

t

RenD ez-Vous e c h n i q u e s

n° 36-37 - printemps-été 2012

patrimoine
sylviculture
progres

connaissances

économie

forêts et société

environnement

biodiversité

gestion durable



Dossier
p. 9

Ressources génétiques forestières **20 ans d'action**

Fonge des Antilles françaises

p. 55



RenD ez - Vous techniques

Directeur de la publication

Bernard Gamblin

Rédactrice en chef

Christine Micheneau

Comité éditorial

Léo Castex, Benoît Cuillier, Jean-François Dhôte,
Alain Castan, Didier François, Alain Macaire,
Brigitte Pilard-Landeau, Véronique Vinot

Maquette, impression et routage

Imprimerie ONF - Fontainebleau

Conception graphique

NAP (Nature Art Planète)

Crédit photographique

Page de couverture

En haut : Daniel Cambon, ONF

En bas : Régis Courtecuisse, SMF

Page d'ouverture du dossier : D. Cambon,
ONF et INRA-URFM

Périodicité : 4 numéros ordinaires par an
(possibilité d'éditions resserrées en numéros doubles)

Accès en ligne

[http://www.onf.fr/\(rubrique Lire, voir, écouter/
Publications ONF/ Périodiques\)](http://www.onf.fr/(rubrique Lire, voir, écouter/ Publications ONF/ Périodiques))

Disponibilité au numéro, abonnement

Renseignements

ONF - cellule de documentation technique,
boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau

Contact : documentalistes@onf.fr

ou par fax : 01 64 22 49 73

Dépôt légal : novembre 2012

sommaire

n°36 et 37 - printemps - été 2012

2 Connaissances

Quel avenir pour le sapin et l'épicéa ? Synthèse bibliographique sur l'autécologie et la vulnérabilité comparée du sapin et de l'épicéa dans le cadre des changements climatiques

par Nicolas Gomez

9 dossier thématique

La Commission des Ressources Génétiques Forestières : regard sur 20 ans d'action et nouveaux enjeux

57 Méthodes

Cinq ans d'inventaires mycologiques en forêt de Martinique et de Guadeloupe - Premiers résultats

par Hubert Voiry et Régis Courtecuisse

64 Pratiques

Guidage GPS embarqué sur tracteur pour la création et l'entretien des cloisonnements : pénibilité réduite et économie

par Erwin Ulrich, Christian Lafay, Dominique Laurent, Bernard Jovinot, Jean-Luc Barbier

69 Fiches techniques

n°7 – Implanter des cloisonnements d'exploitation

n°8 – Préserver les tourbières

du plan d'action environnemental

Errata

On nous a signalé deux erreurs dans nos derniers numéros :

■ Numéro 35 (hiver 2012), p. 67, nous avons oublié François Lebourgeois, co-auteur de l'article « Impact des sécheresses estivales sur la croissance radiale du hêtre et du sapin dans le Bugey : quelles conséquences pour la gestion ? », dont les signataires sont donc : Anne PIERANGELO, AgroParisTech (stage de fin d'études) ; Stéphane DUMAS, ONF, Agence Ain-Loire-Rhône ; François LEBOURGEOIS, UMR 1092 – LERFoB, AgroParisTech (ENGREF) et INRA Nancy
Les auteurs remercient également l'ensemble des acteurs du LERFoB qui ont contribué à l'étude.

■ Hors-série n° 6 « Gestion forestière et préservation de l'avifaune – Le cas des forêts de production de plaine » : p. 84, la photo de bûcheron qui illustre le programme du colloque est indûment attribuée à l'ONF alors qu'elle est de : Sylvain GAUDIN, CRPF Bourgogne.

Nous présentons nos excuses à MM. François Lebourgeois et Sylvain Gaudin.

Éditorial

Pour leur premier anniversaire, déjà, les RenDez-Vous techniques avaient dédié un hors-série complet à la diversité génétique des arbres forestiers, enjeu de gestion ordinaire. C'était en 2004. Et depuis, nous avons régulièrement reparlé des ressources génétiques forestières sous différents aspects liés aux actions sylvicoles (n° 14 et 16), aux réseaux de conservation in situ (n° 17, 18, 19 et 23-24) ou encore au changement climatique (n° 22, hors-série n° 5 sur les chênaies)...

Alors pourquoi consacrer encore un dossier aux ressources génétiques forestières ?

Parce que la célébration des 20 ans de la CRGF a marqué une étape importante en faisant le point des objectifs, stratégies et modalités de conservation de ces ressources, tout en réfléchissant à des modes d'actions appropriés aux nouveaux enjeux qui se profilent.

Parce que, dans le plan national d'adaptation au changement climatique (2011-2015), la « mesure phare » de la fiche d'action Forêt est de « Conserver, adapter et diversifier les ressources génétiques forestières ».

Parce que, de quelque manière qu'on les envisage (recherche, conservation, gestion), l'ONF est de fait un opérateur majeur qui doit aborder ces questions de front.

Et parce que la gestion des ressources génétiques forestières peut être un levier d'action important face aux enjeux de la gestion durable en matière de biodiversité, changements climatiques et performance des itinéraires sylvicoles.

Ces questions du changement climatique et du bilan carbone sont complexes ; elles suscitent des études nombreuses et délicates, dont les conclusions peuvent parfois paraître contradictoires, et qu'il nous faut accueillir avec circonspection. L'étude de l'autécologie du sapin et de l'épicéa, qui ouvre ce numéro, peut par exemple donner le sentiment que l'avenir de l'épicéa en France est compromis ; y aurait-il pour autant urgence à y renoncer ? Sans visibilité suffisante sur les substitutions possibles ? Et au risque de ruiner la filière bois-construction dont c'est l'essence de prédilection et dont la France a grand besoin, ne serait-ce que pour honorer ses engagements en matière de carbone ? Considérant que l'évolution des usages et techniques valorise de plus en plus les bois de faible diamètre, il n'y a pas grand risque à renouveler les pessières et se laisser le temps d'examiner toutes les pistes, à l'instar de ce que font les Autrichiens en recherchant par exemple dans l'arc alpin des écotypes adaptés à la sécheresse...

Le Directeur technique et commercial bois
Bernard GAMBLIN

Quel avenir pour le sapin et l'épicéa ?

Synthèse bibliographique sur l'autécologie et la vulnérabilité comparée du sapin et de l'épicéa dans le cadre des changements climatiques

Cet article répond à une commande destinée à faire le point des connaissances sur l'autécologie comparée du sapin et de l'épicéa dans la perspective de l'adaptation des forêts au changement climatique. On y trouvera donc des indications bien documentées pour guider les choix sylvicoles... dans la limite de l'exercice et des connaissances disponibles. Car ce panorama autécologique global ne donne pas toutes les clés ; il n'explore pas par exemple toutes les ressources de variabilité et d'adaptabilité et il reste des réponses progressives à construire, notamment pour l'épicéa, dans le cadre d'une réflexion plus « intégrée ».



J.-F. Perraud, ONF

Régénération naturelle de sapin ; le nouveau peuplement connaîtra des changements importants avant son terme d'exploitabilité

Il n'est plus besoin de démontrer qu'un changement climatique mondial est en cours. Ainsi, en France, l'augmentation de la température au cours du siècle dernier a été comprise entre 0,7 et 1,1°C (Moisselin et al. 2002). De plus, tous les scénarii prospectifs (IPCC 2007) prévoient la poursuite et même l'amplification du phénomène. Les modifications des conditions écologiques vont avoir des conséquences sur la distribution des essences (Lenoir et al. 2008) et la croissance des peuplements forestiers (Boisvenue et Running 2006). D'ailleurs, de récentes études ont mis en évidence un déplacement vers le nord (ou vers les hautes altitudes) de l'aire de distribution des espèces végétales (Lenoir et al. 2008 ; Bertrand, Gégout, et Bontemps 2011), ainsi qu'une augmentation de la croissance au cours du siècle dernier (Bontemps, Hervé, et Dhôte 2009 ; Charru et al. 2010).

Les arbres, du fait de leur longévité et de leurs moindres capacités de déplacement que les espèces herbacées, seront plus sensibles aux effets d'un changement climatique global. En effet, avant d'atteindre leurs âges d'exploitabilité, les essences forestières vont connaître des changements climatiques pouvant devenir défavorables à leur vitalité et à leur croissance.

Dans ce contexte, et puisque la forêt de la fin de ce siècle se décide maintenant, le forestier a un rôle central à jouer. Il doit permettre l'adaptation des peuplements forestiers aux changements globaux¹ tout en prenant en compte les dimensions socio-économiques de la question. Par exemple, il se devra d'intégrer dans son raisonnement la demande croissante de bois résineux, non seulement pour la construction mais aussi pour l'énergie (Lefebvre 2010). Le premier objectif du

¹ Les changements globaux comprennent bien sûr le changement climatique, mais aussi les autres changements d'origine anthropique ayant des conséquences globales.

forestier est donc de vérifier l'adéquation entre les besoins physiologiques de l'arbre et le climat actuel et/ou futur.

C'est dans ce cadre de réflexion que se situe cette synthèse bibliographique sur l'autécologie et la vulnérabilité comparée de l'épicéa commun (*Picea abies* Karst.) et du sapin pectiné (*Abies alba* Mill.). Même si l'autécologie de ces essences est relativement connue et maîtrisée, il est important les replacer dans le cadre des changements globaux.

Deux essences résineuses importantes et en expansion, mais à l'avenir incertain

Le sapin et l'épicéa sont, avec respectivement 335 000 ha et 214 000 ha, la première et la deuxième essences résineuses en superficie dans les forêts publiques (Statistique IFN, par essence principale, campagnes d'inventaire 2006 à 2010).

Au cours du siècle dernier, ces deux essences ont connu un accroissement de leur surface². Ce phénomène est dû à une forte dynamique de recolonisation suite à la déprise agricole, notamment dans les zones de montagnes (Bartoli 2003 ; Moreau et Schaeffer 1955). Par exemple, pour le sapin en Vanoise, la limite altitudinale supérieure a remonté de plus de 300 m depuis 1950. Cette tendance devrait se poursuivre durant le 21^e siècle en raison de la poursuite de l'abandon des pratiques sylvopastorales (Beilhe, Carcaillet, et Chauchard 2009).

Pourtant actuellement, face au changement climatique et aux dynamiques de recolonisation, le gestionnaire forestier s'interroge sur l'avenir de ces deux essences et notamment sur l'adéquation entre leurs besoins physiologiques à long terme et les conditions pédoclimatiques des nouveaux territoires colonisés. De plus, devant ces deux essences occupant souvent le même habitat et formant des peuplements mélangés, le sylviculteur s'interroge sur la préférence à donner à l'une vis-à-vis de l'autre ; l'épicéa a les préférences des scieurs (Sardin comm. pers.), mais il est sensible aux scolytes notamment sur les stations inadéquates (source DSF).

Deux essences à l'habitat comparable mais aux dynamiques d'installation différentes

En France, leurs aires naturelles correspondent aux régions montagneuses (Alpes, Pyrénées, Vosges, Massif Central) dans lesquelles les peuplements purs ou mixtes couvrent une gamme variée de substrats et de conditions pédoclimatiques (Lebourgeois 2007). L'habitat des deux espèces est assez comparable, mais le sapin est absent aux altitudes les plus élevées (Becker, Geremia, et Schipfer 1987 ; Pinto et Gégout 2005). L'épicéa est considéré comme une espèce typique de l'étage subalpin et montagnard alors que le sapin est à son optimum à l'étage montagnard.

Au niveau écophysiologique, le sapin apparaît comme une dryade, l'épicéa se comporte plutôt comme une espèce post-pionnière (Becker 1970 ; Guehl, Clerc et Desjeunes 1985) ce qui correspond à leur stratégie de colonisation : l'épicéa participe à la recolonisation des milieux ouverts, le sapin s'installe sous couvert tandis que l'épicéa est progressivement exclu du peuplement (Vielledent 2009). L'épicéa qui est physiologiquement adapté à des conditions de forte lumière (Grassi et Bagnaresi 2001) a donc un avantage sur le sapin dans la colonisation des trouées (Gauquelin et Courbaud 2006). Il est à noter aussi que l'épicéa, pour lequel les cervidés éprouvent moins d'appétence que pour le sapin, est favorisé lors de la régénération des peuplements (Heuzé 2002).

Deux espèces différentes, deux autécologies différentes

La majorité des travaux sur l'autécologie de ces deux essences ont été effectués sur des sites séparés (Desplanque, Rolland et Michalet 1998) et ne permettent donc pas de comparer dans les mêmes conditions stationnelles l'autécologie de ces deux essences. Pourtant les connaissances accumulées, que ce soit par le biais de la dendrochronologie, de la modélisation ou l'écophysiologie, permettent de différencier la sensibilité de ces essences vis-à-vis du climat.

Deux essences sensibles au régime hydrique...

L'hygrométrie élevée de l'air (Tan 1987 ; Camaret 1997 ; Lévy *et al.* 1987) et un bilan hydrique favorable, notamment pendant la période estivale (Lévy *et al.* 1987 ; Seynave *et al.* 2004 ; Granier et Claustres) sont déterminants pour la croissance des deux espèces et ceci notamment à basse et moyenne altitudes. Mais ces deux essences présentent des sensibilités différentes à la sécheresse.

La comparaison interspécifique révèle une utilisation plus efficace de l'eau du sol par le sapin tandis que l'épicéa est plus sensible à la sécheresse estivale (Desplanque, Rolland et Michalet 1998). Il est reconnu que le sapin transpire moins que l'épicéa. En effet il est plus économe en eau en régulant sa transpiration de façon plus précoce (Gillot 1985). Le sapin semble être capable de résister à des sécheresses sévères grâce à une fermeture soudaine des stomates (Aussenac 2002). Cette relative meilleure adaptation à la sécheresse du sapin face à l'épicéa ne doit pas faire oublier son inadéquation écologique avec les conditions de plaine ; le sapin est extrêmement sensible aux conditions de sécheresse dans les basses altitudes, les sols avec une réserve utile en eau faible ou les expositions chaudes en montagne (Lévy *et al.* 1987 ; Alger 2010).

...Mais deux essences qui se différencient par la sensibilité au régime thermique

D'après Lebourgeois et Mérian (2011), toutes les études menées sur ces essences montrent que le régime thermique joue un rôle plus important que le régime hydrique, particulièrement durant l'automne (septembre) et l'hiver (février) précédant la saison de végétation, avec des réductions de croissance liées au froid qui augmentent avec l'altitude (Becker 1989 ; Bert 1993 ; Desplanque, Rolland et Michalet 1998 ; Lebourgeois, Rathgeber et Ulrich 2010 ; Macias *et al.* 2006).

Si les comportements du sapin pectiné et de l'épicéa sont relativement proches, l'épicéa est cependant moins sensible au froid (Desplanque, Rolland et Michalet 1998 ; Lebourgeois, Rathgeber et Ulrich 2010 ;

² Cet article ne traite pas des plantations artificielles, comme notamment dans le cas de l'épicéa, en basse altitude et notamment sur sol filtrant, dont l'inadéquation stationnelle ne fait aucun doute.



