

Impact des changements climatiques sur la répartition des pins tropicaux en Asie du Sud-Est

M. van Zonneveld, J. Koskela, B. Vinceti et A. Jarvis

*La modélisation de l'enveloppe climatique est utilisée pour prédire les déplacements possibles de l'aire de répartition de *Pinus kesiya* et *P. merkusii*, qui pourraient avoir une incidence sur la conservation et l'utilisation de leurs ressources génétiques.*

Les forêts naturelles de pins d'Asie du Sud-Est renferment deux espèces prédominantes et économiquement importantes, *Pinus kesiya* et *P. merkusii*, et deux espèces endémiques rares, *P. dalatensis* et *P. krempfii*. Au cours des décennies écoulées, la déforestation a amenuisé leur aire (FAO, 2007), malgré plusieurs projets de conservation (Danida Forest Seed Centre, 2000; Razal *et al.*, 2005, par exemple). L'exploitation de résine et la collecte de bois de feu non contrôlées dégradent maints peuplements de pins résiduels. Les changements climatiques risquent de poser de nouvelles menaces à ces forêts de pins et d'en compromettre la régénération, la croissance et la répartition.

La déforestation a érodé les ressources génétiques des espèces de pins. Cependant, les forêts de pins restantes comprennent encore des ressources génétiques qui peuvent servir à la remise en état des forêts de pins naturelles dégradées, à l'amélioration

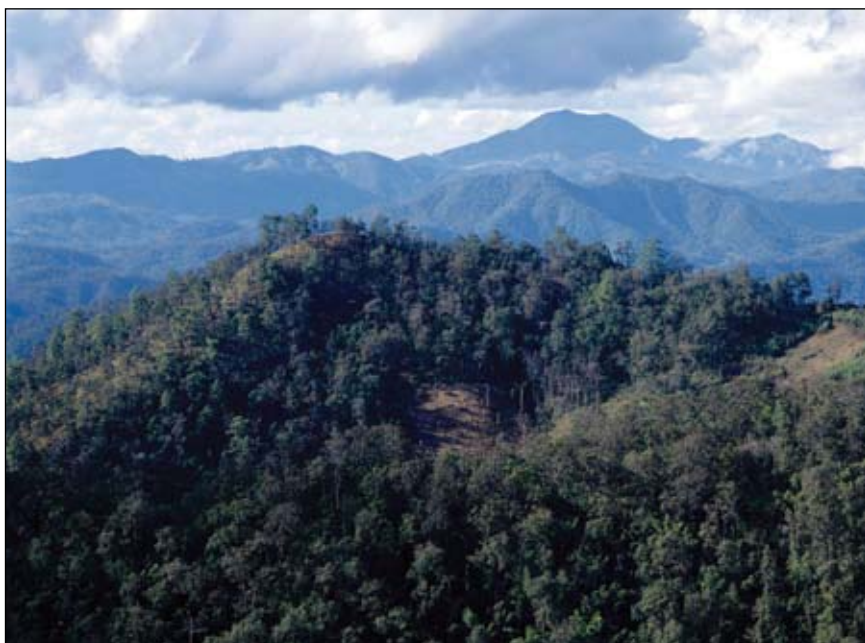
des arbres et à l'établissement de plantations forestières.

Le présent article décrit l'utilisation de la modélisation de l'enveloppe climatique (MEC) pour estimer la présence potentielle de *P. kesiya* et *P. merkusii* en Asie du Sud-Est dans les conditions climatiques actuelles, et analyser comment elle pourrait varier sous l'effet des changements climatiques. Il examine aussi les répercussions des résultats sur la conservation et l'utilisation des ressources génétiques de ces deux espèces de pins en Asie du Sud-Est.

