

Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100

Les travaux présentés ici, et notamment la carte d'évolution de l'aire climatique potentielle du hêtre sous l'effet du changement climatique, ont été largement diffusés, repris et commentés. Les réactions que ces résultats soulèvent ont souvent nui à une bonne perception de leur portée et de leurs limites, très clairement exposées par les auteurs. (Re)penchons-nous à tête reposée sur ce travail de modélisation dont les résultats nous interpellent.

Jusqu'à une époque récente, les cartes de répartition des espèces végétales en France étaient relativement grossières : par exemple, les cartes de *Flora Europaea*, sont établies selon une maille de 50 km de côté ; celles de l'Atlas partiel de la flore de France (Dupont, 1990) selon une maille de 20 km. Grâce aux données de l'Inventaire forestier national (IFN), nous disposons depuis peu d'une cartographie précise (environ 1 point de relevé pour 130 ha de forêt) de la plupart des espèces forestières en France. Notre étude s'est donc appuyée sur ces données : nous avons utilisé les cartes de répartition de 67 essences ligneuses relevées sur 104 259 points de sondage de l'IFN entre 1985 et 2001.

De la même façon, les données climatiques de base sont maintenant disponibles à une échelle fine (1 km) sur tout le territoire, grâce à Météo-France (modèle AURELHY). Ces données concernent les températures, précipitations et nombres de jours de gel et correspondent aux normales mensuelles calculées sur la période 1961-1990. Des cartes de rayonnement solaire décadaire issues d'observations satellite sur la période 1996-2002 ont également été utilisées. À par-

tir de ces données, plusieurs descripteurs ont été calculés comme l'évapotranspiration potentielle (ETP) ou le déficit pluviométrique (égal à la différence précipitations - ETP).

Méthodes de caractérisation des aires de répartition actuelles des espèces

Deux approches ont été suivies pour caractériser les aires de répartition actuelles des différentes essences. Dans un premier temps, les aires climatiques potentielles sont calculées par régression : pour chaque essence, on recherche le modèle statistique expliquant au mieux la présence et l'absence de l'espèce à partir des variables climatiques disponibles. Trois exemples sont présentés ici : chêne vert, hêtre et sapin. Dans un second temps, les cartes individuelles de répartition des espèces sont regroupées en 8 ensembles chorologiques (par exemple essences méditerranéennes, essences montagnardes, etc.).

Les modèles individuels de répartition des essences et le modèle biogéographique actuels étant connus, nous avons remplacé les variables climatiques actuelles par leurs valeurs moyennes futures calculées pour les périodes 2020-

2049 et 2070-2099, à partir des sorties du scénario ARPEGE-B2 de Météo-France.

Résultats pour trois essences forestières

La figure 1 présente l'exemple du **chêne vert**. L'évapotranspiration potentielle du mois de juillet est la variable la plus corrélée à la présence du chêne vert et permet de bien identifier l'ensemble des relevés de la bordure méditerranéenne. L'introduction de l'amplitude thermique annuelle et du nombre de jours de gel avec températures inférieures à -10°C (effet négatif des deux variables) permet de pondérer la présence du chêne vert dans les Alpes du Sud et de bien simuler sa présence sur le littoral atlantique. Avec ces trois variables le modèle permet de reclasser correctement plus de 70 % des points IFN où l'espèce est présente aujourd'hui. En 2100 la niche climatique du chêne vert pourrait dépasser la latitude de la Loire (figure 1C).

Le cas du **hêtre** est présenté sur la figure 2. La présence du hêtre est très fortement et négativement corrélée à l'augmentation des déficits pluviométriques cumulés de juin et juillet. Avec cette seule variable, la présence du hêtre est