M. Gilibert, ONF

Sapinière déperissante dans l'Aude : après 2003 : les sapinières de basse altitude (<1000 m) ou en exposition chaude n'ont pas résisté

Rolland et Lempérière 2004) ce qui explique sa présence en altitude élevée (Guehl, Clerc et Desjeunes 1985). Le sapin apparaît plus thermophile, ce qui le limite en altitude : son optimum photosynthétique est de 20°C, tandis que celui de l'épicéa est de 15°C. On notera ici l'étude de Andreassen *et al.* (2006) qui constatent, à 12-13 °C de température moyenne pour juin, un seuil en deçà duquel les épicéas réagissent positivement à un été chaud et sec, alors qu'au-delà ils réagissent négativement. Carrer *et al.* (1998) annoncent un effet seuil de température moyenne de 13-16 °C en juin juillet, à partir duquel l'épicéa ne profite plus des journées chaudes et ensoleillées.

Dans les régions montagneuses françaises, la période la plus déterminante pour la croissance diffère entre les deux essences : - pour l'épicéa, le rôle de la période estivale (de la saison de végétation concernée) prédomine. Dans la majorité des cas, des températures élevées réduisent la largeur du cerne (Lebourgeois 2007 ; Spiecker 1995). L'effet des températures estivales a été également observé en Finlande (Mäkinen, Nöjd, et Mielikäinen 2000 ; Miina 2000) et en Allemagne (Wimmer et Grabner 2000) ; - chez le sapin, la croissance est fortement sous la dépendance des conditions de l'année précédente, notamment celles du mois août (Lebourgeois 2007 ; Rolland *et al.* 1999 ; M. Carrer *et al.* 2010). Dans

le même ordre d'idées, les températures clémentes durant la première partie de la saison (février de l'année de végétation) ainsi que l'approvisionnement en eau de l'année précédente sont les facteurs clés et positifs pour l'élaboration du cerne (Becker 1989 ; Toromani, Sanxhaku et Pasho 2011).

Une sensibilité variable en fonction du facteur limitant

De plus la croissance de ces deux essences est d'autant plus sensible aux températures que l'altitude augmente (Mäkinen, Nöjd et Mielikäinen 2000 ; Miina 2000 ; Neumann et Röhle 2001 ; Savva *et al.* 2006) alors qu'en conditions sèches, la croissance dépend d'abord du bilan hydrique pendant la période de végétation. En d'autres termes, si dans les milieux humides c'est la température, elle-même liée à l'altitude, qui est un facteur limitant, dans les milieux secs c'est le bilan hydrique qui limite la croissance des arbres (Lebourgeois et Mérian 2011).

Dans le futur, des aires de répartition en forte diminution

Il est important de replacer ces résultats dans le contexte des changements climatiques car les instabilités thermiques et hydriques observées durant le siècle dernier vont certainement augmenter au cours du siècle à venir.

Quel que soit le modèle utilisé pour projeter dans le futur l'aire de répartition de ces deux essences (Badeau *et al.* 2005 ; Piedallu *et al.* 2009 ; Rörig-Weisbrod et Michiels 2009 ; Falk et Mellert 2011), les résultats des simulations sont concordants et aboutissent à un fort recul des probabilités de présence des espèces étudiées. Le réchauffement climatique va avoir pour effet de rendre rapidement défavorables de nombreuses zones où ces essences sont présentes, en commençant par les secteurs les plus chauds ou secs (situation de plaine et de basse altitude) en marge de leur distribution. Néanmoins il existera de petites zones de colonisation potentielle qui se situent toutes en montagne, à des altitudes plus élevées que les aires de présence actuelles.

La diminution future des aires de répartition peut s'expliquer, selon Piedallu (2009), par la faible amplitude écologique des espèces vis-à-vis des facteurs climatiques. Alors que les intervalles de température moyenne annuelle considérés comme favorables à la distribution de l'épicéa et du sapin sont respectivement de 3,1-8,5 et 6-12,5 °C, la prévision d'augmentation d'ici la fin du siècle est comprise entre 3 °C et 4,2 °C.

Quelles préconisations sylvicoles dans la perspective du changement climatique ?

Malgré les incertitudes, notamment liées aux scénarii climatiques et aux capacités d'adaptation des essences, les connaissances actuelles nous permettent de faire des choix sylvicoles raisonnés concernant le sapin et l'épicéa.

La dynamisation de la sylviculture, grâce à la gestion de la densité, peut permettre une meilleure adaptation aux nouvelles conditions contraignantes du milieu, notamment en régulant la demande en eau (Kohler *et al.* 2010 ; Camarero *et al.* 2011). Mais, au vu de l'augmentation de température attendue pour la fin de ce siècle, une simple adaptation de la sylviculture ne suffira pas à garantir le potentiel de productivité de nos forêts.

À cause de sa faible amplitude écologique et de sa sensibilité à la température, il semble faire consensus (Stübner 2006) que l'épicéa sera le grand perdant du changement climatique. Les pertes de croissance liées à l'augmentation de température et d'aridité vont s'accroître au cours de ce siècle. Ce constat nous pousse à en tirer les conséquences suivantes : l'épicéa ne sera bientôt plus adapté aux conditions écologiques de son habitat actuel (l'étage subalpin et montagnard) et son aire de répartition risque, au mieux, de se restreindre à l'étage subalpin. Le choix, dans ces peuplements d'altitude mélangés, de favoriser le sapin par rapport à l'épicéa peut être une décision qui permet d'ores et déjà de préparer l'adaptation des peuplements forestiers aux changements climatiques.

L'espace libéré en hautes altitudes par l'épicéa pourrait être colonisé, sur les contextes stationnels appropriés, par le sapin (Pinto 2006 ; Ficko, Poljanec et Boncina 2011), mieux adapté aux augmentations de températures, à la sécheresse ou même à la tempête (Elling *et al.* 2009). D'autant plus que l'absence actuelle du sapin est souvent due à l'action de l'homme plutôt qu'à celle du climat (par exemple en Tarentaise au dessus de 1400 m, (Desplanque, Rolland, et Michalet 1998)).

De façon concrète, le seuil des 12-13 °C de température moyenne mensuelle en juin pourrait être un indicateur pour le gestionnaire pour apprécier la place de l'épicéa. Puisqu'en montagne, la décroissance de la température avec l'altitude est en moyenne de 0,55 °C par 100 m (gradient variable selon les massifs), on peut estimer grossièrement (sans tenir compte du sol, de l'exposition ou des interactions entre différents facteurs) que chaque élévation de 1 °C de la température globale va correspondre à l'augmentation de 180 m de l'altitude limite inférieure de l'aire de répartition de l'épicéa et du sapin.

Face aux changements globaux, l'enjeu est de réussir à mettre en place des adaptations mesurées, progressives et appropriées au contexte local des forêts

alpines (Courbaud *et al.* 2011). Dans ce cadre là, le travail sylvicole en faveur du sapin vis-à-vis de l'épicéa dans l'étage montagnard et subalpin inférieur peut être une des stratégies d'adaptation au changement climatique.

Nicolas GOMEZ
ONF, département R&D
Pôle de Nancy

Bibliographie

Alger E., 2010. Guide des sylvicultures - Sapinières des Pyrénées. ONF. 146 p.

Andreassen, K., Solberg S., Tveito O.E., Lystad. S.L., 2006. Regional differences in climatic responses of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) growth in Norway. *Forest Ecology and Management*, vol. 222 (1-3) pp. 211-221

Aussenac G., 2002. Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate change. *Annals of Forest Science* vol. 59 (8) pp. 823-832. doi:10.1051/forest:2002080

Badeau V., Dupouey J.-L., Cluzeau C., Drapier J., 2005. Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100. *Forêt-Entreprise* n°162, 2005, pages 25-29.

Bartoli M., 2003. La dynamique naturelle de l'épicéa (*Picea abies* (L.) Karts.) dans les Pyrénées françaises. *Acta Botanica Barcinonensia* n° 49, pp. 281-290

Becker M., 1970. Transpiration et comportement vis-à-vis de la sécheresse de jeunes plants forestiers (*Abies alba* Mill., *Picea abies* (L.) Karsten., *Pinus nigra* Arn. ssp. *laricio* Poir., *Pinus strobus* L.). *Annales des Sciences Forestières* vol. 27 (4) pp. 401 - 420. doi:10.1051/forest/19700404

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 (9) pp. 1110-1117

Becker M., Geremia F., Schipfer R., 1987. Bilan de santé actuel et rétrospectif du sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologique. *Annales des Sciences Forestières* vol. 44 (4) pp. 379 - 402. doi:10.1051/forest:19870401

Beilhe F., Carcaillet C., Chauchard S., 2009. Elévation de la limite supérieure du Sapin pectiné (*Abies alba*) depuis 1950 en Maurienne. *Travaux scientifiques du Parc national de la Vanoise - Tome XXIV*

Bert G.D., 1993. Impact of ecological factors, climatic stresses, and pollution on growth and health of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Jura Mountains: an ecological and dendrochronological study. *Acta Oecologica* vol.14 (2) pp. 229-246

Bertrand R., Gégout J.-C., Bontemps J.-D., 2011. Niches of temperate tree species converge towards nutrient-richer conditions over ontogeny. *Oikos* vol.120 (10), pp. 1479-1488

Boisvenue C., Running S.W., 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity - Evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology* vol.12 (5), pp. 862-882

Bontemps J.-D., Hervé J.-C., Dhôte J.-F., 2009. Long-term changes in forest productivity: A consistent assessment in even-aged stands. *Forest Science* vol. 55 (6), pp. 549-564

Camarero J.J., Bigler C., Linares J.C., Gil-Pelegrín E., 2011. Synergistic effects of past historical logging and drought on the decline of Pyrenean silver fir forests. *Forest Ecology and Management*, vol. 262 (5) pp. 759-769

Camaret S., 1997. Rôle des perturbations dans la dynamique des pessières d'altitudes. Impact des ouvertures artificielles et naturelles sur la régénération et le développement d'un peuplements forestier. Thèse, université de Savoie. 272 p.

Carré M., Nola P., Motta R., Urbinati C., 2010. Contrasting tree-ring growth to climate responses of *Abies alba* toward

the southern limit of its distribution area. *Oikos* vol.119 (9) pp. 1515–1525

Carrer M., Anfodillo T., Urbinati C., Carraro V., 1998. High-altitude forest sensitivity to global warming: results from long-term and short-term analyses in the eastern Italian Alps. In : Beniston M., Innes J.L., editors. *The Impacts of Climate Variability on Forests*. Berlin, Germany : Springer. Lecture Notes in Earth Sciences n° 74 pp. 171-189

Charru M., Seynave I., Morneau F., Bontemps J.-D., 2010. Recent changes in forest productivity: An analysis of national forest inventory data for common beech (*Fagus sylvatica* L.) in north-eastern France. *Forest Ecology and Management* vol. 260 (5) pp. 864–874

Courbaud B., Kunstler G., Morin X., Cordonnier T. 2011. Quel futur pour les services écosystémiques de la forêt alpine dans un contexte de changement climatique? *Machine Design* vol. 83 (3) pp. 50–51

Déqué M. 2007. Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change* vol.57 (1-2) pp. 16–26

Desplanque C., Rolland C., Michalet R., 1998. Dendroécologie comparée du sapin blanc (*Abies alba*) et de l'épicéa commun (*Picea abies*) dans une vallée alpine de France. *Canadian Journal of Forest Research* vol. 28 (5) pp. 737–748

Elling W., Dittmar C., Pfaffelmoser K., Rötzer T., 2009. Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany. *Forest Ecology and Management* vol. 257 (4) pp. 1175–1187

Falk W., Mellert K.H., 2011. Species distribution models as a tool for forest management planning under climate change: Risk evaluation of *Abies alba* in Bavaria. *Journal of Vegetation Science* vol. 22 (4) pp. 621–634

Ficko A., Poljanec A., Boncina A., 2011. Do changes in spatial distribution, structure and abundance of silver fir (*Abies alba* Mill.) indicate its decline? *Forest Ecology and Management* vol.261 (4) pp. 844–854

Gauquelin X, Courbaud B., 2006. *Guide des sylvicultures de montagne - Alpes du nord françaises*. Cemagref/ONF. 289 p.

Gillot P., 1985. Economie de l'eau chez l'épicéa (*Picea abies* (L.) Karst.) en conditions de détresse hydrique: variabilité écophysiological des individus dans les Alpes dauphinoises; comparaison avec le Sapin (*Abies alba* Mill.). Thèse. Univ. Grenoble. 107 p.

Granier A., Claustres J.-P., Relations hydriques dans un épicéa (*Picea abies* L.) en conditions naturelles: variations spatiales. *Acta oecologica. Oecologia plantarum* vol. 10 (3) pp. 295–310

Grassi G., Bagnaresi U., 2001. Foliar morphological and physiological plasticity in *Picea abies* and *Abies alba* saplings along a natural light gradient. *Tree Physiology* vol.21 (12-13) pp. 959–967. doi:10.1093/treephys/21.12-13.959

Guehl J.-M., Clerc B., Desjeunes J.-M., 1985. Etude comparée des potentialités hivernales d'assimilation carbonée de trois conifères de la zone tempérée (*Pseudotsuga menziesii* Mirb., *Abies alba* Mill. et *Picea excelsa* Link.). *Annales des Sciences Forestières* vol. 42 (1) pp. 23–38. doi:10.1051/forest:19850102.

Guicherd P., 1994. Water relations of European silver fir (*Abies alba* Mill.) in 2 natural stands in the French Alps subject to contrasting climatic conditions. *Annales des Sciences Forestières* vol. 51 (6) pp. 599–611

Heuzé P., 2002. Impact à moyen terme des grands herbivores sauvages sur le renouvellement de la hêtraie-sapinière des hautes Vosges. Thèse. Université de Metz.

IPCC, 2007. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment*



N Gomez, ONF

Epicéa et sapin en forêt communale de Prénovel, sur le 2^e plateau du Jura (étage montagnard)

report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 114 p.

Kohler M., Sohn J., Nägele G., Bauhus J. 2010. Can drought tolerance of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be increased through thinning? *European Journal of Forest Research* vol. 129 (6) pp. 1109–1118

Lebourgeois F., 2007. Climatic signal in annual growth variation of silver fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Karst.) from the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Annals of Forest Science* vol. 64 (3), pp. 333–343

Lebourgeois F., Mérian P. 2011. has sensitivity of forest species to climate changed in the 20th century ?. *Revue Forestière Française* vol. 63 (1) pp. 17–32

Lebourgeois F., Rathgeber C.B.K., Ulrich E., 2010. Sensitivity of French temperate coniferous forests to climate variability and extreme events (*Abies alba*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*). *Journal of Vegetation Science* vol. 21 (2) pp. 364–376

Lefebvre L., 2010. *Gestion durable des forêts publiques: vers une meilleure prise*

en compte de la demande en résineux. Rendez-Vous Techniques de l'ONF n° 29-30 pp. 3-7

Lenoir J., Gégout J.-C., Marquet P.A., De Ruffray P., Brisse H., 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* vol. 320 (5884) pp. 1768–1771

Lévy G., Becker M., Lefevre Y., Schipfer R., 1987. Le dépérissement du sapin dans les Vosges: rôle primordial de déficits d'alimentation en eau. *Annales des Sciences Forestières* vol. 44 (4) pp. 403–416. doi:10.1051/forest:19870402.

