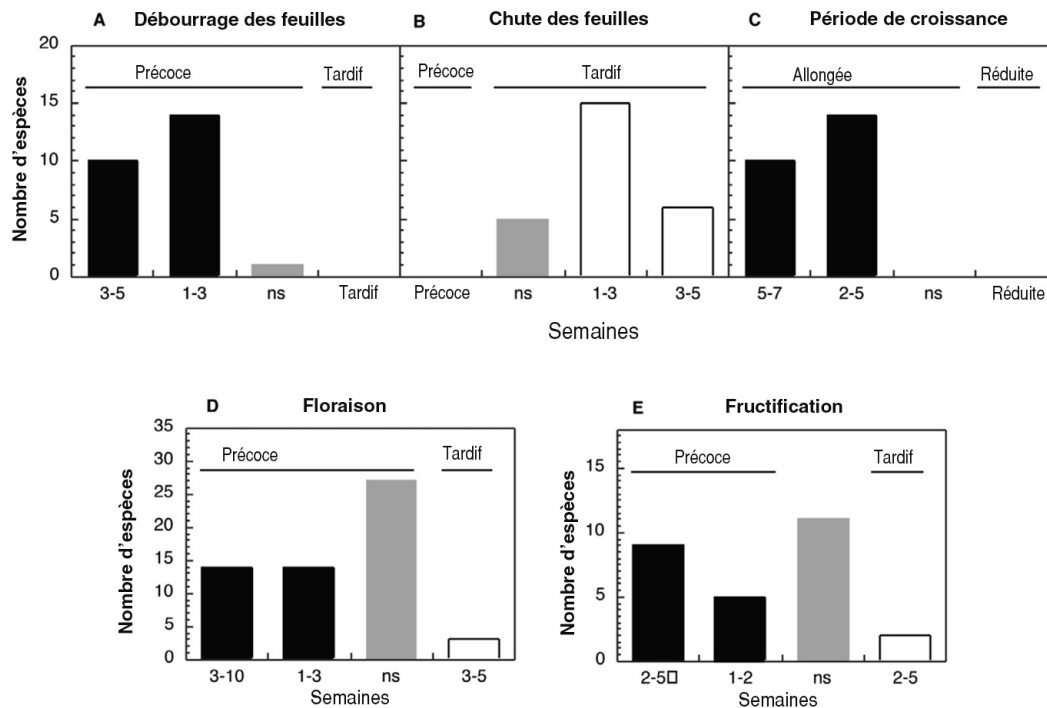


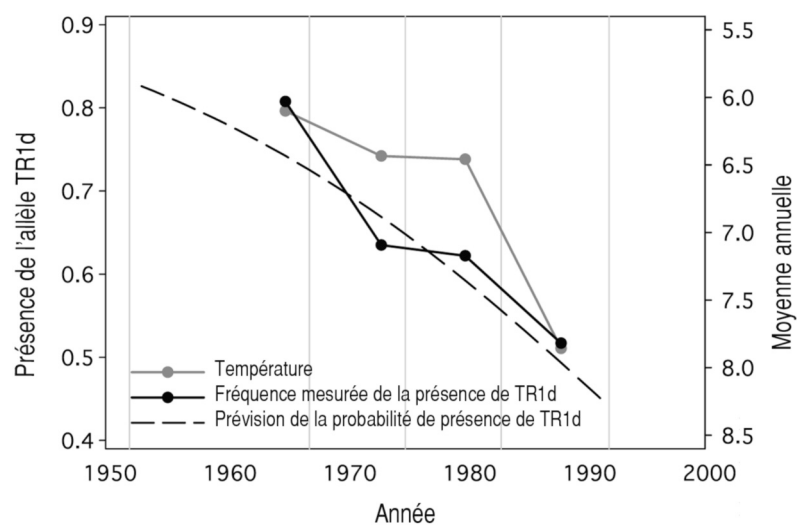
Fig. 2 (ci-contre) : Changements phénologiques dans une localité de l'ouest méditerranéen (Cardedeu, Catalogne, NE de l'Espagne) dans les cinq dernières décennies du 20^e siècle.
Source Peñuelas et al. 2002

méditerranéennes ces dernières années peuvent être associés à un épuisement des réserves de carbohydrates qui peuvent être consommées sur une période de 3 à 4 années consécutives de sécheresse, bien qu'il y ait encore débat pour savoir s'il y a d'autres facteurs tels que la cavitation des xylèmes qui peut jouer, ou non, un rôle plus important. La plupart des attaques de ravageurs peuvent être la conséquence de cet affaiblissement des arbres sans pour autant être à l'origine du dépérissement. Il est aussi vrai que, dans beaucoup de cas, bien que les ravageurs n'aient pas initié le dépérissement, ils peuvent être la cause principale de la mort de l'arbre. La sécheresse affaiblit l'arbre, la concentration en agents pathogènes augmente et tue l'arbre, même si la sécheresse en est la responsable initiale.