LES PINS EN ASIE DU SUD-EST

Pinus kesiya est une espèce montagnarde qui pousse entre 800 et 1 200 m d'altitude et va des montagnes de l'Assam en Inde, à travers le Myanmar, la Thaïlande, la République démocratique populaire lao, le Viet Nam et le Cambodge, jusqu'au sud de la Chine et aux Philippines (Turnbull, Armitage et Burley, 1980). *P. merkusii* se rencontre à des altitudes inférieures

Pinus kesiya pousse dans les montagnes d'Asie du Sud-Est: un peuplement naturel sur une crête (pente de gauche) à 1 200-1 300 m d'altitude, Province de Chiang Mai, nord de la Thaïlande



Maarten van Zonneveld est expert associé auprès du Bureau des Amériques de Bioversity International à Cali (Colombie).

Jarkko Koskela et Barbara Vinceti travaillent au Bureau européen de Bioversity International à Maccarese, près de Rome (Italie).

Andy Jarvis travaille avec Bioversity International et le Centre international d'agriculture tropicale (CIAT) à Cali (Colombie).

FROM KASHIO



Pinus merkusii se rencontre à des altitudes inférieures: un peuplement naturel à 600 m d'altitude, Province de Chiang Mai, nord de la Thaïlande

dans ces mêmes pays, à l'exclusion de la Chine et de l'Inde (Cooling, 1968), ainsi qu'en Indonésie (Sumatra), confirmant ainsi sa présence comme seule espèce de pin poussant de façon naturelle dans l'hémisphère Sud. *P. dalatensis* et *P. krempfii* ne s'étendent pas au-delà des montagnes du sud du Viet Nam (Richardson et Rundel, 1998).

P. kesiya, plantée à l'intérieur et hors de son aire naturelle, est désormais une essence importante pour les plantations forestières, notamment dans plusieurs pays d'Afrique. *P. merkusii* est moins intéressante pour les plantations forestières car, en Asie du Sud-Est continentale, la croissance en hauteur initiale des plantules est retardée de plusieurs années. En effet, l'espèce passe par un «stade herbacé» où les aiguilles revêtent la forme de touffes d'herbe, pendant que se développe une robuste racine pivotante – attribut considéré comme un avantage sélectif pour la régénération naturelle dans les zones particulièrement touchées par les incendies. *P. merkusii* n'a été utilisée dans les plantations qu'en Indonésie car ses populations insulaires ne comprennent pas ce stade herbacé.

P. kesiya et *P. merkusii* se développent dans des terrains pauvres et bien drainés, formant souvent des peuplements mixtes

avec des essences décidues (*Dipterocarpus*, *Quercus* et *Shorea*, par exemple). Les deux espèces de pins supportent assez bien les incendies de forêt, mais des feux fréquents allumés par l'homme inhibent leur régénération, ce qui donne lieu à la formation de peuplements de pins ouverts du type savane. Cependant, le feu peut aussi aider les pins à occuper des emplacements d'où la concurrence d'espèces décidues les aurait évincés (Turakka, Luukkanen et Bhumibhamon, 1982).

PRÉDIRE LES AIRES DE RÉPARTITION ACTUELLES ET FUTURES

La modélisation de l'enveloppe climatique est un outil qui sert à évaluer rapidement l'impact potentiel des changements climatiques sur la répartition des espèces et des écosystèmes. Ce type de modélisation utilise la répartition géographique documentée d'une espèce pour prédire l'emplacement de sa niche climatique, c'est-à-dire la présence possible de l'espèce. Des déplacements futurs de la niche climatique sont ensuite estimés en fonction des projections climatiques des modèles de circulation globale.