Macias M., Andreu L., Bosch O., Camarero J.J., Gutiérrez E., 2006. Increasing aridity is enhancing silver fir (*Abies alba* Mill.) water stress in its south-western distribution limit. *Climatic Change* vol. 79 (3-4) pp. 289–313

Mäkinen H., Nöjd P., Mielikäinen K. 2000. Climatic signal in annual growth variation of Norway spruce (*Picea abies*) along a transect from central Finland to the Arctic timberline. *Canadian Journal of Forest Research* vol.30 (5) pp. 769–777

Miina J., 2000. Dependence of tree-ring, earlywood and latewood indices of Scots pine and Norway spruce on climatic factors in eastern Finland. *Ecological Modelling* vol. 132 (3) pp. 259–273

Moreau R., Schaeffer R., 1955. La descente du Sapin dans le département du Doubs : phénomène naturel ou provoqué par l'homme ? Extrait du Bulletin de la Société d'Histoire naturelle du Doubs, n° 59

Neumann U., Röhle H., 2001. The weather-dependent annual radial increment of Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.)

in mountainous regions of Saxony. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* vol. 120 (5) pp. 277–287

Piedallu C., Perez V., Gégout J.-C., Lebourgeois F., Bertrand R., 2009. Potential impact of global warming on the range of spruce, fir, beech and sessile oak in France. *Revue Forestière Française* vol. 61 (6) pp. 567–594

Pinto P., 2006. Ecologie et croissance de *Abies alba* Mill. en peuplements purs et mélangés dans le Massif Vosgien (Nord-est de la France). Thèse. Nancy [France] : AgroParisTech-ENGREF. 158 p.

Pinto P., Gégout J.-C., 2005. Assessing the nutritional and climatic response of temperate tree species in the Vosges Mountains. *Annals of Forest Science* vol. 62 (7) pp. 761–770

Rolland C., Lempérière G., 2004. Effects of climate on radial growth of Norway spruce and interactions with attacks by the bark beetle *Dendroctonus micans* (Kug., Coleoptera: Scolytidae): A dendroecological study in the French Massif Central. *Forest Ecology and Management* vol.201 (1) pp. 89–104

Rolland C., Michalet R., Desplanque C., Petetin A., Aimé S., 1999. Ecological requirements of *Abies alba* in the French Alps derived from dendro-ecological analysis. *Journal of Vegetation Science* vol. 10 (3) pp. 297–306

Rörig-Weisbrod C., Michiels H.-G., 2009. Perspektiven für die Forstwirtschaft: Wie reagiert die Fichte auf steigende Durchschnittstemperaturen? *PROWald*, Mai/2009, pp. 15-16

Savva Y., Oleksyn J., Reich P.B., Tjoelker M.G., Vaganov E.A., Modrzynski J., 2006.

Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. *Trees - Structure and Function* vol. 20 (6) pp. 735–746

Seynave I., Gégout J.-C., Herve J.-C., Dhôte J.-F., Drapier J., Bruno E., Dumé G., 2004. Forestry potential of norway spruce in eastern France - An investigation based on NFI data. *Revue Forestière Française* vol. 56 (6) pp. 537–550

Spiecker H., 1995. Growth dynamics in a changing environment - long-term observations. *Plant and Soil* vol. 168-169 (1) pp. 555–561

Stübner S., 2006. Klimawandel und Forstwirtschaft Aktueller Stand der Diskussion -Literaturstudie-Klimawandel oder Klimavariation? BFW-Praxisinformation n° 10

Tan B.S., 1987. Influences of some ecological factors on the first stages of fir *Abies alba* regeneration in the montain forests of the Jura. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, vol. 24 (4) pp. 623–635

Toromani E., Sanxhaku M., Pasho E., 2011. Growth responses to climate and drought in silver fir (*Abies alba*) along an altitudinal gradient in Southern Kosovo. *Canadian Journal of Forest Research* vol. 41 (9) pp. 1795–1807

Vielledent G., 2009. Structurer l'incertitude et la variabilité dans les modèles de dynamique forestière, application à la coexistence du Sapin et de l'Epicéa en forêt de montagne. Thèse. Paris : AgroParisTech. 257 p.

Wimmer R., Grabner M., 2000. A comparison of tree-ring features in *Picea abies* as correlated with climate. *IAWA Journal* vol. 21 (4) pp. 403–416

Dossier



La CRGF : regard sur 20 ans d'action et nouveaux enjeux

Le 16 novembre 2011, la CRGF célébrait ses 20 ans avec un colloque qui réunissait à Paris l'ensemble des acteurs concernés par la conservation des ressources génétiques forestières. Objectifs : informer sur les stratégies à l'œuvre en France et en Europe ; sensibiliser les décideurs aux nouveaux enjeux liés à la biodiversité et à l'adaptation au changement climatique ; proposer des modes d'actions appropriés. Ce dossier restitue l'essentiel du colloque et, au-delà, la CRGF répond aux questions restées en suspens.

- p.10 Conserver les RGF en France et en Europe : objectifs et méthodes
par François Lefèvre et Éric Collin
- p.14 Retour sur 20 ans de conservation des ressources génétiques forestières en France
par Michel Arbez et Éric Teissier du Cros
- p.19 Prise en compte des ressources génétiques dans la gestion durable des forêts publiques
par Brigitte Musch
- p.25 La conservation des ressources génétiques dans la gestion durable des forêts privées
par Sabine Girard
- p.28 Conservation *in situ* des ressources génétiques forestières : stratégies, dimensions nationale et pan-européenne
par Bruno Fady, Éric Collin, Alexis Ducouso, François Lefèvre, Brigitte Musch, Jean-Michel Fargeix, André Prochasson, Nicolas Reinhom et Marc Villar
- p.35 Conservation *ex situ* : collections statiques et valorisation dynamique
par Éric Collin, Hervé le Bouler, Olivier Forestier, Jean-Pierre Huvelin, Michel Rondouin, Patrice Brahic, Michel Bariteau, Bruno Fady, Sylvie Oddou-Muratorio, Jean Thévenet, Jean Dufour, Marc Villar, Sabine Girard et Luc Harvengt
- p.40 De nouvelles approches pour de nouveaux enjeux
par Luc Harvengt
- p.43 Synthèse des débats des tables rondes :
Rôle des RGF face aux enjeux de biodiversité / d'adaptation au changement climatique
- p.47 Réponses de la CRGF aux questions des tables rondes
- p.55 Discours d'Éric Allain, Directeur Général des Politiques agricole, agroalimentaire et des territoires

Conservier les ressources génétiques forestières en France et en Europe : objectifs et méthodes

La Commission des Ressources Génétiques Forestières¹ (CRGF) célèbre ses vingt ans d'existence en 2011, année internationale de la forêt qui suit l'année de la biodiversité et prépare le rapport sur l'état des ressources génétiques forestières mondiales de la FAO. Plus qu'un simple hasard du calendrier, cette concomitance illustre la position des ressources génétiques forestières (RGF) au cœur des enjeux mondiaux de préservation de la biodiversité et de gestion durable des forêts dans le contexte du changement climatique. Les RGF sont à la fois des cibles pour les politiques de conservation et des leviers d'action pour la gestion durable et adaptative.

Depuis 20 ans, la politique nationale de gestion des RGF est coordonnée grâce à deux commissions : la CRGF qui propose et met en œuvre la politique de conservation, et la section Arbres Forestiers du Comité Technique Permanent de la Sélection qui coordonne les actions de valorisation commerciale. Cette configuration permet de définir des politiques efficaces pour chacun des objectifs et de fédérer l'ensemble des différents acteurs impliqués, tout en maintenant une bonne cohérence d'ensemble et une capacité d'intervention conjointe puisque les secrétaires de chaque commission participent aux réunions des deux instances.

La commémoration des 20 ans de la CRGF est l'occasion de dresser le bilan de son action et d'ouvrir de nouvelles perspectives, la politique de conservation des RGF s'inscrivant désormais dans le cadre du Plan d'Action Forêt de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB) et du Dossier Forêt du Plan National d'Adaptation au Changement

Climatique (PNACC). La CRGF appuie ses recommandations et son action sur une expertise collective co-construite par ses différents membres, représentants des pouvoirs publics, de la recherche, de la gestion des forêts publiques et privées, des conservatoires botaniques, des associations naturalistes. Suivant cette logique, lors du colloque du 16 novembre à Paris, les perspectives sur la conservation des RGF ont été abordées sous forme de tables rondes dont les conclusions sont reprises dans ce volume.

Pourquoi conserver les ressources génétiques ?

La diversité génétique des arbres est une composante clef de la biodiversité forestière qui détermine en partie le fonctionnement et les autres composantes de la biodiversité de ces écosystèmes. Dans le contexte du changement climatique, les RGF sont des ressources pour l'obtention de nouvelles adaptations : tolérance à la sécheresse, résistances à des parasites, etc. On peut alors parler de valeur actuelle des ressources génétiques quand on cible certaines adaptations particulières. Mais il faut aussi accepter de conserver des RGF sans connaître précisément la « cible » de la conservation. Prenons l'exemple d'une future maladie émergente : les gènes de résistance qui nous intéresseront dans le futur sont aujourd'hui « invisibles » en l'absence de la maladie. On ne peut pas alors déterminer la valeur actuelle de telle ou telle ressource génétique, mais on peut comprendre la valeur de la diversité génétique comme source d'options pour un futur incertain. On conserve donc les RGF non seulement pour leur diversité connue mais aussi pour leur diversité inconnue.

Dimensions patrimoniale et évolutive des ressources génétiques

Le terme de ressources *génétiques* ne doit pas être compris dans le sens restrictif d'une collection de molécules chimiques appelées gènes. La diversité génétique au sens large a deux composantes : la diversité des formes de chaque gène (on parle des formes alléliques ou allèles d'un gène) et la diversité des combinaisons des formes sur plusieurs gènes (ces combinaisons sont les génotypes)². Suivant les mécanismes de l'hérédité par reproduction sexuée, chaque naissance innove une nouvelle combinaison génétique créant ainsi de la diversité : chaque individu est un génotype unique original, à la fois ressemblant à et différent de chacun de ses parents, frères et soeurs. Chaque événement de propagation sexuée est un événement d'évolution génétique, avec des mécanismes de création et d'érosion de la diversité génétique au sens large. À la différence des ressources minières, les ressources génétiques ont donc une capacité d'évolution : leur gestion n'est pas seulement une question de prospection et de gestion de stock, c'est aussi, et même avant tout, une question de gestion dynamique des évolutions.

Les RGF sont des arbres (propagés sous forme de graines, pollen, boutures, etc.), adaptés aux conditions et aux besoins actuels, ou utiles pour générer de nouvelles adaptations aux conditions et aux besoins futurs. Le terme d'adaptation génétique désigne à la fois un état et un processus, deux sens qu'il faut bien distinguer selon le contexte du discours³. L'adaptation comme état est un ensemble de combinaisons alléliques

¹ <http://agriculture.gouv.fr/conservation-des-ressources>

² On restreint souvent la notion de diversité génétique à la seule diversité des formes alléliques, sans tenir compte des combinaisons multi-géniques : cette conception étroite de la diversité ne permet pas de raisonner pleinement la gestion des RGF.

³ En anglais, deux termes permettent d'éviter les ambiguïtés : *adaptedness* pour l'état d'adaptation pour le processus



D. Cambon, ONF

Le pin de Salzmann
(cf. tableau 1) dans les falaises du Tarn

en adéquation avec les conditions et besoins en un lieu et à un instant donnés. L'adaptation comme processus réfère aux mécanismes d'évolution génétique permettant d'améliorer l'adéquation des combinaisons alléliques aux conditions et aux besoins, que ceux-ci soient fixes ou qu'ils évoluent eux-mêmes comme dans le cas du changement climatique. L'adaptation est une dynamique continue avec des phases de création et d'érosion de la diversité génétique qui relèvent de processus naturels en interaction avec la gestion. Les arbres forestiers se distinguent par une grande diversité génétique entre espèces, entre populations mais aussi entre individus au sein des populations. Les peuplements montrent généralement une adaptation génétique marquée aux conditions pédo-climatiques locales (clines latitudinaux et altitudinaux) mais aussi de faibles différences de fréquences alléliques entre populations, y compris des gènes impliqués dans le contrôle des caractères adaptatifs : les adaptations relèvent surtout des combinaisons génétiques.

La gestion des RGF a deux dimensions, une dimension patrimoniale pour conserver et exploiter les adaptations existantes, et une dimension évolutive pour faciliter la génération et la propagation de nouvelles adaptations. Cette deuxième

dimension est fondamentale dans le contexte de l'adaptation au changement climatique. Conserver les RGF ce n'est donc pas seulement les mettre sous cloche, il s'agit de les façonner pour les rendre plus facilement exploitables (description, caractérisation, accessibilité) et plus appropriées aux besoins futurs même incertains. L'exemple du pin radiata, diffusé à travers le monde à partir d'une aire naturelle limitée à quelques populations, illustre cette dimension évolutive : il s'est parfaitement adapté (en terme de survie et reproduction naturelle), en quelques générations seulement, à des conditions très différentes de son enveloppe bioclimatique d'origine⁴.

Dans un environnement stable, les objectifs de la conservation des RGF se définissent en terme d'adaptations (état) : a-t-on ici les bonnes combinaisons génétiques ? Sinon, existent-elles ailleurs toute faites ? Peuvent-elles émerger localement et se propager ? Peut-on les créer par amélioration génétique ? Dans un environnement changeant, si l'on considère que les « bonnes » combinaisons génétiques sont toujours dépassées par les changements environnementaux, les questions se posent en terme d'adaptabilité : quels sont le potentiel d'adaptation (processus) et la vitesse de réponse adaptative de telle ou telle ressource ? Comment maintenir à long terme un réservoir de diversité qui permette de répondre aux aléas futurs ? Comment favoriser les processus évolutifs allant dans le bon sens (par exemple vers une plus grande résistance au stress) ? Etc.

Les grandes lignes du programme national de conservation des ressources génétiques forestières

Dans leurs deux dimensions, patrimoniale et évolutive, les ressources génétiques forestières sont impactées directement ou indirectement par tous les actes de gestion : gestion sylvicole à l'échelle de la parcelle, aménagement forestier à l'échelle du massif, aménagement du territoire, réglementations et politiques

publiques nationales ou européennes... On comprend alors pourquoi l'un des premiers actes d'une politique nationale de conservation des RGF soit de sensibiliser et fédérer les acteurs concernés. En 1999, la *Charte pour la conservation des ressources génétiques des arbres forestiers* rédigée par la CRGF était signée par 25 organismes. La politique nationale de conservation des RGF s'appuie sur trois leviers d'action, détaillés dans les publications suivantes.

Le premier levier, celui qui touche l'ensemble des ressources génétiques sur tout le territoire, est la prise en compte des RGF dans les pratiques courantes de gestion, d'aménagement et dans les politiques publiques. Dans cet objectif, la CRGF réalise des synthèses scientifiques (Couvet et al., 1999 ; Prat et al., 2006 ; Valadon, 2009), des publications techniques (Arbez, 1987 ; Arbez et Lacaze, 1999 ; Teissier du Cros et al., 1999 ; ONF, 2004) et participe au débat public (CRGF, 2008). Pour ses préconisations, la CRGF adopte une démarche pragmatique et non normative. Concrètement, dans ses recommandations pour *préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique*⁵, la CRGF n'impose ni n'exclut aucun type de sylviculture mais éclaire le sylviculteur qui doit faire ce choix technique en indiquant les avantages, les inconvénients et les points de vigilance pour chaque mode de gestion, en regard de deux principes fondamentaux qui guident la conservation des RGF : (1) préserver la diversité génétique sur le long terme pour maintenir les possibilités d'évolutions futures, (2) favoriser les processus évolutifs pour permettre aux peuplements de suivre au mieux aux changements de leur environnement.