Comme chaque espèce répond à sa manière au changement climatique, leurs interactions avec d'autres organismes et avec l'environnement physico-chimique, changent aussi en conséquence. Tout cela génère une cascade d'impacts au sein de l'écosystème. Ces impacts incluent la diffusion de certaines espèces dans de nouveaux espaces, et la disparition de certaines autres. En région méditerranéenne, il y a déjà des observations et des expériences significatives démontrant les premiers effets biologiques du change-

ment climatique. Dans les dernières décennies, une augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les plantes a été décelée, et la composition génétique des populations a changé en réponse à la hausse des températures (Cf. Fig. 3). Mais malgré cela, la sécheresse persistante des dernières années a provoqué une défoliation (Cf. Fig. 4) et un ralentissement de la croissance des arbres (JUMP *et al.* 2006) dans beaucoup de régions méditerranéennes. Comme nous l'avons signalé plus haut, le printemps a

Fig. 3 (ci-dessous) : Changements parallèles entre le locus de réponse aux températures (TR1d) des hêtres et la température au cours de la régénération des forêts dans les montagnes de Montseny et dans les Pyrénées (Catalogne, NE de l'Espagne).
Source Jump et al. 2006



avancé de plusieurs semaines par rapport aux décennies précédentes et les hivers arrivent plus tard, à tel point que la période végétative s'est allongée d'environ 4 jours par décennie au cours des 50 dernières années (Cf. Fig. 2), avec un impact fort sur les organismes vivants et sur l'environnement. De plus, certaines espèces ont évolué vers de plus hautes altitudes et latitudes au fur et à mesure de l'augmentation des températures et de la sécheresse (PEÑUELAS & BOADA 2003, PEÑUELAS *et al.* 2007, JUMP *et al.* 2009). Dans les cas les plus extrêmes, la viabilité décroissante des habitats du fait du changement climatique agit en combinaison avec des évolutions dans l'utilisation des sols, de sorte que la fragmentation du milieu empêche les migrations, menaçant les populations d'extinction.

Les différentes réponses de chaque espèce altèrent leurs compétitivités et, pour finir, la composition-même des communautés. Par exemple, une baisse de la diversité d'espèces est observée dans des expériences de terrain qui simulent la chaleur et la sécheresse prévues pour les prochaines décennies (Cf. Fig. 5). Le type méditerranéen du Post-Pliocène semble mieux apte à répondre à un environnement difficilement prévisible avec une grande amplitude saisonnière, une variabilité interannuelle importante, et sujet à des perturbations fréquentes (PEÑUELAS *et al.* 2001). Ces études expérimentales montrent aussi que les conditions sèches prévues pour les décennies à venir exercent un impact négatif sur la diversité bactériologique des sols, et que la décomposition de la matière organique et sa capacité à répondre à des températures plus élevées sera contrôlée par des groupes résistants à la sécheresse tels que les communautés de champignons (YUSTE *et al.* 2010).

Ces changements dans la composition des communautés de plantes, d'animaux et de microbes ont été accompagnés par de nom-

breux changements fonctionnels. On constate des diminutions dans l'activité enzymatique du sol, le recyclage des nutriments, l'accumulation de phosphore dans les forêts, et de l'absorption de CO₂ dans les tissus des plantes, en réponse aux sécheresses, mais également des pertes de nutriments accrues par lessivage après les pluies, et une augmentation de l'émission biogénique de composés organiques volatils (COV) en réponse au réchauffement. Ces changements génèrent, à leur tour, d'autres changements en cascade. Par exemple, l'augmentation des COV altère la communication entre les êtres vivants, et affecte le climat et la composition chimique de l'atmosphère (PEÑUELAS & STAUDT 2010).