L'analyse relative aux espèces de pins en Asie du Sud-Est a utilisé des données sur l'emplacement pour les populations

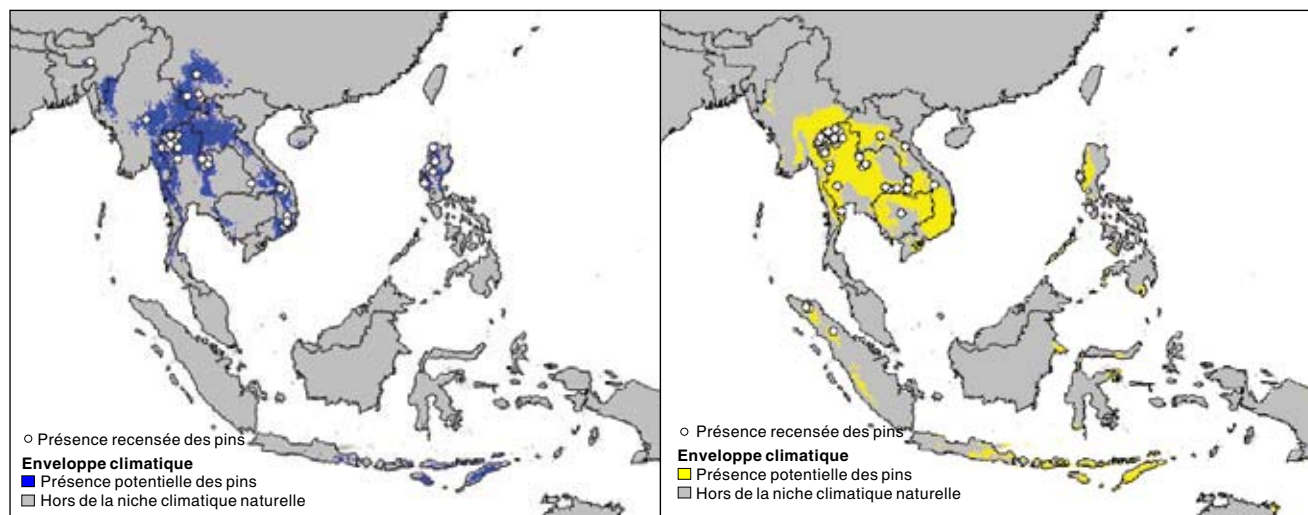
naturelles de pins identifiées comme provenances pour les programmes de récolte de semences (FAO, 1970; Centre de graines forestières Danemark/FAO, 1973; Barnes et Keiding, 1989) et les peuplements choisis pour les programmes de conservation *in situ* (Danida Forest Seed Centre, 2000; Razal *et al.*, 2005), ainsi que des données d'herbier accessibles gratuitement par le biais du Système mondial d'information sur la biodiversité (voir www.gbif.org). Les données comprenaient les sites de 46 populations naturelles de *P. kesiya* et 50 populations naturelles de *P. merkusii*.

Le climat actuel des populations naturelles de pins a été décrit en utilisant les 19 variables climatiques de Bioclim (Busby, 1991), tirées des strates du climat mondial de la base de données WORLDCLIM (Hijmans *et al.*, 2005a). Cette base de données a également fourni des informations sur l'aire altitudinale actuelle des espèces. Des projections climatiques ont été réalisées pour l'année 2050 à l'aide de la moyenne des prédictions relatives à deux modèles de circulation globale largement utilisés (HADCM3 et CCCMA), dans le cadre d'un scénario normal d'émissions de CO₂.

Le programme de modélisation Maxent de la MEC (Phillips, Anderson et Schapire, 2006) a été utilisé pour élaborer l'enveloppe climatique actuelle et future relative à la présence naturelle des deux espèces de pins. Les enveloppes climatiques ont été ensuite cartographiées et les changements ou déplacements des aires de répartition observés.