Le deuxième levier consiste à mettre en place un réseau de conservation pour un nombre limité d'espèces prioritaires (12 actuellement) choisies en raison de leur intérêt économique ou écologique, et des menaces qui pèsent sur leur diversité génétique. Priorité est donnée, tant que

⁴ Yan et al. (2006) définissent ainsi la 4^e version de son enveloppe bioclimatique potentielle.

⁵ [Ehttp://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/diversite_des_ressources_genetiquesjuin2008.pdf](http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/diversite_des_ressources_genetiquesjuin2008.pdf)

faire se peut, à la conservation *in situ*, gestion dynamique de peuplements en régénération naturelle, éventuellement assistée. Ce mode de conservation n'est pas toujours facilement applicable, par exemple pour les espèces ne formant pas de peuplements localement importants, espèces disséminées comme le cormier ou ayant subi un fort déclin démographique comme les ormes attaqués par la graphiose, ou pour les espèces fonctionnant en populations transitoires sur des cycles de colonisation-extinction comme dans les ripisylves. La conservation *in situ* est alors remplacée ou complétée par une conservation *ex situ* sous forme de collections, généralement clonales, maintenues au champ ou au laboratoire, l'aspect dynamique de la conservation étant alors seulement régi par le renouvellement du contenu des collections. Le tableau 1 et la figure 1 présentent ces réseaux spécifiques. Les modalités de mise en œuvre, échantillonnage des peuplements ou des clones et méthodes de gestion ou de propagation, sont décrites en détail dans les chapitres suivants.

Le troisième levier consiste à prendre en compte les deux dimensions (patrimoniale et évolutive) des RGF dans les espaces protégés et réseaux de conservation des habitats existants. C'est notamment une méthode appropriée pour les métapopulations⁶. Si cette approche semble une évidence en terme de biodiversité, sa mise en pratique est plus compliquée, pour trois raisons principales. D'une part, les logiques de conservation sont différentes : dans les espaces protégés il y a bien souvent un objectif de conservation d'espèces mais celles-ci sont choisies sur la base du risque d'extinction, tandis que pour la conservation dynamique des RGF nous devons mettre l'accent sur les grandes populations susceptibles d'assurer une dynamique évolutive sans risque d'extinction. D'autre part, la conservation des RGF est un objectif de résultat pour lequel on cherchera les méthodes les plus appropriées, tandis que certains systèmes de pro-

Espèce		Type de distribution	Nb d'unités de conservation <i>in situ</i>	Nb de clones en collection <i>ex situ</i>
Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>	Sociale	20	-
Cormier	<i>Sorbus domestica</i>	Disséminée	-	46+14
Épicéa	<i>Picea abies</i>	Sociale	10	-
Hêtre	<i>Fagus sylvatica</i>	Sociale	28	-
Merisier	<i>Prunus avium</i>	Disséminée	2	251
Noyer	<i>Juglans regia</i>	Disséminée	-	58+115
Ormes	<i>Ulmus sp.</i>	Ripisylve	2	417
Peuplier noir	<i>Populus nigra</i>	Ripisylve	2	260
Pin maritime	<i>Pinus pinaster</i>	Sociale	4	-
Pin de Salzmann	<i>Pinus nigra ssp salzmanni</i>	Sociale endémique	-	(en cours)
Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris</i>	Sociale	(en cours)	-
Sapin	<i>Abies alba</i>	Sociale	21	-

Tab. 1 : les réseaux de conservation

tection des espaces se déclinent en objectifs de méthodes (par exemple les réserves intégrales). Enfin, les circuits administratifs gérant les espaces protégés et les RGF sont distincts. La CRGF appuie son analyse des complémentarités ou incompatibilités entre les systèmes de protection d'espaces et les objectifs de conservation des RGF sur la base d'une charte de gestion pour la conservation dynamique des RGF qui définit les clauses techniques et particulières de conservation. Ainsi, ayant constaté une compatibilité des objectifs et des modes de gestion, les premières chartes ont été signées récemment par des Réserves Naturelles de France, qui affichent donc les RGF dans leur document d'objectif.

Le fonctionnement de la CRGF est cadencé par deux réunions plénières annuelles, et des réunions de ses trois groupes de travail : (1) méthodes *in situ* et impact des pratiques sylvicoles, (2) méthodes *ex situ* et valorisation des collections, (3) méthodes pour les espèces disséminées. Chacun des 12 réseaux spécifiques est coordonné par un animateur qui assure le relais entre la CRGF et les propriétaires et gestionnaires locaux de chaque unité conservatoire, et dispose d'un référent scientifique qui intervient par ses conseils auprès de l'animateur et de la CRGF.

Une politique nationale dans un cadre européen et mondial

La politique nationale de conservation des RGF s'inscrit bien évidemment dans un contexte européen (au sens continental, non restreint à l'Union Européenne) et mondial. La Conférence Ministérielle pour la Protection des Forêts en Europe⁷ est une coopération des ministres responsables des forêts de 46 pays européens et de l'Union Européenne. Depuis la Conférence à Strasbourg en 1990, l'une des résolutions adoptées par les gouvernements et maintenue au cours des réunions ultérieures (1993, 1998, 2003, 2007...) concerne les RGF : S2 « *maintenir, conserver, reconstituer et améliorer la diversité biologique des forêts, y compris leurs ressources génétiques, par la gestion durable des forêts* ». Pour mettre en œuvre cette résolution, les pays européens ont fondé en 1994 le Programme Européen sur les Ressources Génétiques Forestières EUFORGEN⁸. Le secrétariat d'EUFORGEN est assuré par Bioversity International à Rome, un coordinateur national est nommé dans chacun des pays participants. EUFORGEN a deux objectifs principaux : (1) promouvoir la conservation des RGF pour une gestion durable des forêts, (2) soutenir les programmes nationaux et, surtout, les coordonner à l'échelle continentale. Durant les trois premières phases quadriennales, le programme EUFORGEN a fonctionné sous

⁶ Une métapopulation est un réseau de populations fonctionnant par des cycles de colonisation - extinction : l'espèce disparaît localement mais se maintient à l'échelle globale du système (fonctionnement fréquent chez les espèces pionnières)

⁷ dont le nom raccourci est Forest Europe <http://www.foresteuropa.org/fre/>

⁸ <http://www.euforgen.org/>

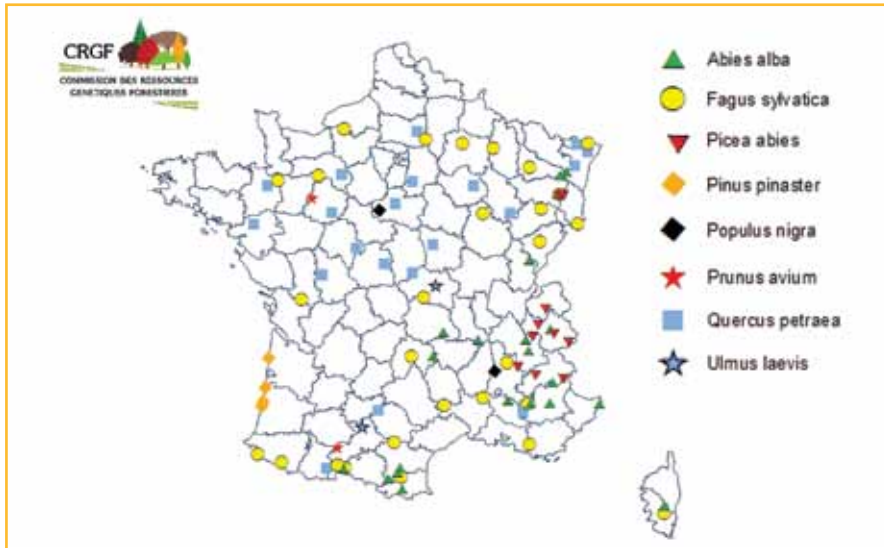


Fig. 1 : localisation des unités de conservation dynamiques du programme national de conservation des ressources génétiques forestières

forme de réseaux par espèces ou groupes d'espèces. Ces réseaux ont permis d'harmoniser des stratégies de conservation adaptées à chaque situation et éditées sous forme de guides techniques traduits en plusieurs langues, de développer des outils communs pour la gestion comme des bases de données ou des cartes de distribution, de mettre en place les prémices d'un programme de conservation pan-européen pour les principales espèces cibles. Actuellement, le programme EUFORGEN fonctionne par groupes de travail thématiques. Il a récemment mis en place le premier système d'information sur la conservation dynamique des RGF en Europe, EUFGIS⁹. Derrière ce système d'information et son portail internet¹⁰ se cache un travail remarquable de définition des concepts et méthodes de conservation dynamique des RGF et de standardisation de l'information partagée par 33 pays. Ce niveau de coordination à l'échelle continentale et le système d'information qui en découle sont rarissimes dans le milieu de la conservation. La base de données renferme des informations standardisées sur plus de 2 500 populations de 86 espèces d'arbres, réparties dans près de 2 000 unités conservatoires (une unité pouvant comprendre plusieurs populations cibles de la conservation) dans 31 pays. Ces informations permettent de produire des indicateurs fiables et quantitatifs sur l'état de la conservation des RGF à l'échelle

européenne pour le suivi de la résolution S2. Au niveau strict de l'Union Européenne, la politique de conservation des RGF s'inscrit désormais dans la Stratégie de l'Union sur la biodiversité à l'horizon 2020.

Au niveau mondial, les questions générales de ressources génétiques, tous organismes confondus (végétaux, animaux, micro-organismes) relèvent de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) : en particulier, les règles d'accès et de partage des avantages liés aux ressources génétiques sont édictées sur la base des grands principes du protocole de Nagoya. Pour les RGF en particulier, la FAO assure une certaine coordination transcontinentale, grâce à un groupe d'experts et un groupe de travail intergouvernemental sur les RGF. Avec la contribution des états et d'EUFORGEN au niveau européen, elle prépare l'état des ressources génétiques forestières mondiales, à paraître en 2013.

François LEFÈVRE

(Président de la CRGF)

INRA Avignon

URFM Écologie des Forêts

Méditerranéennes

Éric COLLIN

(Secrétaire de la CRGF)

Irstea Nogent/V.

UR Écosystèmes Forestiers

Bibliographie

Arbez M (coord.), 1987. Les ressources génétiques forestières en France. Tome 1 : Les conifères. INRA, BRG, Paris, 236 p. (document fondateur, paru avant la création de la CRGF)

Arbez M., Lacaze J.F., 1999. Les ressources génétiques forestières en France. Tome 2 : Les feuillus. Paris : INRA, BRG, 408 p.

Couvet D., Austerlitz F., Brachet S., Frascaria-Lacoste N., Jung-Muller B., Kremer A., Streiff R., 1999. Flux géniques chez les arbres forestiers : synthèse bibliographique. Document CRGF, Paris, 67 p.

Commission des Ressources Génétiques Forestières, 2008. Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique. MAAPRAT, Paris, 4 p.

Office national des forêts, 2004. Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire. RenDez-Vous techniques de l'ONF, Hors-série n°1, 130 p.

Prat D., Faivre-Rampant P., Prado E., 2006. Analyse du génome et gestion des ressources génétiques forestières. Paris : INRA, ed. Quae, 484 p.

Teissier du Cros E (coord.), 1999. Conserver les ressources génétiques forestières en France. INRA, MAAP, BRG, Paris, 60 p.

Valadon A., 2009. Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers, analyse bibliographique. Les Dossiers Forestiers de l'ONF, n° 21, 157 p.

Yan H., Bi H., Li R., Eldridge R., Wu Z., Li Y., Simpson J., 2006. Assessing climatic suitability of *Pinus radiata* (D. Don) for summer rainfall environment of southwest China. *Forest Ecology and Management*, vol. 234 pp.199-208

⁹ <http://www.eufgis.org/>

¹⁰ <http://portal.eufgis.org/>

Retour sur vingt ans de conservation des ressources génétiques forestières en France

Les premières recherches « modernes » sur les ressources génétiques forestières ont été entreprises, en France, à l'École Nationale des Eaux et Forêts de Nancy puis à l'INRA par Pierre Bouvarel et Jean-François Lacaze. Elles concernaient la variabilité génétique des arbres forestiers, son exploration en plantations comparatives et son utilisation en sélection, sans négliger sa conservation (Bouvarel, 1970) notamment *ex situ*, sous forme de clones greffés ou de descendances : installation des premiers conservatoires d'écotypes remarquables d'épicéa d'altitude du Jura et des Vosges, de pin sylvestre des Vosges et de pin laricio de Corse.

Premiers inventaires systématiques des ressources génétiques forestières en France

À partir de 1960, l'exploration systématique de la variabilité géographique des espèces forestières autochtones ou introduites, dès lors qu'elles revêtaient une importance significative pour le reboisement (le Douglas en est un exemple), se développa de manière spectaculaire sous la direction de Jean-François Lacaze.

En 1983, l'État décida de créer un Bureau des Ressources Génétiques (BRG, voir encadré). Originellement dédié aux plantes cultivées et aux espèces animales domestiquées par l'homme, le BRG a, dès ses débuts, inclus les arbres forestiers au nombre de ses objectifs. Impressionné par leur énorme diversité génétique, son premier directeur, André Cauderon, surtout connu pour ses travaux de génétique et de création des premiers hybrides français de maïs, s'est aussi mobilisé en faveur de la conservation des ressources génétiques des arbres forestiers. Cet intérêt du BRG ne s'est jamais démenti par la suite.

André Cauderon a ainsi demandé à l'INRA de coordonner un premier inventaire des ressources génétiques forestières identifiées, évaluées et conservées en France, sur le territoire métropolitain et outre-mer. Le premier tome (conifères) est paru en 1987 (Arbez, 1987) et le second (feuillus) a suivi 11 ans plus tard (Arbez et Lacaze, 1998). Ce fut un travail collégial et peu gratifiant mais indispensable pour assurer la mémoire de la diversité génétique connue et déjà préservée pour les évolutions futures. Ce travail incluait des informations sur les caractéristiques et l'aire de répartition de chaque espèce, mais surtout sur la nature des entités génétiques conservées (populations, descendances, clones), la

forme et le lieu de cette conservation, l'organisme impliqué et les coordonnées des personnes responsables. Les deux ouvrages rappelaient aussi les menaces d'érosion affectant chaque espèce et les conditions d'obtention et de valorisation de ces ressources. Ils contenaient une importante bibliographie. Ce travail d'inventaire devait faire l'objet d'une mise à jour périodique. Aujourd'hui, 25 ans plus tard, cette actualisation fait encore défaut et reste plus que jamais nécessaire.