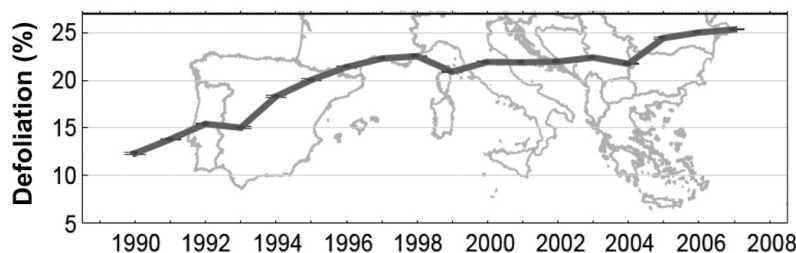
Rétroactions et services des écosystèmes

Les changements biologiques générés par le changement climatique ont, à leur tour, des effets significatifs sur le changement climatique lui-même, au travers des processus biogéochimiques et biophysiques (PEÑUELAS *et al.* 2009 ; Cf. Fig. 6). Parmi ces derniers, on trouve un taux de fixation du carbone altéré, ce qui signifie une altération du stockage de CO₂ atmosphérique, et l'émission biogénique de COV avec de multiples effets sur le climat. Comme pour les effets biophysiques, les changements dans l'activité et la structure de la végétation, provoqués par le changement climatique, semblent spécialement importants dès lors qu'ils influent sur l'albédo, les turbulences et la chaleur latente et sensible, tout ceci requérant des études chiffrées plus détaillées.

Tous ces changements affectent des services de type productifs (approvisionnement en produits naturels renouvelables comme le bois, les champignons, les plantes médicinales, des aliments...), environnementaux (entretien de la biodiversité, régulation de la composition atmosphérique, du cycle hydrogéologique et climatique, protection des sols contre l'érosion, stockage de carbone...) et sociaux (récréatif, éducatif et instructif, valeurs culturelles et traditionnelles, tourisme...) fournis par les écosystèmes terrestres.

Un des services liés au changement climatique est la fixation de CO₂. Les réponses au changement climatique et aux autres fac-

Fig. 4 (ci-dessous) :
Défoliation croissante des forêts méditerranéennes dans les deux dernières décennies.
Par Carnicer *et al.* 2010



teurs des changements globaux vont altérer le stockage de carbone dans les écosystèmes terrestres, mais l'étendue et l'orientation de ce changement ne sont pas claires. Quoiqu'il en soit, les sécheresses actuelles dans l'hémisphère Nord comme dans l'hémisphère Sud ont réduit le captage de carbone durant les deux dernières décennies (PEÑUELAS *et al.* 2010, ZHAO & RUNNING 2010).

Les stratégies multi-usages de gestion et de restauration des écosystèmes terrestres face aux perturbations climatiques requièrent un gros effort de recherche, d'éducation et de gouvernance. Dans les années à venir, les politiques et la gestion des reboisements de friches agricoles devraient prendre en compte les changements en cours et les conditions prévues à court terme. Parmi elles, la disponibilité décroissante de l'eau, du fait de la baisse des précipitations et/ou de la hausse de l'évapotranspiration apparaît comme la problématique la plus préoccupante.

Remerciements

Cette étude a été soutenue financièrement par le gouvernement Espagnol (CGL2006-04025/BOS, CGL2010-17172/BOS), par Consolider-Ingenio Montes (CSD2008-00040) et par le gouvernement de Catalogne (SGR 2009-458 and SGR 2009-1511).

