



**HAL**  
open science

## Dérèglements biologiques observés ou prédits, notion de niche(s) climatique(s) chez les arbres forestiers.

Francois Lefèvre

### ► To cite this version:

Francois Lefèvre. Dérèglements biologiques observés ou prédits, notion de niche(s) climatique(s) chez les arbres forestiers.. Colloque de la Société Nationale d'Horticulture de France (SNHF) Le dérèglement climatique, un défi pour les plantes, Jun 2021, en ligne, France. hal-03666643

**HAL Id: hal-03666643**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03666643>**

Submitted on 24 Sep 2023

**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.

# Dérèglements biologiques observés ou prédits, notion de niche(s) climatique(s) chez les arbres forestiers

François Lefèvre, INRAE, Ecologie des Forêts Méditerranéennes (URFM), Avignon

## Résumé

Les écosystèmes forestiers renferment une grande biodiversité et contribuent à de multiples objectifs de développement durable, y compris pour l'atténuation du réchauffement climatique. Le changement climatique, par son évolution tendancielle et par ses événements extrêmes, est à l'origine de dérèglements biologiques chez les arbres observés ou attendus dans le futur. Les populations d'arbres ont deux principaux atouts pour faire face aux aléas climatique : leur plasticité et leur diversité génétique qui leur confère une grande capacité d'adaptation. Mais les arbres ont aussi deux faiblesses : leur longue durée de vie qui induit des effets cumulatifs du climat sur plusieurs années et leur long temps de génération qui ralentit leur évolution. La question de la persistance des populations d'arbres se pose, selon les espèces, selon les régions climatiques. Cet article fait une (très) brève synthèse des connaissances sur les impacts démographiques du climat sur la croissance, la survie et la reproduction des arbres, connaissances issues d'observations et de travaux de modélisation. La notion de niche climatique est ensuite revisitée pour intégrer la diversité génétique intraspécifique : on voit alors que la niche climatique d'une espèce est plurielle, et évolutive. Face au changement climatique, la gestion forestière doit faire face à de multiples incertitudes et la pluralité des connaissances scientifiques peut être aussi source de complexité, le dialogue entre chercheurs et gestionnaires est nécessaire pour le développement de stratégies adaptatives.

## Introduction

Les écosystèmes forestiers représentent 31% des surfaces continentales terrestres (FAO<sup>1</sup>) et assurent 50% de la production primaire nette terrestre (Bonan, 2008). Les forêts représentent 46% du continent Européen, 31% du territoire national métropolitain (mais 97% en Guyane). Ces surfaces évoluent pour différentes raisons suivant les régions du globe : réduction des grands massifs forestiers Africains et Sud Américains, stabilité en Amérique Centrale, Amérique du Nord et en Océanie, léger accroissement en Europe, accroissement particulièrement marqué en France métropolitaine (+8,5% en 15 ans).

Les forêts renferment de multiples habitats pour la faune et la flore et assurent de multiples services écosystémiques : production de bois d'œuvre et de biomasse, autres produits de la forêt (chasse, champignons, etc.), protection des sols contre l'érosion, protection des habitats contre les chutes de blocs ou les avalanches, préservation d'une ressource en eau de qualité, séquestration du carbone atmosphérique, régulation climatique globale (forêts tropicales) ou locale (forêts urbaines), qualité paysagère et identité territoriale, loisirs et ressourcement, pratiques sportives, etc. Les forêts se retrouvent ainsi au carrefour de plusieurs objectifs de développement durables définis par les Nations Unies. Les arbres sont des organismes structurants de ces écosystèmes: leur devenir est dépendant de, et déterminant pour toutes les interactions dans lesquelles ils sont impliqués.

---

<sup>1</sup> <https://fra-data.fao.org/WO/fra2020/home>

Le réchauffement climatique a de multiples effets, positifs et négatifs, sur la biologie des arbres, dont le bilan global est négatif et différents dérèglements sont observés ou attendus : baisse de croissance, dépérissement, défauts de reproduction, mortalité. Les causes possibles de dérèglement peuvent être directement ou indirectement liées au climat : effets directs de la tendance au réchauffement climatique (chaleur, sécheresse), effets directs de climats extrêmes (canicules mais aussi froids exceptionnels, sécheresse, tempêtes), effets indirects induits par le réchauffement (parasites émergents, incendies, cascades de risques). En retour, les dérèglements biologiques des arbres forestiers peuvent limiter le rôle de régulation climatique des forêts et contribuer ainsi à aggraver le réchauffement climatique dans une spirale néfaste. La question de la persistance des arbres et des forêts dans le contexte du réchauffement climatique est un domaine de recherche très actif.