reproduite sur la totalité du territoire sauf en région méditerranéenne. Ce résultat statistique est concordant avec ceux obtenus dans d'autres études. L'analyse climatique de la croissance du hêtre sur les plateaux calcaires de Lorraine (Badeau, 1995 ; Granier et al., 1995) a montré que près de 70 % de la variance interannuelle des accroissements pouvait être expliquée par les déficits hydriques de juin, juillet et août de l'année en cours et de l'année précédente. L'analyse des causes des variations de l'état des cimes a par ailleurs confirmé l'importance des stress hydriques estivaux dans les fluctuations interannuelles des pertes foliaires du hêtre avec un effet différé d'un an (Badeau et Bréda, 1997). L'introduction des températures maximales d'octobre permet de mieux limiter la présence du hêtre sur la côte atlantique et dans la vallée de la Garonne et d'augmenter les seuils de probabilité de présence pour le Nord, la Bretagne et la Normandie. Le modèle logistique à deux variables permet de prédire plus de 80 % des points où l'espèce est réellement présente, pour des seuils de probabilité supérieurs ou égaux à 0,3. Partout ailleurs, c'est-à-dire à des seuils de probabilité inférieurs à 0,3 (couleurs bleues sur les cartes), le hêtre est beaucoup moins représenté dans les milieux forestiers inventoriés par l'IFN mais n'en est pas exclu. À l'inverse du chêne vert, l'aire de répartition potentielle du hêtre en 2100 serait en forte régression et confinée au quart Nord-Est et aux régions de montagne.

Comme pour le hêtre, la présence du **sapin** (figure 3) est fortement corrélée aux déficits pluviométriques cumulés cette fois sur les mois d'avril, mai et juin. Comme dans le cas du hêtre, ce résultat est concordant avec l'analyse des variations interannuelles de la croissance radiale du sapin dans le Jura et les Vosges (Becker 1989 ;

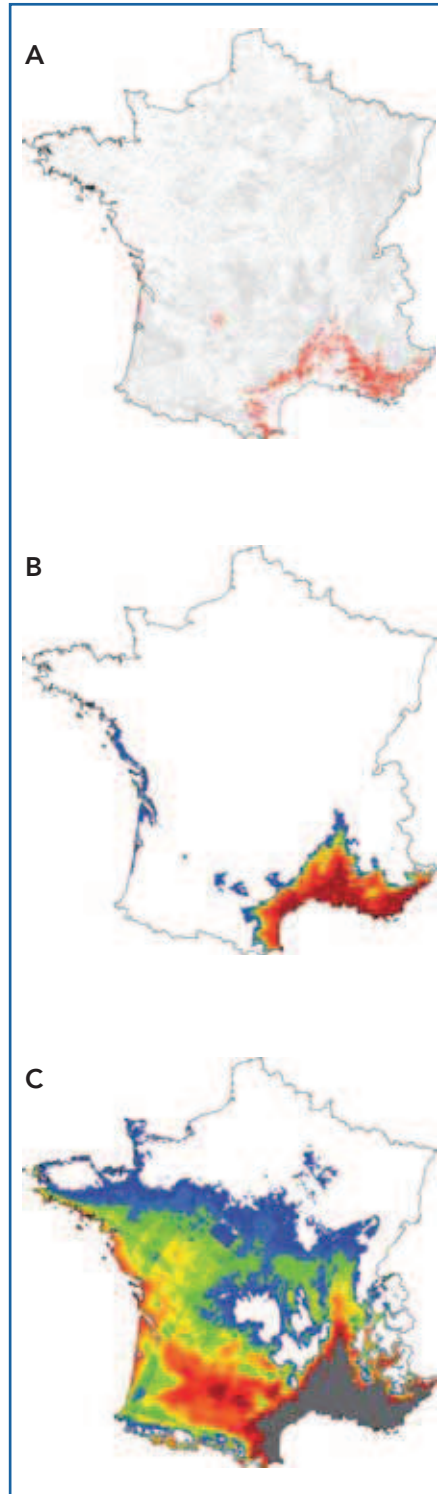


Fig. 1 : A - répartition du chêne vert observée par l'IFN ;
 B - modélisation de l'aire actuelle de répartition du chêne vert ;
 C - extrapolation de l'aire de répartition du chêne vert en 2100

(la couleur grise indique une zone où les paramètres climatiques futurs sont au-delà de la gamme actuelle).