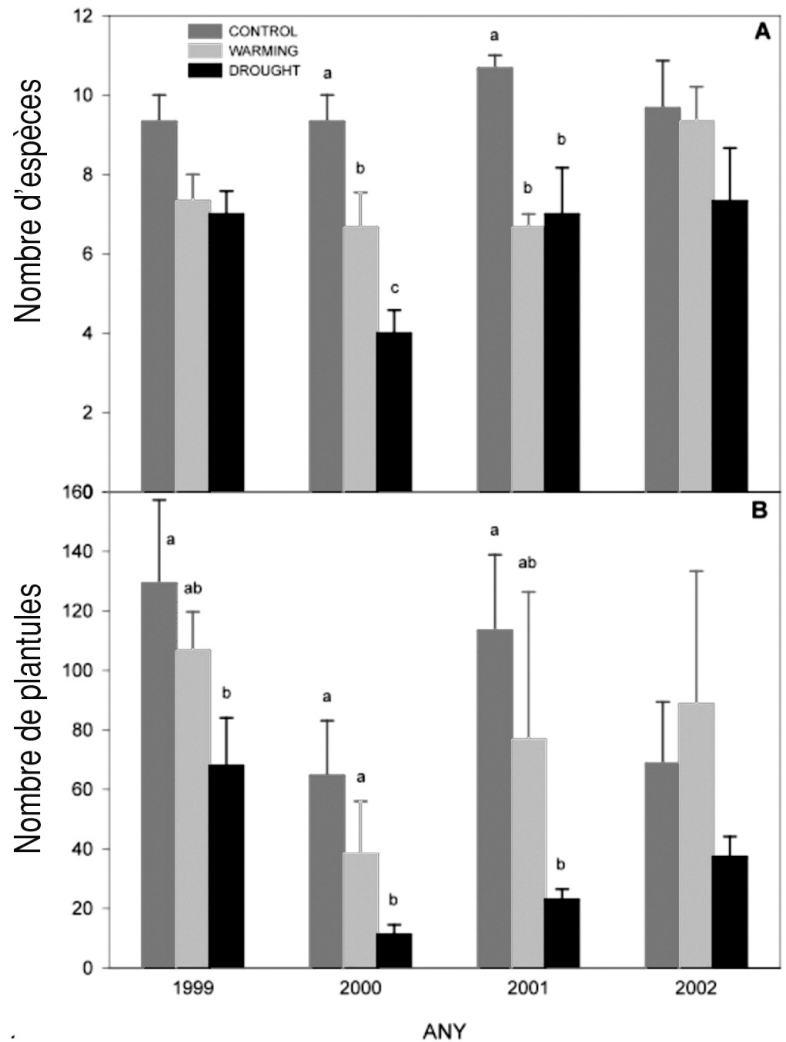


Fig. 5 (ci-dessus) : Baisse de la diversité d'espèces (A) et du nombre d'individus dans les semis naturels (B) dans une végétation arbustive soumise aux niveaux de sécheresse et de réchauffement projetés pour les deux prochaines décennies à Garraf (côte centrale de Catalogne, Espagne)
Par Lloret *et al.* 2004

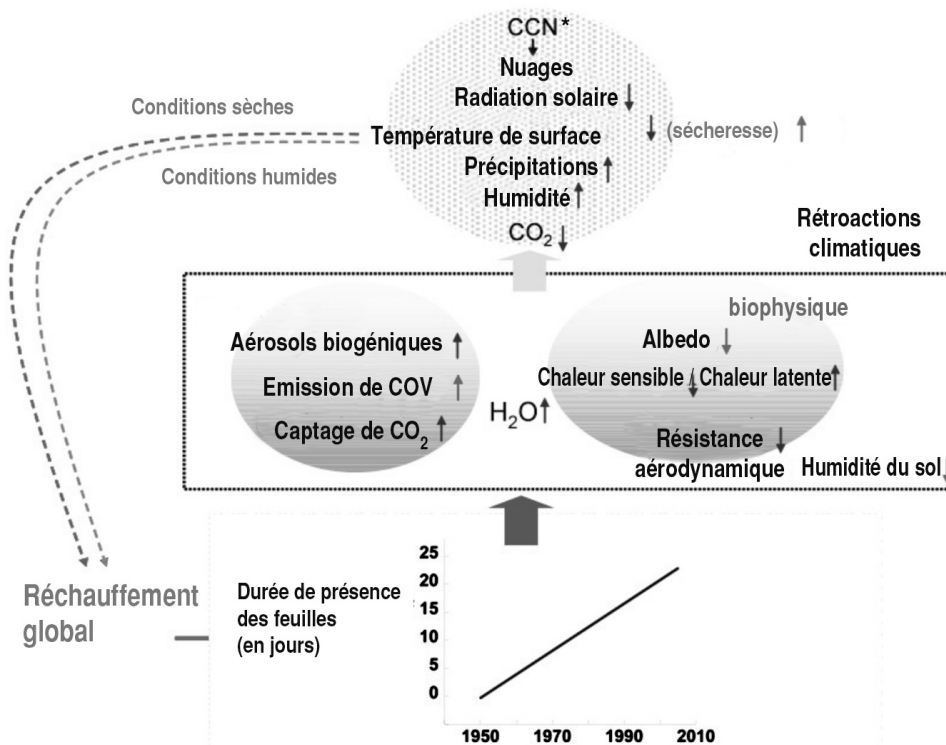


Fig. 6 (ci-contre) : Rétroactions climatiques des changements phénologiques.
A partir de Peñuelas *et al.* 2009.
* Noyaux de condensation de nuages.