Au sein de chaque espèce d'arbres forestière, les populations d'arbres ont divers mécanismes de « résilience » face aux aléas (ici employé au sens large, c'est-à-dire de la persistance des peuplements locaux) : la résistance, la capacité de récupération, l'acclimatation, l'adaptation génétique. A cela s'ajoute, au niveau des communautés d'arbres, les mécanismes de succession de différentes espèces au cours des cycles sylvigénétiques qui maintiennent un couvert forestier, changeant dans sa composition, sous des régimes de perturbations récurrentes. On s'intéressera ici aux mécanismes propres au maintien de chacune des espèces. Les espèces d'arbres ont en général une grande diversité génétique qui leur confère un grand potentiel adaptatif (Alberto et al., 2013) mais, d'un autre côté, la vitesse de changement est telle (Loarie et al., 2009) que ce potentiel n'y suffira pas partout : la question des limites du changement climatique que peuvent supporter les arbres est donc bien posée. Il est tentant de relier cette question des limites à la notion d'enveloppe ou de niche climatique, mais il faut alors un nouveau regard sur cette notion pour tenir compte de la diversité au sein des espèces et de l'évolutivité de ces limites.

### Dérèglements biologiques d'origine climatique chez les arbres, observations et prédictions

Une publication récente (Mc Dowell et al., 2020) fait la synthèse des connaissances sur les dérèglements récents observés et prédits par les modèles dans les forêts mondiales, en liaison avec les changements globaux, changement climatique et changements d'usage des terres (non traités ici). Pour comprendre ces impacts, il faut avoir une perception dynamique de la forêt passant par des états successifs de vieille forêt, de perturbation, de reconstitution du couvert, de jeune forêt en pleine croissance, etc. L'accroissement de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique a un effet bénéfique sur la croissance des arbres principalement dans les jeunes forêts, moins dans les vieilles forêts, en favorisant la photosynthèse et l'efficacité d'utilisation de l'eau, et pourrait avoir un effet bénéfique sur la reproduction. Noter que cette meilleure croissance peut aussi avoir des effets négatifs collatéraux, du fait d'une accélération de la mortalité par renforcement de la compétition entre arbres ou d'une augmentation de la sensibilité au vent. Inversement, l'accroissement de la température et du déficit de vapeur d'eau ont un effet globalement négatif sur la croissance, la survie et la reproduction (sauf dans les régions froides et bien arrosées). On attend des sécheresses globalement plus fréquentes, plus longues et plus sévères, qui auront des effets également négatifs sur croissance, survie et régénération des peuplements. Les feux de forêts ou les tempêtes, dont la fréquence et l'intensité sont aussi attendues à la hausse, devraient avoir des effets un peu différents avec des mortalités massives mais suivies de régénérations actives (si les autres conditions climatiques le permettent, sécheresse notamment) et de croissance dynamique dans les stades de jeunes forêts. Le bilan global de ces différents impacts démographiques est négatif à l'échelle du globe, avec d'importantes variations selon les régions.

En France métropolitaine, les indicateurs de suivi de l'état sanitaire des forêts par le Département de la Santé des Forêts (DSF, 2021) révèlent des épisodes réguliers depuis trente ans de dépérissements attribués à la sécheresse, à l'échelle régionale ou nationale. Les dépérissements se cumulent alors sur au moins trois années successives (1989-1991, 2003-2005, 2015-2020). Il faut aussi noter des dégâts réguliers de gels tardifs qui, eux, ne touchent qu'une année à chaque fois. L'année 2017 a cumulé les deux types de dégâts à l'échelle nationale et plus particulièrement dans le Nord-Ouest. Le taux de réussite des plantations n'est suivi que depuis 2007, mais on observe des dégâts modérés réguliers depuis 2015. On ne parle pas ici des aspects biotiques, qui peuvent être indirectement liés au réchauffement climatique. La mortalité des arbres est un processus complexe, impliquant différents mécanismes physiologiques (embolie des vaisseaux conducteurs, manque de réserves carbonées, dégâts de gel) et de multiples facteurs aggravants en interaction (compétition, défoliations, etc. ; Petit-Cailleux et al., 2020).