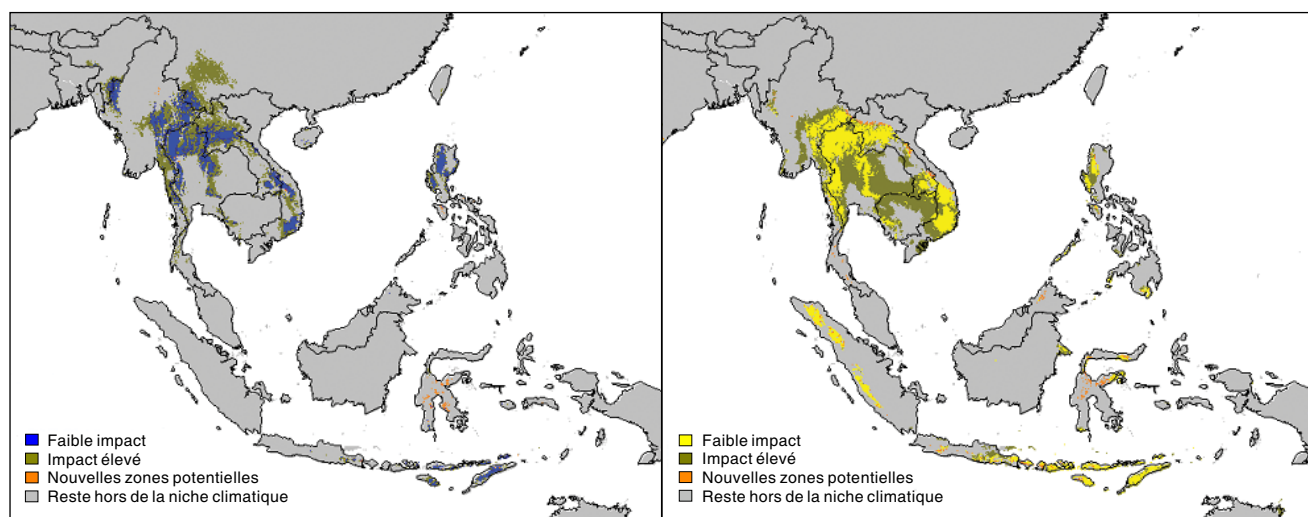
RÉPARTITION ACTUELLE ET POTENTIELLE DES PINS DANS LES CONDITIONS CLIMATIQUES PRÉSENTES

L'enveloppe climatique mise au point pour *P. kesiya* (figure 1) montre que, outre les aires où les populations naturelles ont été recensées, les espèces pourraient occuper plusieurs autres endroits au Myanmar, dans le nord-est et le sud de la Thaïlande, en République démocratique populaire lao et dans le sud-ouest du Cambodge. Bien qu'une seule population ait été recensée au Myanmar, on estime que *P. kesiya* serait beaucoup plus répandue dans ce pays que ne l'atteste l'information. Les provinces indonésiennes de Java et Nusa Tenggara se situent hors de son aire de répartition naturelle recensée, mais auraient un climat qui lui est favorable.



1
Présence recensée
et potentielle de
Pinus kesiya

2
Présence recensée
et potentielle de
Pinus merkusii



3
Prédiction de l'impact des
changements climatiques
sur la présence naturelle
de Pinus kesiya

4
Prédiction de l'impact des
changements climatiques
sur la présence naturelle
de Pinus merkusii

L'enveloppe climatique élaborée pour *P. merkusii* (figure 2) coïncide avec la répartition observée de l'espèce en Asie du Sud-Est continentale et à Sumatra. Les résultats de la MEC laissent entendre que le climat convient à *P. merkusii* hors de son aire géographique naturelle dans plusieurs parties de l'archipel malais et dans le nord de l'Australie.

IMPACTS POTENTIELS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA RÉPARTITION DU PIN

D'une manière générale, rares sont les nouvelles zones d'Asie du Sud-Est continentale que les changements climatiques rendraient adaptées à ces deux espèces

de pins (figures 3 et 4). Les peuplements de plaine de *P. merkusii* au Cambodge et en Thaïlande devraient, d'après les prévisions, être les plus menacés par les altérations climatiques (figure 4). Par ailleurs, on prévoit que le climat conviendra davantage aux plantations de *P. merkusii* que de *P. kesiya* dans plusieurs parties de l'archipel malais.