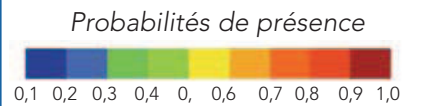
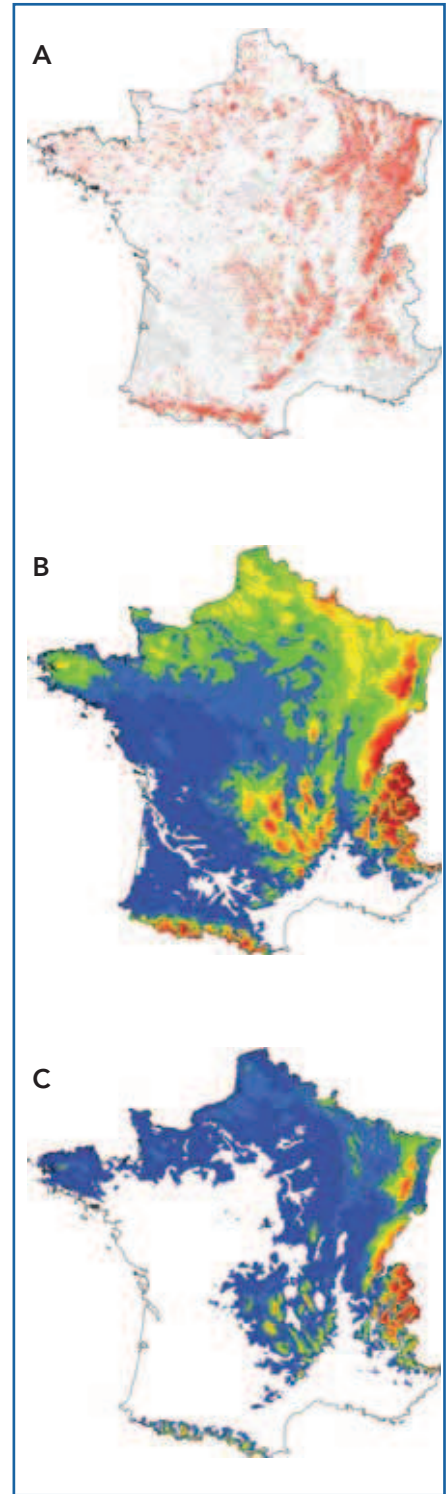


Fig. 2 : A - répartition du hêtre observée par l'IFN ;
 B - modélisation de l'aire actuelle de répartition du hêtre ;
 C - extrapolation de l'aire de répartition du hêtre en 2100.

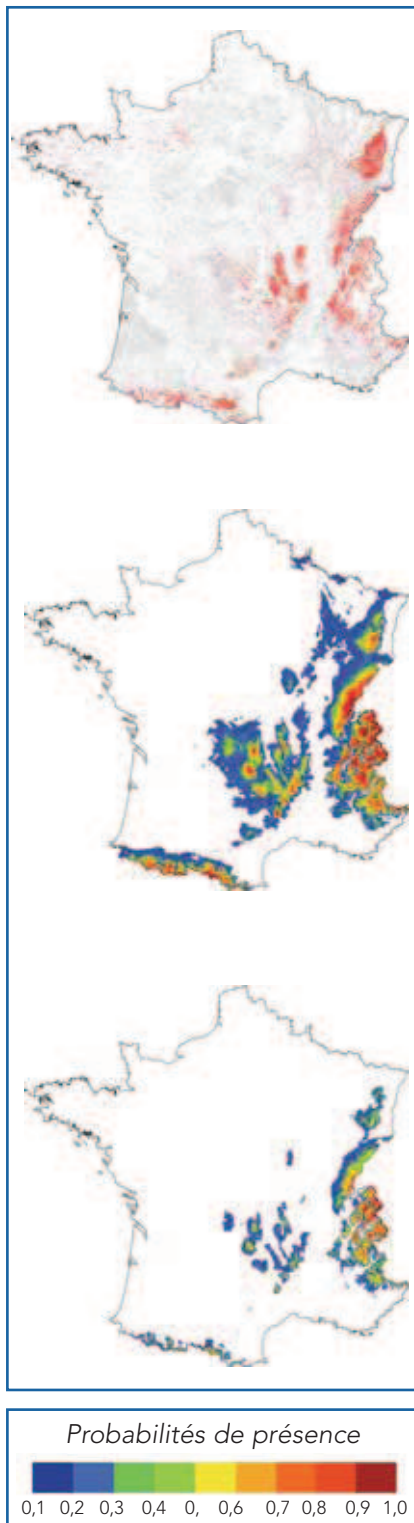


Fig. 3 : A - répartition du sapin observée par l'IFN ;
 B - modélisation de l'aire actuelle de répartition du sapin ;
 C - Extrapolation de l'aire de répartition du sapin en 2100.