La collaboration, d'emblée étroite, des « pionniers » avec le BRG s'est ensuite poursuivie de manière toujours aussi fructueuse, avec Marianne Lefort, lors

Du BRG à la FRB

De sa création en 1983 à sa fusion dans la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB) en 2008, le Bureau des Ressources Génétiques a, durant 25 années, coordonné et animé les réseaux de conservation des ressources génétiques animales, végétales et microbiennes. Mandatée par les pouvoirs publics pour élaborer et conduire la politique nationale en la matière, cette organisation gouvernementale dépendait de 6 ministères et associait 7 instituts de recherche :

- ministère en charge de la Recherche
- ministère en charge de l'Industrie
- ministère en charge de l'Agriculture
- ministère en charge de l'Environnement
- ministère en charge de l'Outre-mer
- ministère en charge de la Coopération
- Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)
- Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN)
- Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
- Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
- Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)
- Groupement d'Etude et de Contrôle des Variétés et des Semences (GEVES)
- Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer)

En 2008, a été créée la FRB réintégrant la recherche sur les ressources génétiques dans le champ plus global des recherches sur la biodiversité. Cette fondation s'appuie sur un Conseil Scientifique et un Conseil d'Orientation Stratégique où sont représentés tous les pans de la société directement ou indirectement concernés par ces questions. Les missions de la FRB portent sur la stratégie de recherche et l'international (soutien à la création de la plate-forme scientifique intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques, IPBES), son rôle dans l'animation des réseaux de ressources génétiques passera par un projet RGscope en construction.

des étapes majeures que nous évoquons plus loin : la rédaction de la Charte (CRGF/BRG, 1997a), et les tractations avec l'IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute) et la FAO pour la mise en place du programme européen EUFORGEN (European Forest Genetic Resources).

La France dans le contexte européen

À la fin des années 80, des inquiétudes fortes ont commencé à s'exprimer concernant le dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique à longue distance. Cela concernait l'Allemagne et l'est de l'Europe et aussi, en France, la Normandie et l'Alsace. Il y avait déjà, en arrière-plan, des interrogations sur l'existence d'un réchauffement climatique global et ses conséquences possibles sur la santé et la survie des forêts. À l'initiative de la France et de la Finlande, ces inquiétudes ont motivé la tenue à Strasbourg, en octobre 1990, d'une première Conférence Ministérielle pour la Protection des Forêts en Europe (CMPFE). À cette occasion, 32 pays signataires se sont engagés, entre autre, à initier ou à poursuivre une politique concertée de conservation des ressources génétiques forestières (résolution 2) et à mettre en place une structure permanente de suivi des résolutions prises.

La résolution 2 de Strasbourg s'est concrétisée par une enquête sur la situation des ressources génétiques forestières et l'inventaire des mesures techniques et réglementaires prises dans chaque pays européen pour leur conservation. Ces actions ont été accompagnées par la mise en place des 4 premiers réseaux-pilotes de conservation concernant l'épicéa, le chêne liège, le peuplier noir et les feuillus précieux (Rosacées, merisier principalement), chaque espèce ou groupe d'espèces représentant un modèle différent de répartition spatiale et de système de reproduction (Arbez, 1994).

Faisant suite au premier Sommet de la Terre, organisé à Rio par l'ONU en 1992, la deuxième CMPFE s'est tenue à Helsinki, en juin 1993. Elle a fait le bilan

des avancées réalisées dans chaque pays depuis Strasbourg et proposé la création d'un programme coopératif européen permanent sous l'égide de l'IPGRI et du département forestier de la FAO. Ce programme, co-financé annuellement par les États, s'est traduit par la naissance d'EUFORGEN (Turok *et al.*, 1995) qui poursuit son activité aujourd'hui grâce, notamment, à un engagement important et permanent de la France. Une CMPFE a lieu tous les 4 ans ; la dernière en date, la sixième, s'est tenue à Oslo en juin 2011.

La CRGF

Créée par le ministère chargé de la Forêt en 1991, la Commission nationale des Ressources Génétiques Forestières (CRGF) associe chercheurs, gestionnaires forestiers publics et privés, administration et milieu associatif naturaliste. Elle propose au ministère les grandes orientations et les priorités du Programme national de gestion et de conservation des ressources génétiques des arbres forestiers.

Ses missions auprès du ministère chargé de la Forêt pour la mise en oeuvre de la politique de conservation des ressources génétiques forestières portent plus particulièrement sur les domaines suivants :

- mise en place des réseaux nationaux de conservation *in situ* des ressources génétiques des principales essences forestières prévus par la circulaire du 9 septembre 1991 (fixant les principes d'une politique nationale de conservation des ressources génétiques forestières) ;
- constitution et maintien des Collections nationales de clones conservés *ex situ* ;
- mise en oeuvre, au plan international, de la résolution 2 de la conférence de Strasbourg concernant la conservation des ressources génétiques forestières en Europe ; des membres de la CRGF représentent la France au sein des réseaux du programme EUFORGEN ;
- échanges et diffusions d'informations concernant la conservation des ressources génétiques forestières, notamment à destination des propriétaires et gestionnaires de forêts, tant publiques que privées.

Élaboration d'une politique nationale

Dans un premier temps, en vertu des engagements de Strasbourg, la France a formalisé une politique nationale de conservation des ressources génétiques forestières, dans une circulaire DERF/Service des Forêts, de septembre 1991¹. Il faut saluer ici la qualité du travail réalisé par Christian Barthod, alors chef du Service des forêts, avec le soutien sans faille de l'ONF et de son directeur général de l'époque, Georges Touzet.

Création de la CRGF

La Commission des Ressources Génétiques Forestières (CRGF) a été créée dans la foulée pour définir les modalités pratiques de mise en oeuvre de cette politique : mise en place d'un réseau national de gestion et de conservation, organisé par espèce, combinant méthodes *in situ* et *ex situ* et concentré, au moins au début, en forêt publique (Arbez, 1992). Le choix au départ a porté sur le merisier et l'orme (*ex situ*), et sur deux espèces sociales, le hêtre et le sapin pectiné (*in situ*). Pour ces derniers, le nombre et les caractéristiques des unités de conservation ont été décidés à partir des connaissances disponibles à l'époque.

Une Charte pour mobiliser tous les acteurs

Dans un second temps la CRGF et le BRG ont élaboré et fait ratifier une Charte étendant aux organismes volontaires de la forêt privée et aux conservatoires d'espaces naturels, les dispositions déjà en vigueur en forêt publique (CRGF/BRG, *op. cit.*). Parallèlement, la CRGF s'est dotée d'une cellule d'appui méthodologique ayant comme mandat de répondre aux questions scientifiques posées par les méthodes de conservation et la gestion des réseaux conservatoires *in situ*. À souligner également la création par l'ONF, au sein de son département recherche, du Conservatoire génétique des arbres forestiers (CGAF) à Orléans, pour se tenir toujours au plus près du questionnement des gestionnaires de forêt.

¹ NDLR : circulaire DERF/SDF/N91/n° 3011 du 9 septembre 1991

Retour sur vingt ans de succès de la CRGF

Dès le début, la CRGF a réussi à rassembler pratiquement tous les partenaires publics et privés, nombreux et enthousiastes, indispensables à la réussite de l'entreprise : administration, recherche, développement et gestion des forêts. Parmi ceux-ci, le Cemagref par son rôle fédérateur et l'ONF par son volontarisme et sa compétence gestionnaire, doivent être salués. Forte de cette légitimité, la CRGF a coordonné la mise en œuvre de programmes unanimement reconnus qui ont bénéficié de financements garantis sur plusieurs années, à la hauteur des ambitions à long terme du projet.

Comme déjà souligné, la feuille de route initiale de la CRGF a été plutôt prudente : deux réseaux *in situ* (hêtre et sapin) et deux réseaux *ex situ* (merisier et orme champêtre) mis en place d'une manière pragmatique. Ces réseaux ont donc été constitués avec les connaissances de l'époque, notamment, pour le hêtre et le sapin, en utilisant les régions de provenance et en composant des unités conservatoires robustes, suffisamment vastes et bien protégées des apports de pollen indésirable. Le compromis choisi concernait 20 à 30 unités conservatoires en futaie dont le « noyau » comptait au

moins 60 semenciers/ha. La gestion de ces premières unités conservatoires ne devait pas s'écarter notablement de la sylviculture habituellement pratiquée pour l'espèce et la forêt concernées, à l'exception toutefois de la régénération naturelle. Trois règles devaient être respectées : en premier lieu, programmer la régénération du noyau avant celle de la zone d'isolement ; deuxièmement, pendant la régénération, maintenir au moins 60 semenciers à l'hectare lors de la coupe d'ensemencement et, troisièmement, procéder à des récoltes conservatoires de semence en vue de compléments de régénération en cas d'échec partiel ou total de la régénération naturelle.

Depuis, plusieurs facteurs ont permis d'étoffer ces réseaux et d'en créer d'autres. Actuellement, douze espèces font l'objet de réseaux conservatoires achevés ou en cours de constitution (Fady *et al.*, Collin *et al.*, dans ce dossier). Pour les réseaux *in situ*, les recherches en génétiques des populations, à l'aide de marqueurs moléculaires neutres, ont permis de constituer des grands groupes présentant une certaine homogénéité, dans lesquels ont été choisies les unités conservatoires. Ces résultats génétiques, ajoutés aux conditions écologiques locales, éventuellement particulières, ont aussi permis d'inclure dans les réseaux

des populations singulières voire des biotopes permettant de protéger plusieurs espèces simultanément. Pour les espèces conservées *ex situ*, ce sont de nouvelles modalités de conservation qui se sont ajoutées à celles qui avaient été préconisées au début : cryoconservation, pseudo-*in situ* dynamique, combinaison *ex situ* et *in situ*.

Pour gérer durablement nos forêts, nous devons poursuivre l'étude des effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres (Valadon, 2009). Concernant la prise en compte des réseaux et unités conservatoires dans la gestion forestière (Musch ; Girard, dans ce dossier), l'argument majeur et convaincant est qu'une sylviculture vigoureuse destinée à produire du bois de qualité est tout à fait compatible avec une conservation dynamique des ressources génétiques forestières. Ainsi, la conservation n'est-elle pas ressentie par les gestionnaires comme une entrave voire une mise au musée.

Pendant ces 20 ans, la France a continué de s'impliquer fortement dans la coopération internationale. De nombreux acteurs de la CRGF en ont été les inspirateurs et les moteurs. La diversité de ces acteurs et la coordination des actions ont créé des synergies entre programmes de

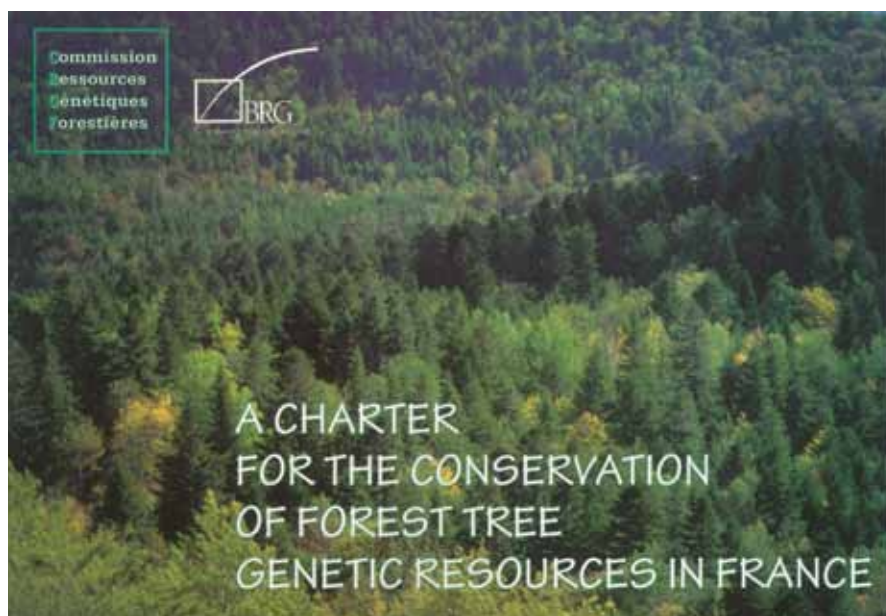
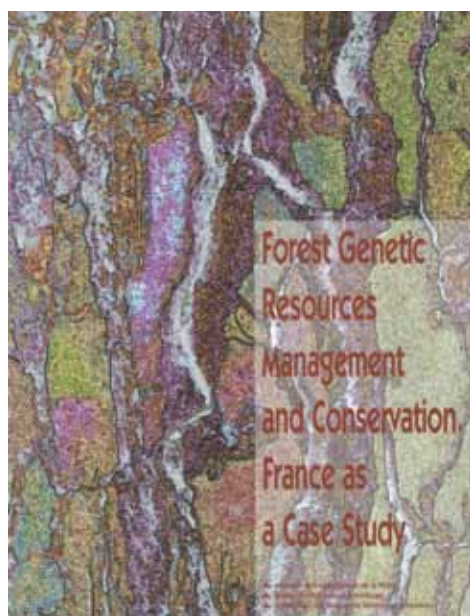


Fig. 1 et 2 : versions anglaises de la plaquette « Conserver les ressources génétiques... » (à gauche) et de la Charte (à droite)

conservation (BRG, INRA, Université), de sélection (INRA, CTPS – Comité Technique Permanent de la Sélection), de recherches universitaires sur le fonctionnement des écosystèmes (GIP ECOFOR) aussi bien que de gestion des forêts sur le terrain (ONF, CRPF).

Toutes ces actions se sont accompagnées d'une politique forte d'explication et de communication en direction de tous les publics : gestionnaires forestiers (Charte, numéro spécial des RenDez-Vous techniques ONF en 2004), étudiants et simples citoyens (Sciences en fête), mais aussi plus récemment « élus » (ONERC, 2011), sans oublier la très belle plaquette « Conserver les ressources génétiques forestières en France » (Teissier du Cros, 1999). Pour bien expliquer la complémentarité entre conservation des ressources génétiques, conservation des habitats et gestion durable de la biodiversité, deux colloques ont été organisés à Nancy à dix ans d'intervalle et leurs communications reprises dans des numéros spéciaux de la Revue Forestière Française (Patrimoines naturels forestiers 1991 et Gestion de la biodiversité 2001). Tous les partenaires ont contribué à cet effort d'explication et de communication.

En complément, pour contribuer à faire connaître son savoir-faire en Europe, la CRGF s'est, parmi d'autres contributions, employée à traduire deux de ses publications de référence en anglais (figure 1, Teissier du Cros 2001 et figure 2, CRGF/BRG, 1997b).

Quelques pistes pour le futur

Sécuriser et optimiser l'existant

Dans une première phase, il est important de conforter les réseaux conservatoires existants pour qu'ils ne puissent pas être détruits, même en partie, par des attaques de ravageurs ou par des adversités climatiques extrêmes. Tout le monde a en mémoire les tempêtes de 1999 et 2009. Certaines unités conservatoires ont été durement touchées comme, par exemple, celle concernant le hêtre en forêt de Haye près de Nancy. Faut-il envisager un doublement des unités conservatoires dans chaque unité généti-



H. Angioletti, ONF

La tempête de 1999 a saccagé la forêt de Haye (54), y compris l'unité conservatoire de hêtre

co-écologique ? Cette solution, possible en principe, a cependant ses limites financières et techniques, rédhibitoires en période de crise. En revanche, et ceci peut nous rassurer, des modélisations ont montré que dans une forêt gérée de manière intensive, c'est-à-dire suffisamment ouverte pour favoriser le flux pollinique à l'échelle du peuplement, un nombre d'arbres relativement faible représente une part élevée de la diversité génétique totale. Pour le hêtre, par exemple, seulement 8 semenciers à l'hectare (un arbre tous les 35 mètres) représentent 85 % de la diversité allélique totale du peuplement. À l'opposé, une gestion trop conservatrice, fermant les peuplements, ne favorise pas le brassage génétique : au contraire, elle produit des cercles de consanguinité qui diminuent la diversité génétique. Ainsi, une hêtraie adulte trop dense (un semencier tous les 9 mètres = 128/hectare) ne présente pas plus de diversité génétique qu'un peuplement ne possédant que 8 semenciers/ha (Forstreuter *et al.*, 2006). La gestion intensive est donc une police d'assurance contre la perte de diversité. Dans une deuxième phase, afin d'augmenter à moindre coût le nombre d'espèces conservées, il serait souhaitable d'inventorier les espèces secondaires présentes dans les unités conservatoires *in situ* des espèces principales.