Tous les changements observés ou prédits ne peuvent pas non plus être attribués au changement climatique, comme le montrent deux études récentes basées sur des approches combinant la modélisation des processus écologiques et des interactions avec les acteurs forestiers pour l'analyse conjointe de scénarios climatiques futurs et de scénarios d'orientation des politiques forestières. Une première étude montre que les services écosystémiques futurs fournis par les forêts de Catalogne varient plus selon les scénarios de politique forestière que selon les scénarios climatiques choisis (Moran-Ordoñez et al., 2020). La seconde étude, sur les forêts du Parc Naturel Régional du Mont-Ventoux, montre que les choix faits par les gestionnaires par anticipation des effets du changement climatique et prise en compte des orientations politiques forestières ont plus d'effet sur l'évolution de la distribution des espèces sur le territoire que le changement climatique lui-même, avec des conséquences sur les services écosystémiques associés (Tufféry et al., 2021).

On observe donc des dérèglements climatiques, et on en attend d'autres qu'il faut anticiper. Mais l'action anticipatrice, nécessaire, devient également à son tour un facteur de changement. Les décideurs et les gestionnaires forestiers se trouvent donc face à la complexité de gestion de l'incertitude et des risques, risques multiples à court terme et à long terme dont il faut parfois gérer des compromis. Parmi les questions délicates est celle du choix des essences (à planter ou à favoriser dans la gestion des dynamiques naturelles) : atteint-on les limites de l'espèce actuellement présente, faut-il anticiper un changement d'espèce ? La question de la niche climatique des espèces est donc posée de façon très concrète. Notons toutefois déjà que les questions de la gestion se posent au niveau local alors que la niche est généralement définie au niveau de l'aire globale des espèces : cela anticipe un autre point qui sera abordé ultérieurement.

### Niche ou enveloppe climatique des espèces : une notion plurielle.

La notion de niche écologique est déjà ancienne et a connu diverses acceptions, parfois sujet de controverses (Pocheville, 2011). Même si l'idée du lien entre les espèces et les habitats soit très ancienne, le terme de « niche » apparaît au début du XXe siècle avec notamment Grinnell (1917) qui la définit comme l'ensemble des facteurs abiotiques et biotiques qui conditionnent l'existence d'une espèce à un endroit donné. Dans cette définition, la composante des facteurs abiotiques correspond bien à une composante géographique, mais la composante des facteurs biotiques, qui incluent les compétiteurs, relève plus de processus locaux d'interaction que de caractéristiques biologiques de l'espèce. D'autres définitions sont apparues par la suite et c'est Hutchinson (1957) qui définit la niche comme une caractéristique de l'espèce définie par les valeurs limites d'un ensemble de variables abiotiques et biotiques à l'intérieur desquelles l'espèce peut exister, c'est la « niche fondamentale », qui se distingue de la « niche réalisée » définie par la place effectivement occupée par l'espèce, après

intervention des compétiteurs locaux éventuels. Quand on parle de niche climatique on se réfère donc plutôt au concept de niche fondamentale au sens de Hutchinson, et encore faudrait-il plutôt parler d'enveloppe climatique dans la mesure où seules les variables climatiques sont prises en compte.

La présence d'une espèce en un point local relève donc de la niche réalisée plutôt que de la niche fondamentale, mais quand on regarde la cartographie globale des présences et absences d'une espèce à l'échelle de son aire de distribution, on s'attend à ce que les facteurs locaux n'affectent que des points locaux sans changer l'enveloppe générale. L'enveloppe des points de présence et absence d'une espèce dans l'espace des variables climatiques donne une idée de la niche climatique des espèces. De telles cartes sont disponibles pour la plupart des espèces d'arbres forestiers d'Europe (78 espèces) dans l'Atlas Européen des essences forestières<sup>2</sup>. Comme on peut s'y attendre, l'espace climatique occupé varie beaucoup entre les espèces (espèces de montagne, espèces Méditerranéennes, espèces boréales,...), mais il y a aussi des espèces, comme le Pin sylvestre, dont l'enveloppe climatique recouvre presque l'intégralité des enveloppes climatiques de toutes les espèces (en d'autres termes, dans toute condition climatique où on trouve de la forêt peut se trouver du Pin sylvestre, ou presque).