Bert, 1992). Dans ces deux études, l'importance des bilans hydriques du début de saison (mai et juin des années n et $n-1$) sur l'élaboration du cerne a bien été mise en évidence. L'introduction du nombre de jours de gel de janvier améliore le modèle dans les régions Bretagne et Normandie. L'augmentation de la fréquence des gelées permet une meilleure adéquation du modèle aux données dans toute la moitié sud de la France, notamment les Pyrénées-Atlantiques, le Vaucluse, les Alpes-de-Haute-Provence et les Alpes-Maritimes. Cette variable est par ailleurs concordante avec le caractère montagnard de l'espèce. Les prévisions climatiques pour 2100 conduisent à une forte réduction de l'aire de répartition potentielle du sapin, notamment aux plus basses altitudes.

Résultats pour les grandes régions biogéographiques

Les résultats précédents montrent qu'il est possible de calculer des modèles de présence / absence pour des espèces bien inventoriées par l'IFN. Cette approche individuelle trouve vite une limite pour des espèces peu présentes en forêt (donc peu observées par l'IFN), mais qui sont tout de même indicatrices de milieux méditerranéens, montagnards ou autres. Pour donner plus de poids à l'analyse statistique, leurs présences peuvent alors être regroupées par affinité chorologique (soit 8 groupes ; voir la définition en encadré).

La fonction discriminante retenue pour séparer les groupes d'espèces fait intervenir l'ETP de janvier, le rayonnement global de mai, juin et juillet, l'ETP de juin et juillet, la température moyenne de février et l'ETP de novembre. Appliquée à la maille AURELHY, cette fonction permet de calculer une prédiction de l'appartenance de chacun des 551 716 points de

la grille météorologique actuelle à l'un des groupes (figure 4A).

Sur la carte résultante, on distingue nettement une zone méditerranéenne (groupe 8), trois zones de montagne (groupes 1, 2 et 3), un ensemble aquitain (groupe 7a), un ensemble atlantique (groupe 6) et une zone nord-est plus continentale (groupe 4). Cette carte concorde donc, dans les grandes lignes, aux zones biogéographiques françaises (Goujon, 1932 in Grandjouan, 1982 ; Rameau et al., 2000).

Les figures 4B et 4C présentent les évolutions spatiales potentielles des différents groupes pour les périodes 2050 et 2100. Les plus fortes évolutions sont observées pour le groupe aquitain (17 % du territoire actuellement contre 46 % en 2100) et le groupe méditerranéen (9 % du territoire actuellement contre 28 % en 2100). Tous les autres groupes auraient tendance à régresser, notamment les groupes montagnards (groupes 1, 2 et 3) dont le total des surfaces passe de 16 % à 6 %.

Vers des modifications profondes ?

Nos résultats montrent que les prévisions du scénario ARPEGE de Météo-France conduisent à de fortes évolutions des aires potentielles de distribution des essences. Nous pourrions donc assister à de profondes modifications de nos paysages malgré un scénario plutôt « optimiste » de l'évolution du climat au cours du siècle à venir. En effet, le modèle utilisé prévoit une augmentation de + 2,5 °C en moyenne en 2100 alors que la gamme de variation de l'ensemble des modèles actuellement disponibles s'étend de + 1,5 °C à + 6,0 °C (GIEC, 2001).

Il reste encore beaucoup d'incertitudes sur le comportement des essences : quelles seront leurs capacités à migrer pour coloniser

Définition de 8 groupes biogéographiques d'espèces

Le **groupe 1** correspond à des « essences de l'étage sub-alpin » (*Pinus cembra*, *Pinus uncinata*, *Alnus viridis*, *Laburnum alpinum*, *Prunus brigantia*, etc.).

Le **groupe 2** rassemble des espèces essentiellement présentes à l'étage montagnard (*Acer opalus*, *Alnus incana*, *Euonymus latifolius*, *Hippophae rhamnoides*, etc.).

Le **groupe 3** correspond à des espèces communes à l'ensemble des régions de montagne et pouvant s'étendre à l'étage collinéen dans le quart nord-est de la France (*Abies alba*, *Picea excelsa*, *Sorbus aria*, *Sorbus aucuparia*, *Sambucus racemosa*, *Laburnum anagyroides*, *Ulmus glabra*, etc.) ou ayant été introduites dans le Nord-Ouest (sapin et épicéa en particulier).