Par exemple, l'if dans la hêtraie ou l'aule dans la ripisylve. Le cahier des charges de gestion n'aurait plus, ainsi, qu'à s'assurer de maintenir ces espèces secondaires au moment de la régénération.

Autres pistes

Deux actions s'imposent prioritairement pour sécuriser l'édifice : actualisation de l'inventaire des ressources génétiques forestières et mise en place d'un Observatoire de l'érosion de ces ressources.

La première action concerne à la fois la métropole et l'outre-mer. Sur ce dernier point, souvenons-nous de l'importance du domaine tropical concernant la biodiversité de la planète et tout particulièrement pour nous de la Guyane. Cette actualisation de l'inventaire est une mesure d'urgence qui reste compatible avec la situation de crise financière actuelle et l'étiage de tous les budgets. Cette mesure ne serait pour autant, ni gratuite, ni suffisante.

La seconde action ne nécessite pas de créer de structure nouvelle. La mise en réseau et la centralisation de toutes les informations disponibles en provenance des observateurs de terrain (Santé des forêts, IFN, ONF...) englobant pertes de croissance, dépérissements, dégâts

anormaux d'insectes ou de maladies, constituerait un véritable Observatoire, capable de donner l'alerte et d'orienter les priorités et les urgences des mesures conservatoires concernant les ressources génétiques forestières.

Un troisième type d'action a été beaucoup discuté dans les milieux scientifiques internationaux. Une grande partie des phénomènes mentionnés ci-dessus pourrait avoir pour origine une réaction au changement climatique global. Des résultats scientifiques récents touchant aux mécanismes de plasticité à l'œuvre chez les espèces forestières, incitent certains à penser que cette plasticité pourrait être suffisante pour permettre à la plupart des espèces de survivre voire de s'adapter au réchauffement climatique en cours. Même en faisant la part des dommages directs d'origine humaine, la disparition rapide des forêts d'Afrique du Nord invite cependant à la prudence. Deux obstacles se présentent. Le premier est que le changement climatique actuel semble si rapide qu'il ne permet pas d'envisager l'apparition de génotypes nouveaux et adaptés aux conditions nouvelles, par croisements naturels sur plusieurs générations. Le deuxième obstacle est l'incapacité des espèces à se déplacer naturellement faute d'espaces disponibles. Cela nous inciterait donc à conseiller la mise en œuvre de mesures de redéploiement artificiel de la diversité génétique des grandes espèces forestières de notre territoire métropolitain, autochtones ou introduites, dans des milieux plus chauds et plus secs que les nôtres aujourd'hui (conservation dynamique *ex situ*). Nous pensons par exemple au test des ressources génétiques métropolitaines de pin maritime dans un pays du Maghreb. C'est une entreprise ambitieuse, à la réalisation de laquelle les liens tissés par la France dans le domaine de la coopération internationale, méditerranéenne notamment, pourraient contribuer. De manière moins coûteuse, nous pourrions aussi accorder une attention particulière au comportement des populations forestières dans les milieux les plus marginaux représentés dans les réseaux de plantations comparatives existantes.

En conclusion

Les succès de la CRGF durant les vingt dernières années sont liés, non seulement à la continuité de l'engagement financier public sur cette période, mais aussi à la cohésion de l'effort collégial de tous les partenaires engagés dans cette action d'intérêt général et de long terme. Le moindre désengagement d'un seul des partenaires pourrait ruiner l'édifice qu'il a fallu vingt ans à construire. De plus, si tel devait être le cas demain, que dire de notre crédibilité vis à vis des engagements du Grenelle de l'Environnement et de ceux pris en matière de coopération internationale, alors que les effets du changement climatique, encore contestés il y a 20 ans, sont de plus en plus évidents chaque jour.

Michel ARBEZ

Éric TEISSIER DU CROS

Directeurs de Recherches INRA
à la retraite, respectivement
premier et deuxième présidents de la CRGF

Bibliographie

Arbez M. (coord.), 1987. Les ressources génétiques forestières en France. Tome 1 : les conifères. INRA/BRG. 236 p.

Arbez M., 1992. Un programme national de conservation des ressources génétiques forestières *In* : Conservation et gestion des ressources génétiques végétales en France. Paris : BRG et CTPS, pp. 33-43

Arbez M., 1994. Fondement et organisation des réseaux européens de conservation des ressources génétiques forestières. Elsevier/INRA. *Sel Evol* vol 26 (1), pp. 301-314

Arbez M., Lacaze J.F. (coord.), 1998. Les ressources génétiques forestières en France. Tome 2 : les feuillus. INRA/BRG. 408 p.

Bouvarel P., 1970. The conservation of gene resources of forest trees. *In* : Genetic resources in plants, their exploration and conservation. Oxford : Blackwell Sci. Publ. pp.523-529

CRGF/ BRG, 1997. Une Charte pour la conservation des ressources génétiques des arbres forestiers en France. Paris : BRG Edit. 10 p.

CRGF/BRG, 1997. A charter for the conservation of forest tree genetic resources in France. Paris : BRG Edit. 10p.

Forsreuter M., Reichwaldt G., Kiefer K., Kramer K., Werf B. (van der), 2006. Guidelines of seed collection, treatment and cultivation of plants. *In* : Kramer Ed. Effects of silvicultural regimes on dynamics of genetic and ecological diversity of European beech forests. Impact assessment and recommendations for sustainable forestry. Final Report of 5th framework project DynaBeech, QLK5-CT-1999-1210. Wageningen. Pp. 237-244

Rameau J.C. (coord.), 2001. Gestion de la biodiversité : réalisations concrètes. *Rev. For. Fr.* Numéro spécial, 375 p.

ONF, 2004. Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire. *Rendez-vous techniques*, hors série n°1. Paris. 130 p.

Patrimoines naturels forestiers, 1991. *Rev. For. Fr.* Numéro spécial, 223 p.

Teissier du Cros E. (coord.), 1999. Conserver les ressources génétiques forestières en France. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, BRG, CRGF, INRA-DIC, Paris, 60 p.

Teissier du Cros E. editor, 2001. Forest genetic resources management and conservation. France as a case study. Ministry of Agriculture and Fisheries, Bureau of Genetic Resources, Commission of Forest genetic Resources. Paris : INRA-DIC. 60 p.

Turok T., Palmberg-Lerche C., Matyas Cs., Arbez M., and Frison E., 1995. First Report of the Steering Committee. EUFORGEN Document. Rome : IPGRI. 27 p.

Valadon A., 2009. Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétiques des arbres forestiers. *Analyse bibliographique. Les dossiers forestiers*, ONF/CRGF. 157 p.

Prise en compte des ressources génétiques dans la gestion durable des forêts publiques



A. Valadon, ONF

Aux sources de l'engagement de l'ONF, l'installation des premiers réseaux de conservation *in situ* : ici celui du sapin (UC du Canigou-66)

La prise en compte de la diversité génétique dans le monde forestier est relativement ancienne même si, comme Mr Jourdain, les forestiers faisaient de la conservation de ressources génétiques sans le savoir à travers leurs pratiques sylvicoles ordinaires. On peut aussi, comme le souligne Callaham (1964), noter que les forestiers se sont intéressés aux différences entre provenances dès le 19^e siècle. Vilmorin fut l'un des premiers à faire des plantations comparatives sur le domaine des Barres à partir des années 1820 car il pressentait que la diversité génétique pouvait influencer sur la vigueur et la forme des peuplements.

À partir des années 70, avec l'avènement de marqueurs moléculaires tels que les isoenzymes capables de mettre en évidence et quantifier cette diversité, de nombreuses études voient le jour. Elles permettent de mettre en lumière la grande diversité génétique intra-spécifique existant chez les arbres forestiers. Ceux-ci se caractérisent par une très grande diversité au sein de chaque population, supérieure à celle de n'importe quel autre groupe taxonomique végétal ou animal (Hamrick *et al.*, 1992 ; Müller-Starck, 1995), mais aussi par des différences importantes entre populations.

Ces différences sont liées à l'histoire de ces populations depuis les glaciations du quaternaire, incluant le fait de l'homme. Elles correspondent à des adaptations locales qui leur permettent de se développer dans des milieux variés. Cette diversité, au sein des populations et entre populations, est pour les espèces une formidable ressource d'adaptabilité face aux enjeux des changements globaux.

Toutefois, cette diversité peut être altérée par les activités humaines : celles qui conduisent à la dégradation et la fragmentation des milieux naturels, mais aussi celles qui sont liées aux transferts de matériel végétal d'un site à un autre, ou encore, sous certains aspects, à la gestion forestière. Face à ces menaces, l'idée (née dans les années 80) d'une démarche volontariste de protection de ces ressources s'est peu à peu imposée dans le cadre de la gestion durable des forêts. Nous ne reviendrons pas ici sur les origines du dispositif de conservation des ressources génétiques des arbres forestiers en France (voir Arbez et Teissier du Cros, dans ce dossier). Cependant, l'ONF a été étroitement associé dès le début à la démarche conduite par la Commission des ressources génétiques forestières (CRGF).

Cet article se propose de rappeler comment l'ONF s'est engagé, dans la conservation des ressources génétiques forestières (RGF) et comment il s'organise, au-delà des réseaux de conservation *in situ*, pour assurer au quotidien le maintien de la diversité génétique dans les forêts publiques.

Genèse de l'engagement de l'ONF dans la conservation et la gestion des RGF

En 1989, l'ONF s'est engagé à « participer de façon active et prépondérante à l'installation de ces réseaux »¹. Cet engagement s'est traduit en 1994 par l'officialisation des deux premiers réseaux nationaux de conservation *in situ* des ressources génétiques, respectivement consacrés au hêtre et au sapin pectiné ; la note de service correspondante² précisait notamment le « cahier des charges de gestion » qui devait y être appliqué. L'investissement de l'ONF s'est poursuivi *crescendo* avec, en point d'orgue, la création en 1995 du Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers (CGAF) en association avec l'INRA. L'ONF concrétisait ainsi sa volonté de renforcer le potentiel scientifique explorant la diversité génétique des essences forestières, et de faire

¹ NDS 89-G-212 du 11/09/1989, désormais périmée (reprise et complétée dans les textes plus récents)

² NDS 94-G-581 du 24/05/1994, également périmée pour les mêmes raisons

progresser l'établissement dans la prise en compte de la diversité génétique dans la gestion. Le CGAF étudie donc notamment l'influence des modes de gestion forestière sur la diversité génétique ; son rôle est aussi de piloter et adapter les réseaux de conservation de ressources génétiques, sous le contrôle de la CRGF.

En août 1999, l'ONF a signé la *Charte pour la Conservation des Ressources Génétiques des Arbres Forestiers* élaborée par la CRGF et le BRG (voir Arbez et Teissier du Cros, dans ce dossier), réaffirmant ainsi « l'engagement de l'établissement à contribuer à une politique nationale en faveur de cette composante très importante de la diversité des écosystèmes forestiers »³. Depuis lors, il s'est attaché à mettre en lumière cette dimension méconnue de la biodiversité et à l'intégrer dans son dispositif de gestion ordinaire. Cela s'est d'abord traduit, en 2004, par le choix de consacrer le premier hors-série des RenDez-Vous

techniques à la « Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire ». Puis les années 2009-2010 ont marqué une étape décisive, à l'issue notamment du processus de révision de l'instruction *biodiversité* de 1993⁴ : l'instruction INS-09-T-71 du 29/10/2009 sur la « Conservation de la biodiversité dans la gestion courante des forêts publiques » intègre désormais explicitement la gestion de la diversité génétique des espèces arborées.

Alain Valadon (ONF-CGAF) a réalisé à cette occasion une analyse bibliographique sur les « Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers », pendant de la synthèse demandée au Cemagref sur la biodiversité. Ce travail, publié en 2009 dans la collection des Dossiers Forestiers de l'ONF, a fourni le socle de la note de service NDS-10-T-320 (décembre 2010) qui précise l'instruction en ce qui concerne la « Gestion des ressources

génétiques dans les forêts publiques ». Parallèlement, Alain Valadon a rédigé, pour le compte de la CRGF, le modèle de « Charte de gestion des unités conservatoires de ressources génétiques *in situ* » (encadré) qui actualise et remplace l'ancien cahier des charges de gestion des UC. Dans la foulée, l'ONF a établi la note de service NDS-10-G-1684 sur les « Réseaux nationaux de conservation *in situ* des ressources génétiques forestières », pour les dispositions spécifiques applicables aux UC, y compris la nouvelle charte de gestion.

En pratique, comment s'organise la gestion des ressources génétiques en forêt publique ?

Les trois textes de 2009-2010 (l'instruction et les 2 notes de service) appréhendent la gestion de la diversité génétique des arbres forestiers sous deux aspects :

- celui de la gestion courante, qui doit associer partout les objectifs écologiques, économiques et sociaux (en les hiérarchisant selon les enjeux) ;
- celui de la gestion dédiée applicable aux UC des réseaux de conservation *in situ*, régie par la charte de gestion évoquée plus haut. En vertu de la philosophie de ces réseaux (Arbez et Teissier du Cros, Fady *et al.*, ce dossier), la gestion des UC s'écarte peu de la sylviculture habituelle de la forêt concernée mais elle impose quelques contraintes, notamment lors du renouvellement du peuplement.

De plus, ces textes inscrivent les RGF dans le dispositif ordinaire de la gestion durable :

- en rappelant le cadrage national : les directives (et les orientations) nationales d'aménagement et de gestion (DNAG, ONAG respectivement pour les forêts domaniales et des collectivités) incitent à s'attacher résolument à la conservation de la diversité génétique, notamment dans le contexte des changements climatiques ;
- en exposant concrètement, en référence aux documents types, comment intégrer les dispositions relatives à chaque UC dans l'aménagement (plan de gestion sur 20 ans) des forêts

La charte de gestion des unités conservatoires*

Le modèle de charte de gestion des unités conservatoires de ressources génétiques *in situ*, a été défini en 2009 par la CRGF pour remplacer le cahier des charges de gestion jusqu'alors en vigueur. Il comprend des clauses générales, applicables à toutes les unités conservatoires (UC) et prévoit la possibilité de clauses particulières pour une UC donnée en raison de ses éventuelles spécificités.

La charte de gestion d'une UC donnée a pour objectifs d'assurer la compatibilité entre :

- d'une part la gestion forestière actuelle ou à venir, sachant qu'aucun mode de traitement sylvicole n'est banni *a priori* dans l'UC s'il permet la pérennité sur le long terme de l'espèce cible ;
- d'autre part le maintien, d'une génération à l'autre, de la capacité d'évolution des caractéristiques génétiques au sein de la population de l'espèce qui compose cette UC.