La plupart des populations de *P. kesiya* recensées se rencontrent à des altitudes majeures, à environ 1 022 m au-dessus du niveau de la mer. Les changements climatiques ne devraient pas influencer sensiblement ces populations. Celles de *P. kesiya* présentes dans des zones caractérisées par une saisonnalité à température

élevée pourraient être le plus sérieusement menacées (tableau 1), notamment les populations situées dans le sud de la Chine (figure 3). Toutefois, l'impact de l'évolution du climat sur ces populations pourrait s'avérer moins dramatique que ne le prédit la MEC. Les provenances de *P. kesiya* de Chine établies en essais hors de l'aire de répartition climatique naturelle de l'espèce, dans le sud-est de l'Afrique et au Viet Nam, ont donné des résultats modérément satisfaisants (Costa e Silva, 2007), ce qui donne à penser qu'elles sont à même de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques.

Il est prévu que les forêts de *P. merkusii* qui apparaissent déjà à des températures

élevées seront les plus vulnérables aux changements climatiques (tableau 2). Les provenances de plaine dans l'est de la Thaïlande et le nord du Cambodge notamment devraient, selon les prédictions, souffrir d'une hausse ultérieure de la température (figure 4). On peut s'attendre à ce que, dans plusieurs de ces peuplements forestiers, les températures dépassent le seuil de tolérance de l'espèce, avec des températures de pointe de plus de 36 °C au cours du mois le plus chaud de 2050 (tableau 2), température maximale qui, d'après la base de données Ecocrop de la FAO, provoquera la mort des arbres adultes de cette espèce (voir Hijmans *et al.*, 2005b). Dans ces lieux, les provenances locales de *P. merkusii* se dégraderont sans doute et finiront par disparaître.

RÉPERCUSSIONS

Les vastes aires potentielles de répartition de ces deux espèces de pins ne signifient pas nécessairement que les forêts de pins peuvent survivre facilement. En fait, la répartition actuelle consiste en un petit nombre de forêts résiduelles dont l'exiguïté est due à l'abattage et à l'exploitation pour le bois de feu. Il en résulte, d'après les critères de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN, 2008), que *P. merkusii* se caractérise déjà par un état de conservation vulnérable. L'évolution du climat est une menace ultérieure qui rend les populations naturelles de cette espèce encore plus sensibles à la dégradation et à l'extinction.

Comme mentionné plus haut, il est prédit que les provenances de plaine de *P. merkusii* seront les plus touchées par les changements climatiques. La dégradation et l'extinction de ces provenances pourraient entraîner la perte d'importantes ressources génétiques qui servent à l'établissement de plantations forestières et aux activités de reboisement utilisant cette espèce. De nombreux peuplements forestiers de plaine de *P. merkusii* sont isolés, ce qui risque de restreindre la migration des provenances de plaine vers des altitudes supérieures, où elles occuperaient des zones climatiquement plus adaptées. C'est pourquoi la transplantation des provenances de plaine de cette espèce dans des zones plus favorables sur le plan climatique pourrait s'avérer la seule solution de substitution pour conserver leurs ressources génétiques *in situ*. Des mesures similaires ont été recommandées

pour conserver les provenances de plaine de *P. oocarpa* dans l'État du Michoacán, au Mexique (Sáenz-Romero, Guzmán-Reyna et Rehfeldt, 2006).

Les prédictions de la MEC sur l'impact de l'évolution du climat tiennent compte de l'aire de répartition climatique où une espèce est actuellement présente de façon naturelle. Mais comme l'espèce peut s'adapter à une aire plus étendue, il est possible que ces modèles surestiment les impacts des changements climatiques. En outre, plusieurs pins subtropicaux et tropicaux, y compris *P. kesiya*, sont dotés d'un niveau élevé de variation génétique et tolèrent une large gamme de climats. Les essais de provenance menés sur de multiples sites montrent qu'ils sont bien adaptés à un grand nombre de climats. Ils pourraient donc supporter aussi de nouvelles conditions climatiques dans leur habitat naturel, même si les études réalisées dans le cadre

de la MEC prédisent que ces conditions sont inadaptées (van Zonneveld *et al.*, 2009).