Le **groupe 4** est une extension du groupe 3. Il correspond à des espèces communes en montagne (jusqu'à l'étage montagnard) et très présentes en plaine dans la moitié nord de la France (*Fagus sylvatica*, *Acer platanooides* et *pseudoplatanus*, *Pinus sylvestris*, etc.).

Les espèces du **groupe 5** sont principalement collinéennes mais peuvent s'étendre jusqu'à l'étage montagnard. Elles sont toutes très communes sur une grande partie du territoire, sauf dans la région méditerranéenne (*Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Carpinus betulus*, *Betula verrucosa* et *pubescens*, *Tilia cordata*, etc.).

Le **groupe 6** regroupe des espèces de l'étage collinéen, fréquentes dans le Sud et l'Ouest et plus rares dans le Nord et le Nord-Est (*Castanea sativa*, *Mespilus germanica*, *Frangula alnus*, etc.).

Le **groupe 7a** correspond à l'ensemble des espèces de la moitié ouest et pouvant s'étendre jusque dans le midi (*Pinus pinaster*, *Erica scoparia*, *Quercus pyrenaica*).

Le **groupe 8** rassemble l'ensemble des espèces méditerranéennes (*Juniperus oxycedrus*, *Pinus halepensis*, *Phillyrea angustifolia*, *Pistacia lentiscus*, etc.).

La pertinence de ces classements a été vérifiée et le déterminisme climatique de la répartition géographique de ces groupes confirmé par une analyse statistique. Nous avons alors recherché le modèle statistique séparant au mieux les 8 groupes d'espèces. Ce modèle a ensuite été appliqué aux 551 716 points de la grille météo AURELHY permettant ainsi de dessiner des zones biogéographiques particulières.

A – climat actuel

B – climat 2050

C – climat 2100

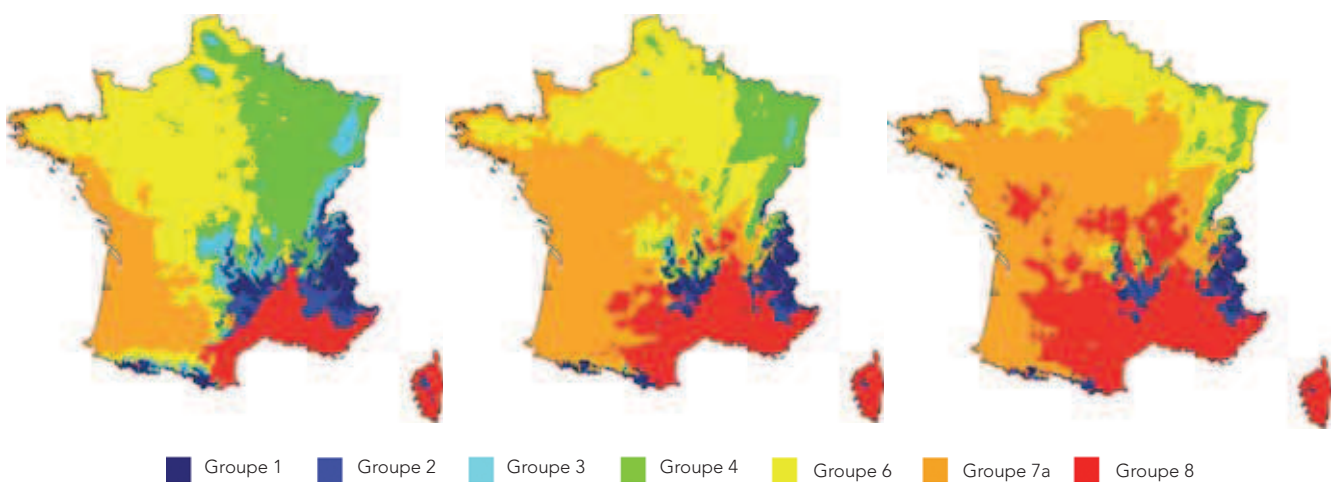


Figure 4 : répartition géographique de sept groupes biogéographiques estimée par analyse discriminante en fonction du climat actuel (A) et extrapolée aux climats futurs (B et C)