La charte de gestion est le document de référence pour toute intervention concernant l'unité conservatoire, aussi bien dans le noyau central de conservation que dans la zone tampon. Mais c'est aussi un document contractuel qui engage le propriétaire et le gestionnaire avec l'État, responsable de la politique nationale de conservation des ressources génétiques forestières. En conséquence, elle doit toujours être signée par le propriétaire de la forêt concernée. Pour les UC en forêts domaniales une seule signature est nécessaire, mais toutes les autres requièrent l'acceptation formelle du propriétaire (collectivité territoriale ou propriétaire privé) : celui-ci s'engage alors à respecter les mesures techniques prescrites par la charte et qui seront intégrées à chaque révision de l'aménagement forestier ou du plan simple de gestion (s'il est exigible).

* Ne pas confondre la charte de gestion des unités conservatoires avec la « Charte pour la conservation des ressources génétiques des arbres forestiers », élaborée en 1999 par la CRGF et le BRG et qui concerne l'organisation du Programme national de gestion et de conservation des ressources génétiques des arbres forestiers.

³ NDS 00-G-941 diffusant la charte

⁴ Instruction 93-T-23 du 15 novembre 1993 sur la « prise en compte de la diversité biologique dans [...] la gestion forestière »

concernées : comment afficher dans l'état des lieux les enjeux et objectifs de l'UC, son statut et sa consistance précise et, au titre du programme d'actions, comment faire le lien avec les clauses de sa charte de gestion ; par ailleurs, la liste actualisée des unités conservatoires *in situ* est accessible sur la base documentaire de référence de l'ONF, ainsi que la carte de leur répartition géographique dans les directions territoriales ;

- en mobilisant le management technique pour assurer la mise en œuvre : intégrer les dispositions de gestion courante dans les référentiels techniques et guides pratiques, assurer la formation et l'animation technique, impliquer fortement les personnels spécialisés (correspondants graines et plants, animateurs des réseaux de conservation *in situ*) ;
- en réaffirmant le rôle majeur du sommier de la forêt pour assurer le stockage fiable et à long terme de l'information (pertinente) sur l'origine génétique des peuplements (événements concernant la régénération naturelle, traçabilité des MFR...) ; lorsque la forêt recèle une unité conservatoire (UC), le sommier le mentionne et le rappelle pour chacune des parcelles qui en font partie.

Des dispositions particulières pour les unités conservatoires...

Comme on l'a dit, la gestion des UC ne diffère pas fondamentalement de celle du reste de la forêt. Le choix du mode de traitement et des critères d'exploitabilité n'est donc pas affecté par la présence d'une unité conservatoire, mais la charte de gestion impose certaines précautions pour garantir la pérennité de ses objectifs sur le long terme. Dans le cas d'une UC nouvelle cela peut éventuellement nécessiter, sinon une révision de l'aménagement en cours, du moins une modification en bonne et due forme. La première de ces contraintes, qui tombe sous le sens, est que l'essence objectif de l'unité conservatoire reste celle dont les ressources doivent y être conservées. Les autres concernent essentiellement la phase de renouvellement du peuplement forestier, étape clé de la transmission du patrimoine génétique d'une génération à l'autre.



A. Valadon, ONF

*Des dispositions particulières pour les unités conservatoires...
« Expertise » de l'UC sapin de Fanges (11)*

Renouveler le noyau central avant la zone tampon

Sauf exception dûment argumentée, le renouvellement des peuplements des unités conservatoires se fait par régénération naturelle, aussi bien dans le noyau central que dans la zone tampon. La vocation du noyau central étant de maintenir une ressource génétique particulière, il convient de préserver cette ressource des « pollutions » génétiques externes. En futaie régulière, le noyau de conservation doit donc être régénéré avant la zone tampon ; sinon, il se trouverait exposé à des flux de gènes potentiellement indésirables.

Si, cas exceptionnel, la régénération du noyau central ne peut intervenir en premier, la charte de gestion prévoit un délai minimum à respecter après le renouvellement de la zone tampon (entre 20 et 40 ans selon l'espèce), sans préjuger des clauses particulières qui peuvent affiner les solutions au cas par cas.

Dans tous les cas il faut veiller lors de la régénération de la zone tampon qu'il n'y ait aucune introduction de matériel allochtone qui puisse ensuite se croiser avec les individus de la zone centrale.

Maintenir un nombre de reproducteurs suffisamment important

Pour que la ressource génétique se transmette au mieux à la génération suivante, il faut que les arbres reproducteurs soient assez nombreux pour assurer une interfécondation suffisante en qualité et en diversité d'associations père-mère. C'est pourquoi la charte de gestion fixe l'effectif minimum de semenciers à maintenir par hectare après la coupe d'ensemencement (par espèce et mode de traitement). Par ailleurs dans certains cas, inscrits aux clauses particulières de l'UC ou dûment étudiés avec l'animateur du réseau, on pourra prolonger la durée de régénération sur un temps significativement plus long que celui des itinéraires courants si cela permet d'obtenir l'abondance de semis préconisée en tirant parti de fructifications partielles, sans avoir à recourir à des plantations de complément (voir ci-après).

Procéder à des récoltes conservatoires de semence en vue de compléments éventuels

Si la régénération naturelle de l'unité conservatoire n'est pas suffisamment abondante, selon les critères de contrôle indiqués dans la charte de gestion pour

chaque essence et mode de traitement, il peut s'avérer nécessaire de la compléter en ayant recours à des plants issus de récoltes conservatoires faites sur le noyau central (voire dans la bordure interne de la zone tampon).

La récolte conservatoire doit être réalisée une année de bonne fructification, sur au moins 30 semenciers régulièrement répartis et distants d'au moins 30 m, dont on mélangera les graines. Dans les zones où les fructifications massives de l'espèce cible sont rares, on peut aussi récolter lors de fructifications partielles, en mélangeant les récoltes de différentes années pour constituer un lot aussi homogène que possible. L'élevage des plants peut se faire via un contrat de culture, pour garantir les prescriptions spécifiques : pas de tri préalable autre que l'élimination des graines non viables, densité de culture inférieure à celle des productions commerciales, pas de tri des plants sur la hauteur ou la conformation.

Encadrement et soutien technique : le rôle de l'animateur du réseau

Chacun des réseaux de conservation des ressources forestières *in situ* est coordonné par un animateur, désigné par la CRGF et l'ONF, qui veille à l'application de la charte de gestion en étroite relation avec le correspondant-gestionnaire de chaque UC.

Sur la base des données qu'il consigne dans le sommier de la forêt, le gestionnaire informe annuellement l'animateur de toute action réalisée ou prévue qui modifie l'UC (coupe, aménagement...) ainsi que des événements imprévus qui ont pu l'affecter (chablis, attaque parasitaire...). Les conditions d'obtention de la régénération naturelle, notamment, doivent être soigneusement rapportées avec une attention particulière à l'évolution dans le temps de l'effectif des arbres reproducteurs et à l'intensité des fructifications annuelles entre la coupe d'ensemencement et la coupe définitive.

Inversement, au cours de ses visites régulières, l'animateur rend compte des avancées scientifiques concernant les ressources génétiques de l'espèce cible



B. Chopard, ONF

En gestion ordinaire, la régénération est une étape clé de la transmission du pool génétique (parcelle en ensemencement en FD de Cîteaux-21)

(en liaison avec le référent scientifique et le CGAF). Ces visites sont aussi le moment privilégié pour identifier avec le gestionnaire d'éventuelles difficultés dans la mise en œuvre de la charte de gestion et de déterminer le cas échéant les opérations à envisager dans les années à venir pour le maintien en bon fonctionnement de l'unité conservatoire. L'animateur doit aussi périodiquement informer le référent scientifique et la CRGF de l'évolution des différentes UC et des problèmes qui peuvent s'y poser. Enfin, c'est à lui qu'il revient de veiller au renouvellement à échéance de la charte de gestion dans le cas des forêts des collectivités.

... mais surtout un véritable enjeu de gestion ordinaire

La bonne gestion des RGF est l'affaire de tous ; c'est pourquoi la note NDS-10-T-320 s'attache à « identifier les pratiques et recommandations techniques à mettre en œuvre pour assurer une gestion durable des ressources génétiques des peuplements forestiers » en général, à l'occasion de l'ensemble des opérations du cycle sylvicole.

Les opérations les plus susceptibles d'affecter le patrimoine génétique des peuplements sont celles qui concernent leur renouvellement. Or si les forestiers conçoivent bien la difficulté quand il s'agit de plantation, ils en sont beaucoup moins conscients quand il s'agit de régénération naturelle.

En régénération naturelle

La qualité génétique d'une régénération naturelle dépend de la qualité génétique des semences dont elle est issue, elle-même définie par : la diversité génétique des semences, leur taux de consanguinité et l'éventuelle proportion d'hybridation dans le cas de « complexes d'espèces » interfertiles (chênes sessile/pédonculé/pubescent ; sapin pectiné/autres sapins méditerranéens ; frêne commun/frêne oxyphylle ; pin sylvestre/pin à crochets) (voir Fady et Lefèvre *in* ONF, 2004). Il faut donc veiller à ce que les conditions favorisant la qualité des semences soient réunies, conditions qui sont liées à la fois aux caractéristiques du peuplement à renouveler et à celles des boisements riverains.

L'opportunité ou non de la régénération naturelle dépend donc en premier lieu

Principales consignes pour une diversité génétique optimale lors d'une régénération naturelle :

- ne pas régénérer naturellement les peuplements phénotypiquement médiocres eu égard aux potentialités du milieu ou lorsque la mauvaise qualité des bois (rectitude, branchaison, fourches) est due à l'origine génétique du peuplement ;
- ne régénérer naturellement les peuplements isolés (> 300 m) du point de vue de l'espèce ou d'origine inconnue et de faible taille (< 3 ha) que si leur base génétique est reconnue suffisamment large (à partir de données d'archives ou par analyses génétiques en cas d'enjeu majeur ; le Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers de l'ONF pourra être sollicité si nécessaire) ;
- maintenir, à la coupe d'ensemencement, au moins 30 semenciers / ha de l'essence objectif et susceptibles de fleurir et fructifier ;
- en futaie mélangée, s'assurer que les bouquets monospécifiques ne sont pas trop isolés ; favoriser les croisements entre bouquets en maintenant une continuité génétique par des arbres relais et en rendant perméable des rideaux d'arbres pouvant faire obstacle à la pollinisation ;
- pour maximiser les contributions des semenciers, veiller à ce que la coupe définitive n'intervienne pas moins de 5 ans après l'ensemencement, sauf apparition massive de semis avant ce délai lors d'années à très forte fructification ;
- veiller à ce que la densité de semis naturels soit au minimum égale à celle prescrite dans les guides de sylviculture, pour permettre à la sélection naturelle de s'exercer efficacement.

du **diagnostic du voisinage du peuplement reproducteur**, particulièrement important dans certains cas. Ce diagnostic relève du processus d'élaboration (ou révision) de l'aménagement de la forêt, avec l'appui du CGAF si nécessaire.

Vient ensuite le contrôle de production des semences dans le peuplement lui-même. Cela consiste à trouver le meilleur compromis possible entre la contribution souhaitable d'un maximum de semenciers (pour maximiser la diversité), l'éclaircissement des houppiers (pour une bonne floraison/fructification), et la circulation des pollens (pour le brassage, la multiplication des combinaisons). Ce compromis concerne le nombre des semenciers et leur répartition, aussi homogène que possible, mais aussi la durée de la régénération. Compte tenu de l'irrégularité des floraisons des arbres forestiers, l'étalement de la production des semences sur plusieurs années permet d'augmenter la contribution effective d'un maximum d'adultes : cet étalement permet donc aussi d'augmenter la diversité génétique chez les semis, à condition que ces fructifications partielles bénéficient de conditions de germination

favorables. Cependant cet avantage de la durée s'estompe au bout de quelques années : des études récentes sur douglas (Valadon, 2009) ont montré par exemple qu'au-delà de 5 ans de contribution annuelle, la diversité supplémentaire devenait insignifiante.

Enfin il ne faut négliger ni la diversité transmise par les semis préexistants, ni surtout l'importance de la sélection naturelle dans les phases juvéniles (avant l'intervention du forestier) pour assurer une « purge » génétique précoce éliminant la majorité des semis autofécondés et des individus les plus consanguins. Cette purge, qui assure le maintien d'une forte diversité génétique au sein de la régénération, est d'autant plus efficace que la compétition entre semis est vive (pour la lumière, l'eau, les nutriments).

Une faible diversité génétique associée à une faible intensité de sélection naturelle affecterait négativement la capacité d'adaptation du futur peuplement. Les principales consignes qui résultent de ces considérations sont reproduites en encadré.

En régénération par plantation

Lorsqu'on recourt à la plantation, il est indispensable de mobiliser des MFR (matériels forestiers de reproduction) de qualité génétique élevée : large base génétique, adaptation, plasticité. Cette obligation concerne l'ensemble des partenaires de la filière Graines et Plants car la qualité génétique d'une plantation dépend de celle des semences et des plants dont elle est issue.

Le réseau des correspondants graines et plants de l'ONF est donc chargé de mettre en œuvre, directement ou en appui technique aux gestionnaires locaux, des préconisations qu'on ne détaillera pas ici et qui visent à :

- mobiliser le potentiel fructifère des forêts publiques, voire le favoriser par une gestion spécifique des peuplements porte graines ;
- maintenir une diversité génétique suffisante depuis la récolte des graines jusqu'à la plantation ;
- assurer la traçabilité des MFR dans le strict respect des procédures existantes ;
- coordonner ces actions par région de provenance ;
- développer les contrats de culture.

Ces dispositions intègrent notamment les modalités d'application de la « Charte de bonne pratique de production en vue d'améliorer la diversité génétique pour les lots de semences et plants forestiers commercialisés » demandée en 2007 par les Assises de la Forêt. L'ONF, qui a contribué (via le CGAF) à l'élaboration de cette charte, s'engage ainsi concrètement à s'y conformer en tant que producteur de semences.

Pour les autres interventions sylvicoles

Après la phase d'installation du nouveau peuplement, les interventions sylvicoles qui vont s'y succéder auront le plus souvent un effet sélectif (dépressages, détourages, éclaircies) susceptible d'impacter la diversité génétique. Deux cas, en particulier, demandent vigilance :

- les interventions précoces au profit d'un nombre limité de tiges à fort potentiel de croissance juvénile, car les critères

⁵ NDLR : confirmation formelle de cet engagement vient d'être donnée dans la note NDS 12-T-339 – « Récolte des semences forestières » qui se réfère explicitement à ladite charte

de choix ne sont pas nécessairement corrélés à des caractères adaptatifs tels que la résistance à des facteurs biotiques ou abiotiques ou la capacité reproductive ; il faut donc veiller à ne pas orienter trop précocement et trop fortement la sélection des tiges du futur peuplement, au risque d'en réduire dangereusement la base génétique ;

- les éclaircies « au diamètre » avec un coefficient d'éclaircie $K_g > 1$, en futaie régulière, qui visent à récolter systématiquement l'individu de plus fort diamètre en cas de choix entre plusieurs tiges ; à grande échelle, les éclaircies de ce type engendreraient des pertes de diversité génétique, de vigueur et de capacités adaptatives des peuplements : leur généralisation est donc à exclure.