Josep PEÑUELAS & al.
Unité d'écologie
générale
CREAF-CEAB-CSIC,
bâtiment C,
Université Autonome
de Barcelone,
08193 Bellaterra
Espagne
Email :
josep.penuelas@
uab.cat

Références

- CARNICER J, COLL M, NINYEROLA M, PONS X, SANCHEZ G, PEÑUELAS J. 2010. Widespread defoliation rates related to climate change related droughts. PNAS, in press
- CURIEL-YUSTE J, PEÑUELAS J, SARDANS J, ESTIARTE M. MATTANA S. 2010 Diversity of drought-resistant fungi control the temperature sensitivity of soil CO₂ exchange. *Global Change Biology*, in press.
- IPCC (2007) Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104
- JUMP A., HUNT J.M., MARTÍNEZ-IZQUIERDO J.A., PEÑUELAS J. 2006. Natural selection and climate change: temperature-linked spatial and temporal trends in gene frequency in *Fagus sylvatica*. *Molecular Ecology* 15: 3469-3480.
- JUMP A., MÁTYÁS C., PEÑUELAS J. 2009. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 694-701
- LLORET F., PEÑUELAS J., ESTIARTE M. 2004 Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community. *Global Change Biology* 10: 248-258.

- PEÑUELAS J., LLORET F., MONTOYA R. 2001. Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science*, 47(2): 214-218.
- PEÑUELAS J., FILELLA I., COMAS P. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952-2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 8: 531-544.
- PEÑUELAS J., BOADA M. 2003 A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global change Biology* 9(2): 131-140.
- PEÑUELAS J., OGAYA R., BOADA M., JUMP A. 2007. Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia. *Ecography* 30: 830-838.
- PEÑUELAS J., RUTISHAUSER T., FILELLA I. 2009. Phenology Feedbacks on Climate Change. *Science* 324: 887-888
- PEÑUELAS J., CANADELL J, OGAYA R. 2010 Increased water use efficiency in the last decades did not translate into increased tree growth. *Global Ecology and Biogeography* in press
- PEÑUELAS J., STAUDT M. 2010. BVOCs and global change. *Trends in Plant Science* 15: 133-144.
- ZHAO M, RUNNING S., 2010 Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2000 Through 2009. *Science*, 329 (5994): 940-943.

Résumé

Un nombre croissant de preuves des impacts biologiques du changement climatique est en train d'être mise à disposition au niveau des forêts méditerranéennes. Le printemps biologique arrive plus tôt, et l'hiver est retardé, à tel point que la période végétative a augmenté de 4 à 5 jours par décennie au cours des 40 dernières années, et la végétation méditerranéenne semble progresser vers le nord et en altitude dans nos montagnes. Beaucoup d'autres changements ont été observés dans les dernières décennies en réponse au changement climatique : des sécheresses plus sévères et plus fréquentes, des risques d'incendies accrus, une hausse des émissions biogéniques de composés organiques volatils dans nos écosystèmes... L'augmentation du réchauffement et la diminution des précipitations prévues pour les prochaines décennies, si elles se produisent, vont affecter la physiologie, la phénologie, la croissance, la reproduction, l'implantation, et finalement, la distribution des organismes, et par là-même, la structure et le fonctionnement de nos forêts. En fait, ceci a déjà été démontré par des études modélisant le réchauffement et l'assèchement, et où certaines espèces se sont révélées plus affectées que d'autres et ont présenté des capacités de résistance altérées. En fin de compte, la composition de la communauté a été modifiée. Il a été observé, par exemple, que la diversité d'arbustes a diminué en situation de réchauffement, et plus encore, en situation de sécheresse. En plus de ces changements structuraux, des changements fonctionnels ont été observés. L'un d'entre eux est la diminution de l'absorption de CO₂ suite à des épisodes secs ; un autre est la perte accrue de nutriments par lessivage après les pluies, en réponse au réchauffement. Ces changements affectent, et affecteront les multiples services productifs, environnementaux, et sociaux fournis par les écosystèmes terrestres. Par exemple, la fonction de puits de carbone de beaucoup de nos écosystèmes peut être sérieusement remise en cause au cours des prochaines décennies. Dans les prochaines années, les politiques de boisement de friches agricoles et de reboisement de zone dégradées devraient considérer les conditions prévues à court terme. Parmi elles, on trouve notamment la diminution de la disponibilité en eau, conséquence de la baisse des précipitations et/ou de l'augmentation de l'évapotranspiration, ainsi qu'une plus grande demande des écosystèmes qui sont plus actifs du fait de l'augmentation du taux de CO₂ et des températures. La gestion des espaces forestiers doit être envisagée à l'échelle du paysage, dans une planification qui prend en compte la combinaison de différents espaces, ainsi que la multiplicité de leurs usages et les effets des perturbations, comme par exemple des feux de forêt.