En combinant la modélisation de la niche climatique fondamentale des espèces avec des scénarios climatiques futurs à l'échelle d'un continent, on peut prédire leur distribution géographique potentielle future. Cela est utile pour localiser des zones ayant un risque futur élevé de dégâts sur les forêts, ou pour déterminer des aires d'utilisation des espèces en plantation.

Une première façon de modéliser la niche climatique fondamentale consiste en une analyse fine des données de présence ou d'absence à l'échelle de l'aire de distribution. Dans le cas des arbres forestiers, et peut-être pour d'autres espèces aussi, se pose néanmoins un premier problème qui est que la répartition actuelle des espèces résulte du processus de recolonisation post-glaciaire et qu'il peut rester, pour certaines espèces, des espaces géographiques non encore colonisés mais potentiellement viables. Un second problème survient lorsque les facteurs locaux qui déterminent la niche réalisée prennent trop d'ampleur, comme cela a été montré pour le Hêtre pour qui les zones urbanisées en Europe correspondent une large plage de zones climatiques particulièrement favorables dont l'espèce est exclue ce qui affecte sa niche climatique modélisée de cette façon (Ay et al., 2017). Une autre façon de modéliser la niche climatique fondamentale s'appuie sur l'utilisation de modèles de processus écophysologiques de réponse des arbres aux conditions environnementales, modèles calibrés pour chacune des espèces. Les mécanismes physiologiques de réponse aux facteurs environnementaux sont nombreux et induisent des interactions complexes, tous les modèles ne prennent pas en compte l'ensemble de ces mécanismes, ni leurs interactions, de la même manière. Ainsi, différents modèles peuvent être utilisés pour prédire des distributions potentielles futures. Selon les espèces, ces différents modèles peuvent conduire à des prédictions convergentes ou, au contraire, très différentes (Cheaib et al., 2012) : il est donc souvent nécessaire de confronter différents types de modèles et, le cas échéant, l'interprétation de leurs divergences permet de mieux comprendre la diversité des mécanismes locaux qui définissent les limites de la niche climatique des espèces.

### Diversité et évolutivité de la niche climatique des espèces

On comprend bien que les facteurs climatiques qui définissent les limites de la niche ne soient pas les mêmes aux limites Nord ou Sud, en basse ou en haute altitude. D'un autre point de vue, on comprend aussi que la diversité génétique au sein de chaque espèce, en particulier sa diversité génétique adaptative, est structurée spatialement au sein de son aire de distribution. C'est ce que les forestiers

---

<sup>2</sup> <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/european-atlas/>

ont montré depuis longtemps : au sein de chaque espèce d'arbre, les différentes provenances géographiques ont des capacités adaptatives différentes que l'on peut mettre en évidence expérimentalement en les comparant dans un environnement commun, ce qu'on appelle des plantations comparatives. Cette diversité génétique adaptative résulte du processus d'adaptation locale qui combine sélection naturelle au sein des populations dans leur environnement spécifique, flux de gènes entre populations, et hasard. De telles expérimentations existent pour un grand nombre d'espèces. Chaque espèce a des populations plus ou moins aptes à supporter les stress climatiques et des populations plus ou moins vigoureuses en conditions favorables, avec le plus souvent un antagonisme entre tolérance au stress et capacité à valoriser les conditions favorables (Rehfeldt et al., 2001).

Une première conséquence de cette diversité génétique est que la notion de niche climatique ne devrait pas être limitée au niveau de l'espèce comme on le fait souvent : toutes les populations d'une même espèce n'ont pas la même niche climatique. On pourrait parler des niches climatiques d'une espèce. Ainsi, Benito-Garzon et al. (2011) ont montré que les différentes provenances de Pin maritime et de Pin sylvestre de la Péninsule Ibérique auront, sous les scénarios climatiques futurs, une distribution géographique potentielle plus réduite ou au contraire plus étendue que leur distribution actuelle : les prédictions sont diverses entre populations d'une même espèce. On pourrait alors définir la niche climatique d'une espèce comme l'ensemble des niches climatiques des populations qui la composent. Valladares et al. (2014) ont montré que la prédiction de l'aire potentielle future des espèces sous changement climatique n'est pas la même selon que l'on considère l'espèce comme une entité homogène ou que l'on prend en compte l'hétérogénéité des capacités de réponse des populations au climat.