Outre le climat, les conditions pédologiques, la concurrence des plantes et d'autres facteurs influencent aussi la présence des espèces, et constitueront probablement des obstacles supplémentaires à leur répartition et leurs déplacements futurs. Cependant, étant donné que le climat est considéré comme le principal responsable de changements futurs de répartition, les prédictions de la MEC ont ignoré ces autres facteurs. En outre, les projections des modèles de circulation globale varient considérablement, et de ce fait les prédictions de la MEC contiennent une certaine marge d'incertitude. Néanmoins, malgré ses limitations, la MEC peut être considérée comme un instrument utile pour obtenir une première approximation de l'impact potentiel de l'altération du climat sur la présence des espèces (Pearson et Dawson, 2003).

TABLEAU 1. Moyenne des changements prédits de cinq variables climatiques clés pour les populations de *Pinus kesiya* dans des zones à impact faible ou élevé

Variables climatiques	Populations dans des zones à faible impact			Populations dans des zones à impact élevé		
	Situation actuelle	2050	Changement	Situation actuelle	2050	Changement
Température annuelle moyenne (°C)	21,7	23,3	1,6	22,9	24,3	1,3
Température maximale pendant le mois le plus chaud (°C)	30,4	32,7	2,3	32,0	33,9	1,9
Saisonnalité de la température (écart type de la température annuelle moyenne x 100)	197,0	188,9	-8,1	271,3	259,3	-12,0
Précipitations annuelles (mm)	1754,1	1974,3	220,2	1511,0	1687,7	176,7
Précipitations dans le lieu le plus sec (mm)	53,6	48,3	-5,3	60,4	56,5	-3,9

TABLEAU 2. Moyenne des changements prédits de cinq variables climatiques clés pour les populations de *Pinus merkusii* dans des zones à impact faible ou élevé

Variables climatiques	Populations dans des zones à faible impact			Populations dans des zones à impact élevé		
	Situation actuelle	2050	Changement	Situation actuelle	2050	Changement
Température annuelle moyenne (°C)	22,9	24,3	1,3	26,7	28,4	1,7
Température maximale pendant le mois le plus chaud (°C)	32,0	33,9	1,9	34,3	36,7	2,5
Saisonnalité de la température (écart type de la température annuelle moyenne x 100)	271,3	259,3	-12,0	161,2	170,8	9,6
Précipitations annuelles (mm)	1511,0	1687,7	176,7	1721,7	1862,7	141,0
Précipitations dans le lieu le plus sec (mm)	60,4	56,5	-3,9	35,6	32,1	-3,5

Cette approche peut également s'appliquer à d'autres espèces et d'autres zones. Par exemple, des méthodes similaires ont été utilisées pour prédire l'effet des changements climatiques sur des espèces de pins et de chênes (*Quercus*) au Mexique (Gómez-Mendoza et Arriaga, 2007) et sur de nombreuses espèces forestières aux États-Unis (Iverson *et al.*, 2008).

CONCLUSIONS

La modélisation de l'enveloppe climatique a permis de prédire quelles forêts de pins sont les plus susceptibles d'être touchées par les changements climatiques, ce qui permet aux programmes de gestion et de conservation des forêts non seulement de prévoir les impacts, mais aussi d'identifier les aspects positifs. Les changements climatiques devraient favoriser les plantations forestières de pins dans l'archipel malais, à mesure que de nouvelles zones s'avèrent climatiquement adaptées à l'établissement de *P. merkusii* et, dans une moindre mesure, de *P. kesiya*.