de nouvelles niches climatiques à un pas de temps de quelques dizaines d'années ? Seront-elles capables de s'adapter à la compétition avec de nouvelles espèces herbacées et ligneuses ? Quels seront les équilibres avec les nouveaux cortèges de pathogènes et de symbiotes ? Quel rôle jouera la variabilité génétique qui est très importante chez les arbres forestiers ? Pour toutes ces raisons, la prévision de l'issue exacte pour les forêts du changement climatique est encore hors de notre portée scientifique. Des recherches sont encore nécessaires pour améliorer nos connaissances à la fois par des approches expérimentales et des analyses de terrain à petite échelle.

Les modèles présentés ici restent donc de simples scénarios sans valeur prédictive, en particulier pour les forestiers. Cependant, ces résultats permettent de traduire, en termes plus concrets que des degrés sur un thermomètre, ce que représentent les modèles actuels de réchauffement climatique. Eu égard au pas de temps concerné (moins d'un siècle), nos résultats montrent surtout qu'il est urgent d'engager une réflexion approfondie sur les enjeux des changements globaux pour la foresterie française.

Vincent BADEAU

Jean-Luc DUPOUEY

UMR Écologie et Écophysio-
logie Forestière
INRA Nancy

Catherine CLUZEAU

Jacques DRAPIER

Inventaire forestier national
Échelon de Nancy

Contact : Vincent Badeau
badeau@nancy.inra.fr

Remerciements

Ce travail est un volet du projet CARBOFOR et s'inscrit dans le cadre du programme Gestion et Impacts du Changement Climatique coordonné par le ministère de l'Écologie et du Développement Durable. Il a été financé par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales et soutenu par le GIP Écofor.

Cet article a déjà fait l'objet d'une publication dans Forêt-entreprise n°162 – Avril 2005 (pp. 25-29)

Bibliographie

BADEAU V., 1995. Étude dendroécologique du hêtre sur les plateaux calcaires de Lorraine : influence de la gestion sylvicole. Thèse de Doctorat en Sciences et Techniques Biologiques, Biologie Forestière Nancy : Université Nancy I. 224 p.

BADEAU V., DUPOUEY J.L., CLUZEAU C., DRAPIER J., LE BAS C., 2004. Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises. In Rapport final du projet CARBOFOR « Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France » (éd. D. Lousteau), Bordeaux-Pierroton : INRA, pp. 101-113

BADEAU V., BREDA N., 1997. La récente crise de vitalité du hêtre en plaine semble liée aux déficits hydriques. In La santé des forêts en 1996, Les cahiers du DSF, n° 1, pp. 60-63.

BECKER M., 1989. The role of climate on present and past vitality of silver fir forests in the Vosges mountains of northeastern France. Canadian Journal of Forest Research, vol. 19, n° 9, pp. 1110-1117

BERT D., 1992. Influence du climat, des facteurs stationnels et de la pollution sur la croissance et l'état sanitaire du sapin pectiné dans le Jura. Thèse de Doctorat en Sciences du bois, biologie végétale et forestière. Nancy : Université Nancy I. 200 p.

DUPONT P., 1990. Atlas partiel de la flore de France. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle. 442 p.

GIEC/IPCC, 2001. Changements climatiques 2001 : rapport de synthèse : résumé à l'intention des décideurs. Intergouvernemental Panel on Climate Change. 37 p. <en ligne : <http://www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/spm.pdf>>

GRANDJOUAN G., 1982. Une méthode de comparaison statistique entre les répartitions des plantes et des climats. Thèse Strasbourg : Université Louis Pasteur. 316 p.

GRANIER A., BADEAU V., BREDA N., 1995. Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. Revue Forestière Française, vol. 47, n° spécial « Modélisation de la croissance des arbres forestiers et de la qualité des bois », pp. 59-68

RAMEAU J.C., GAUBERVILLE C., DRAPIER N., 2000. Gestion forestière et diversité biologique : identification et gestion intégrée des habitats et espèces d'intérêt communautaire. France - domaine continental. Paris, Nancy : ENGREF, ONF, IDF 119 p., 174 fiches

Le rapport complet de cette étude et son résumé sont téléchargeables à l'adresse www.nancy.inra.fr sur la page « Dossiers scientifiques »