Une seconde conséquence de la diversité génétique adaptative au sein des espèces vient du fait que cette diversité résulte des processus évolutifs : la niche climatique d'une espèce est donc évolutive, elle n'est pas figée une fois pour toutes. Un bel exemple de l'évolutivité de la niche climatique a été étudié chez une espèce Centaurée introduite sur le continent Nord Américain où elle s'est répandue spontanément en quelques générations successives, colonisant une niche climatique différente de celle de son aire d'origine Euro-Asiatique (Broennimann et al., 2007). Chez les arbres forestiers on dispose de moins de générations, néanmoins on peut citer le cas du Pin radiata dont l'aire naturelle est réduite à quelques populations de climat tempéré sur les côtes et les îles Californiennes et qui, après quelques cycles d'amélioration génétique, a été installée dans des conditions climatiques extrêmement variées et contrastées sur tous les continents.

## Conclusion

La diversité et le potentiel d'évolution de la niche climatique ne suffiront pas, seuls, pour permettre à toutes les espèces d'arbres de répondre à la vitesse et à l'ampleur du changement climatique dans toutes les régions. Une des orientations actuelles des programmes de recherche vise à identifier les espèces et les zones géographiques où le risque d'extinction est le plus élevé, en s'appuyant sur des travaux de modélisation et d'analyse des risques suivant différents scénarios climatiques et différents scénarios de politiques forestières (Chakraborty et al., 2021 ; Petit-Cailleux, 2020). Un autre axe de recherche vise à mieux comprendre les impacts des différentes pratiques de gestion forestière (dont la non gestion) sur les mécanismes d'évolution de la diversité génétique afin de développer des stratégies permettant de favoriser les adaptations rapides tout en préservant la diversité génétique sur le long terme (Lefèvre et al., 2014). Dans le contexte de changement climatique, un enjeu majeur pour les forestiers est de gérer les multiples incertitudes : sur les scénarios climatiques, sur les réponses biologiques des écosystèmes, sur les impacts à long terme des pratiques, pluralité des

connaissances disciplinaires. Pour parvenir à développer des stratégies adaptatives, recherche et gestion renforcent leurs dialogue (Legay et al., 2015).

## Bibliographie

ALBERTO F., AITKEN S., ALIA R., GONZALEZ-MARTINEZ S., HANNINEN H., KREMER A., LEFEVRE F., LENORMAND T., YEAMAN S., WHETTEN R., SAVOLAINEN O., 2013. Potential for evolutionary responses to climate change - evidence from tree populations. *Global Change Biol.*, 19, 1645-1661.

AY J.S., GUILLEMOT J., MARTIN SAINT PAUL N., DOYEN L., LEADLEY P., 2017. The economics of land use reveals a selection bias in tree species distribution models. *Global Ecol. Biogeogr.*, 26, 65-77.

BENITO GARZÓN M., ALÍA R., ROBSON T.M., ZAVALA M.A., 2011. Intra-specific variability and plasticity influence potential tree species distributions under climate change. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 20, 766-778.

BONAN G.B., 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320, 1444-1449.

BROENNIMANN O., TREIER U.A., MÜLLER-SCHÄRER H., THUILLER W., PETERSON A.T., GUISAN A., 2007. Evidence of climatic niche shift during biological invasion. *Ecology Letters*, 10, 701-709.

CHAKRABORTY D., MORICZ N., RASZTOVITS E., DOBOR L., SCHUELER S., 2021. Provisioning forest and conservation science with high-resolution maps of potential distribution of major European tree species under climate change. *Ann. For. Sci.*, 78, 26 (en ligne)

CHEAIB A., BADEAU V., BOE J., CHUINE I., DELIRE C., DUFRENE E., FRANÇOIS C., GRITTI E. S., LEGAY M., PAGE C., THUILLER W., VIOVY N., LEADLEY P., 2012. Climate change impacts on tree ranges :Model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters*, 15, 533-544.