S'il est vrai que ces espèces pourraient s'adapter aux nouvelles conditions climatiques grâce à des stratégies que le modèle ne prévoit pas, la situation paraît critique pour les provenances de plaine de *P. merkusii* en Asie du Sud-Est continentale car, d'après les prévisions, les températures dépasseront le seuil de tolérance de l'espèce. Sans la prise de mesures de conservation correctes, ces provenances risquent de se dégrader dans les décennies à venir pour finalement disparaître des lieux où elles poussent aujourd'hui de façon naturelle. ♦



Bibliographie

- Barnes, R.D. et Keiding, H. 1989. Essais internationaux de provenances de *Pinus kesiya*. *Ressources génétiques forestières*, 17: 26–29. Rome, FAO.
- Bushy, J.R. 1991. BIOCLIM – a bioclimatic analysis and prediction system. In C.R. Margules et M.P. Austin, éd. *Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis*, p. 64–68. Canberra, Australie, Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO).
- Centre de graines forestières Danemark/FAO. 1973. *Pinus merkusii* provenance collections 1972. *Ressources génétiques forestières*, 2: 62–63.
- Cooling, E.N. 1968. *Pinus merkusii*. Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics n° 4. Oxford, Royaume-Uni, Commonwealth Forestry Institute.
- Costa e Silva, J. 2007. *Evaluation of an international series of Pinus kesiya provenance trials for adaptive, growth and wood quality traits*. Forest & Landscape Working Papers n° 22. Copenhagen, Danemark, Forest & Landscape Denmark.
- Danida Forest Seed Centre. 2000. *Conservation of genetic resources of Pinus merkusii in Thailand*. Note technique n° 58. Humlebaek, Danemark.
- FAO. 1970. Note sur les collections de semence de provenance d'arbres forestiers. *Unasylva*, 97/98: 130–132.
- FAO. 2007. *Situation des forêts du monde 2007*. Rome.
- Gómez-Mendoza, L. et Arriaga, L. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation Biology*, 21: 1545–1555.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. et Jarvis, A. 2005a. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965–1978.
- Hijmans, R.J., Guarino, L., Jarvis, A., O'Brien, R., Mathur, P., Bussink, C., Cruz, M., Barrantes, I. et Rojas, E. 2005b. *DIVA-GIS Version 5.2 manual*. Disponible sur Internet: www.diva-gis.org
- Iverson, L.R., Prasad, A.M., Matthews, S.N. et Peters, M. 2008. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios. *Forest Ecology and Management*, 254: 390–406.
- Pearson, R.G. et Dawson, T.E. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361–371.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. et Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190: 231–259.
- Razal, R.A., Tolentino, E.L.T. Jr., Carandang, W.M., Nghia, N.H., Hao, P.S. et Luoma-Aho, T. 2005. Status of genetic resources of *Pinus merkusii* (Jung et De Vriese) and *Pinus kesiya* (Royle ex Gordon) in Southeast Asia. Los Baños, Philippines et Serdang, Malaisie, University of the Philippines Los Baños College of Forestry and Natural Resources et Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI), Bureau régional pour l'Asie, le Pacifique et l'Océanie.
- Richardson, D.M. et Rundel, P.W. 1998. Ecology and biogeography of *Pinus*: an introduction. In D.M. Richardson, éd. *Ecology and biogeography of Pinus*, p. 3–46. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.
- Sáenz-Romero, C., Guzmán-Reyna, R.R. et Rehfeldt, G.E. 2006. Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, Mexico – implications for seed zoning, conservation, tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management*, 229: 340–350.
- Turakka, A., Luukkanen, O. et Bhumibhamon, S. 1982. Notes on *Pinus kesiya* and *P. merkusii* and their natural regeneration in watershed areas of northern Thailand. *Acta Forestalia Fennica*, n° 178.
- Turnbull, J.W., Armitage, F.B. et Burley, J. 1980. Distribution and ecology of the *Pinus kesiya* complex. In F.B. Armitage et J. Burley, éd. *Pinus kesiya*, p. 13–45. Tropical Forestry Paper 9. Oxford, Royaume-Uni, Commonwealth Forestry Institute.
- UICN (Union internationale pour la conservation de la nature). 2008. *2008 IUCN Red List of Threatened Species*. Disponible sur Internet: www.iucnredlist.org.
- van Zonneveld, M., Jarvis, A., Dvorak, W., Lema, G. et Leibing, C. 2009. Climate change impact predictions on *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* populations in Mexico and Central America. (à publier) ♦