DSF, 2021. Quelques indicateurs de la santé des forêts (1989-2020). Département Santé des Forêts, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Paris. 3p.

GRINNELL J., 1917. The niche relationships of the California trasher. *The Auk*, 34, 427-433.

HUTCHINSON G.E., 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415-427.

LEFÈVRE F., BOIVIN T., BONTEMPS A., COURBET F., DAVI H., DURAND-GILLMANN M., FADY B., GAUZERE J., GIDOIN C., KARAM M.J., LALAGÜE H., ODDOU-MURATORIO S., PICHOT C., 2014. Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Ann. For. Sci.*, 71, 723-739.

LEGAY M., BASTIEN C., BASTIEN J.C., BARTET X., DAVI H., DHÔTE J.F., DUCOUSSO A., BENITO-GARZON M., CAQUET T., DREYFUS P., JAMBOIS A., LEFÈVRE F., MARÇAIS B., MENGIN-LECREULX P., MICHENEAU C., PINTO P., PLOMION C., SARDIN T., 2015. Adaptation : vers un enrichissement du dialogue recherche-gestion. *Innovations Agronomiques*, 47, 121-130.

LOARIE S.R., DUFFY P.B., HAMILTON H., ASNER G.P., FIELD C.B., ACKERLY D.D., 2009. The velocity of climate change. *Nature*, 462, 1052-1055.

MC DOWELL N.G., ALLEN C.D., ANDERSON-TEIXEIRA K., AUKEMA B.H., BOND-LAMBERTY B., CHINI L., CLARK J.S., DIETZE M., GROSSIORD C., HANBURY-BROWN A., HURTT G.C., JACKSON R.B., JOHNSON D.J., KUEPPERS L., LICHSTEIN J.W., OGLE K., POULTER B., PUGH T.A.M., SEIDL R., TURNER M.G., URIARTE

M., WALKER A.P., XU C., 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*, 368, eaaz9463.

MORAN-ORDOÑEZ A., AMEZTEGUI A., DE CACERES, DE-MIGUEL S., LEFEVRE F., BROTONS L., COLL L., 2020. Future trade-offs and synergies among ecosystem services in Mediterranean forests under global change scenarios. *Ecosystem Services*, 45, 101174 (en ligne)

PETIT-CAILLEUX C., 2020. Localiser et comprendre le risque de mortalité d'arbres forestiers sous l'effet du changement climatique. Thèse, Montpellier SupAgro, 268p.

PETIT-CAILLEUX C., DAVI H., LEFEVRE F., GARRIGUE J., MAGDALOU J.A., HURSON C., MAGNANOU E., ODDOU-MURATORIO S., 2020. Comparing statistical and mechanistic models to identify the drivers of mortality within a rear-edge beech population. *BioRxiv* 645747, ver. 7 peer-reviewed and recommended by PCI Ecology

POCHEVILLE A., 2011. La Niche Ecologique: Histoire et Controverses Récentes, in: Heams T., Huneman P., Lecointre G., Silberstein M. (Eds.), *Les Mondes Darwiniens. L'évolution de L'évolution. Matériologiques*, Paris, pp. 897-933.

REHFELDT G.E., WYKOFF W.R., YING C.C., 2001. Physiological plasticity, evolution, and impacts of a changing climate on *Pinus contorta*. *Clim. Change*, 50, 355-376.

TUFFÉRY L., DAVI H., LÓPEZ-GARCÍA N., RIGOLOT E., JEAN F., STENGER A., LEFÈVRE F., 2021. Adaptive measures for Mediterranean mountain forest ecosystem services under climate and land cover change in the Mont-Ventoux Natural Regional Park, France. *Regional Environmental Change*, 21, 12 (en ligne)

VALLADARES F., MATESANZ S., GUILHAUMON F., ARAUJO M.B., BALAGUER L., BENITO GARZÓN M., CORNWELL W., GIANOLI E., VAN KLEUNEN M., NAYA D.E., NICOTRA A.B., POORTER H., ZAVALA M.A., 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. *Ecology Letters*, 17, 1351-1364.