En guise de conclusion

L'auteur rend un hommage appuyé à Alain Valadon qui, lorsqu'il était en poste au

CGAF de 2004 à 2011, a contribué de façon déterminante au développement de la « culture » de la diversité génétique à l'ONF ; les dispositions évoquées dans cet article sur la conservation et la gestion des ressources génétiques dans les forêts publiques doivent beaucoup à la qualité de ses travaux, à son sens de la transmission et aussi voire surtout à son opiniâtreté !

Brigitte MUSCH

ONF, département R&D
Conservatoire Génétique
des Arbres Forestiers

Bibliographie

Callaham R.Z. 1964. Provenance research : investigation of genetic diversity associated with geography. *Unasylva* vol.18 (2-3) pp.40-50

Hamrick J. L., Godt M. J. W., Sherman-Broyles S. L., 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in wood plant species. *New forests* vol. 6 (1) pp. 95-124

Müller-Starck G., 1995. Protection of genetic variability in forest trees. *Forest Genetics* vol. 2 (3) pp. 121-124

Office national des forêts, 2004. Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire. *RenDez-Vous techniques de l'ONF*, Hors-série n°1, 130 p.

Valadon A. (coord) 2009. Qualité génétique d'une régénération naturelle dans un peuplement mélangé de Douglas vert, Mélèze du Japon et Sapin pectiné. *Rapport ONF/INRA*. 179 p.

Valadon A, 2009. Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers : Analyse bibliographique. *Dossiers Forestiers de l'ONF*, n°21, 157 p.



C. Bastien, INRA

Alain Valadon à Moissac-Bellevue (83) pour l'étude des ressources génétiques du pin sylvestre

La conservation des ressources génétiques dans la gestion durable des forêts privées

Parmi les membres de la Commission des Ressources Génétiques Forestières (CRGF) figure un représentant des gestionnaires de la forêt privée, en l'occurrence la Fédération des Forestiers Privés de France, qui délègue ce rôle à l'Institut pour le Développement Forestier.

Forêt privée et Commission des Ressources Génétiques Forestières

Ce représentant a un double rôle : il relaie auprès des propriétaires et des personnes qui les conseillent les informations scientifiques susceptibles d'éclairer, au plan génétique, les itinéraires techniques pratiqués et de favoriser ainsi la prise en compte de la diversité génétique dans les choix de gestion ; il transmet également aux scientifiques les questions que se posent les praticiens et les difficultés qu'ils rencontrent pour mettre en œuvre certaines consignes. Ainsi, la brochure « Préserver et utiliser la diversité génétique forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique » publiée par la CRGF en 2009¹ fait suite aux questions posées par Ph. Riou Nivert et relayées par le président Plauche Gillon en 2006².

Jusqu'à récemment, la forêt privée n'était pas impliquée directement dans les actions de conservation de ressources génétiques menées par la CRGF (par simplicité et pragmatisme, le programme national de conservation s'était jusqu'alors essentiellement appuyé sur l'ONF et la forêt publique). L'occasion a été donnée en 2006 de participer activement à la conservation d'une espèce à laquelle la forêt privée s'intéresse depuis longtemps et pour laquelle des collections avaient été constituées par l'IDF et les CRPF : le noyer commun (*Juglans regia*).

Animation du réseau de conservation *ex situ* du noyer commun

Une collection nationale a ainsi été créée à partir de collections anciennes dispersées sur le territoire et gérées par différentes structures (CNPF, INRA, FCBA). Elle regroupe actuellement 58 clones originaires d'une grande partie du territoire et s'enrichira prochainement de 115 nouveaux clones. Elle s'organise selon un schéma original et, jusqu'à présent, unique : une collection centrale implantée à la pépinière administrative de Guéméné Penfao possédant l'ensemble des génotypes et trois collections baptisées « associées » implantées chez des particuliers (figure 1). Une convention

d'une durée de 10 ans lie le propriétaire des parcelles au CNPF et définit les apports et engagements réciproques : les plants greffés lui sont fournis gratuitement, il s'engage en contrepartie à mettre en œuvre les préconisations techniques données par le CNPF pour conserver ce matériel, le CNPF étant responsable du suivi et donc de la traçabilité du matériel installé. Le bois et les noix issus de ces plantations appartiennent au propriétaire.

Ce réseau de conservation possède comme les autres un référent scientifique (B. Fady, INRA Avignon), un gestionnaire technique de la collection centrale (J.-P. Huvelin, pépinière Guéméné Penfao) et une animatrice (S. Girard, CNPF).

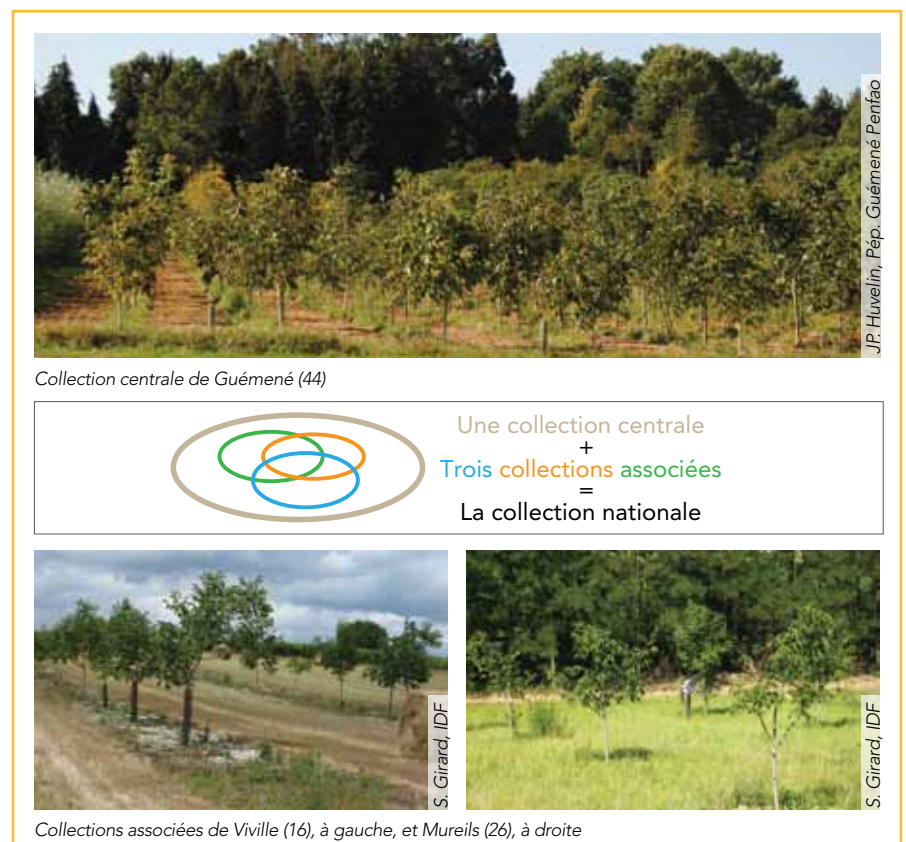


Fig. 1 : réseau de conservation *ex situ* du noyer commun

¹ http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/diversite_des_ressources_genetiquesjuin2008.pdf

² Compte rendu de la réunion du 17 octobre 2006 de la CRGF

Le ministère de l'Agriculture en valide annuellement la feuille de route.

Outre le fait que les 3 plantations installées chez des privés sont une garantie de sauvegarde supplémentaire du matériel, elles permettent de le caractériser dans des conditions de climat et de gestion différentes (plantation à forte densité d'arbres étêtés régulièrement à Guéméné Penfao /plantation à large espacement dans les collections associées). Par ailleurs, si besoin, elles pourront constituer des sources de semences pour la production de plants.

Ce type d'organisation conservatoire *ex situ* pourrait tout à fait être développé et concerner d'autres espèces voire certaines provenances ou écotypes en danger dans leur aire actuelle d'origine. Cela conviendrait particulièrement aux fruitiers forestiers (cormier, merisier, poirier...) pour lesquels des inventaires ont pu être ponctuellement réalisés et des collections constituées.

Des unités conservatoires *in situ* en forêt privée ? Cas du Sapin de l'Aigle

Dans le texte fondateur³, les unités conservatoires devaient être situées en forêt publique, afin de garantir leur statut, *a priori* sans limite de durée. Il était néanmoins précisé que des réflexions complémentaires, en lien avec les organisations professionnelles de la forêt privée devraient examiner la faisabilité d'une extension de cette politique aux peuplements forestiers privés.

La question a été soulevée en mars 2001 pour élargir le réseau du sapin pectiné en y intégrant la ressource originale de plaine située en Normandie. La formule imaginée alors était un engagement du propriétaire à respecter un cahier des charges de gestion (de type contractuel) en contrepartie de la prise en charge par le ministère des surcoûts éventuels liés à cette gestion (notamment lors de la phase de renouvellement avec le recours éventuel à des récoltes particulières de graines et à l'élevage de

plants pour compléter ou remplacer une régénération naturelle déficiente). Elle répondait à la logique des mesures sylvi-environnementales : apporter un appui financier au propriétaire lorsque la prise en compte de la biodiversité grève son bilan d'exploitation voire l'oblige à réduire ses ambitions sylvicoles.

Les démarches n'ont pas abouti et les mesures d'accompagnement de la mise en place d'unités conservatoires en forêt privée restent à définir. Précisons que, pour l'instant, ni l'État ni les collectivités locales ne développent de politique contractuelle de préservation de la biodiversité avec les propriétaires forestiers, en dehors du cas particulier des contrats Natura 2000. Sur le plan formel, le modèle de « Charte de gestion des Unités Conservatoire de Ressources Génétiques *in situ* » utilisé depuis 2011 en forêt publique pourrait être adopté en forêt privée ; il engage le propriétaire pour une durée de 10 ans, renouvelable par tacite reconduction.

Quoi qu'il en soit, la conservation des ressources génétiques particulières du sapin pectiné de l'Aigle est mentionnée dans le document de gestion de la propriété en question, elle est d'ailleurs explicitement mentionnée dans le Schéma Régional de Gestion Sylvicole des Forêts Privées (SRGS)⁴ de la région concernée

à savoir la Basse-Normandie : « En cas de plantation, le sylviculteur attachera une importance particulière au choix de la région de provenance, en préférant AAL101-Normandie à toute autre origine : en effet, le sapin pectiné normand est, par sa localisation en plaine, une particularité unique et fait partie du patrimoine local. La préservation et la conservation de cette ressource génétique est un enjeu important de la région ». Et « Aussi, au delà de la conservation du paysage, le sylviculteur veillera à conserver cette ressource génétique unique en utilisant pour ses plantations de sapin, des plants issus de graines récoltées dans les peuplements locaux (et non dans des peuplements montagnards, qui seraient sources de pollution génétique et, de toutes façons, moins bien adaptés à la Normandie) ».

Prise en compte de la conservation des ressources génétiques dans la gestion durable des forêts privées

Autre exemple de SRGS où la conservation des ressources génétiques est explicitement citée, celui de la région PACA (figure 2). Ces deux exemples font toutefois figures d'exception, les autres régions ne faisant en général allusion aux ressources génétiques que sous l'angle du choix du matériel à installer lors des plantations.

LA PRISE EN COMPTE DES ÉLÉMENTS ORDINAIRES DU PATRIMOINE

CONSERVER LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE

Il existe une importante diversité génétique au sein de chacune des espèces, entre différentes populations, et entre les individus d'une même population. Cette diversité génétique permet aux espèces d'évoluer et de résister aux aléas environnementaux (climatiques, parasites, etc.).

En tenant compte de ces quelques recommandations, le boisement forestier peut être un élément de diversification, dans des peuplements qui tendent à se banaliser.

Les recommandations sont les suivantes :

- préférer la régénération naturelle des peuplements,
- privilégier lorsque la régénération artificielle est nécessaire, les plants issus de peuplements locaux,
- éviter l'introduction d'une provenance exogène (- étrangère -) dans un peuplement identifié comme écotpe rare (le terme de - pollution génétique - est souvent employé).

Fig. 2 : extrait de la fiche « Biodiversité et Environnement », SRGS Provence – Alpes - Côte d'Azur

³ Circulaire DERF/SDF/N.91/n°3011 du 9 septembre 1991.

⁴ Le Schéma Régional de Gestion Sylvicole est le document cadre (approuvé par arrêté ministériel) pour la mise en œuvre de la politique de gestion des forêts privées, il donne des orientations et des recommandations de gestion à suivre pour une gestion durable des forêts privées. Tous les documents de gestion durable en forêt privée (Plan Simple de Gestion, Code des Bonnes Pratiques Sylvicoles, Règlement Type de Gestion) doivent s'y conformer.

Pourtant, toutes les régions intègrent la préservation de la biodiversité dans leur SRGS (figure 3). Bien que la dimension génétique de cette biodiversité suscite de nombreuses questions, notamment dans le contexte du changement climatique, elle n'est pas toujours connue des conseillers et propriétaires. C'est pour cette raison qu'un atelier du RMT Aforce a été organisé en mai 2011. Intitulé « La génétique, un élément clé pour l'adaptation des forêts au changement climatique », il visait à vulgariser certains concepts pour que la dimension génétique soit davantage intégrée aux choix techniques des gestionnaires.

Parmi les principes d'action face au changement climatique, celui de « maximiser la diversité » est largement diffusé, il était d'ailleurs l'idée directrice du document de la CRGF auquel il a déjà été fait allusion⁵. Mais sa mise en œuvre soulève de nombreuses questions.

En matière de régénération artificielle par exemple, comment disposer d'une plus grande diversité génétique ? Augmenter les densités de plantation ? Jusqu'à quel point ? Suffira-t-il d'acheter des plants « à la planche » issus de graines récoltées sur un plus grand nombre de semenciers, à l'instar de ce que proposera le futur label « Diversité génétique » des producteurs ? Ne doit-on pas envisager de mélanger des origines (des régions de provenances par exemple), voire de favoriser l'hybridation entre espèces ?

Lors de la régénération naturelle d'une parcelle, faut-il augmenter le nombre de semenciers à l'hectare pour maximiser la diversité génétique au risque de maintenir un couvert trop important et limiter de ce fait la quantité de semis viables au sol ? Faut-il allonger la durée entre les coupes d'ensemencement, secondaires

et définitives voire modifier les modalités de ces coupes en procédant par bandes ou par trouées ?

Par ailleurs, quelles consignes donner au moment des coupes d'amélioration ? Laisser le maximum d'individus dans le peuplement pour maximiser la diversité génétique ou bien en limiter le nombre pour faire face à une ressource en eau de plus en plus limitante ?

Des questions concrètes et très peu d'éléments pour y répondre car, force est de constater, à l'instar d'A. Valadon (2009), que les effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers sont encore très mal connus. L'intégration de cette dimension dans la pratique est de ce fait très limitée.

C'est pourquoi les travaux portant sur l'organisation actuelle des ressources génétiques et sur son évolution, ainsi que ceux qui permettront d'évaluer la capacité adaptative d'une unité de gestion et d'un territoire, doivent être largement développés.

Ils permettront- entre autre- de préciser l'échelle la plus pertinente (parcelle, massif, région) pour gérer au mieux les ressources génétiques « ordinaires » et conserver les plus rares que ce soit en forêt soumise ou en forêt privée.

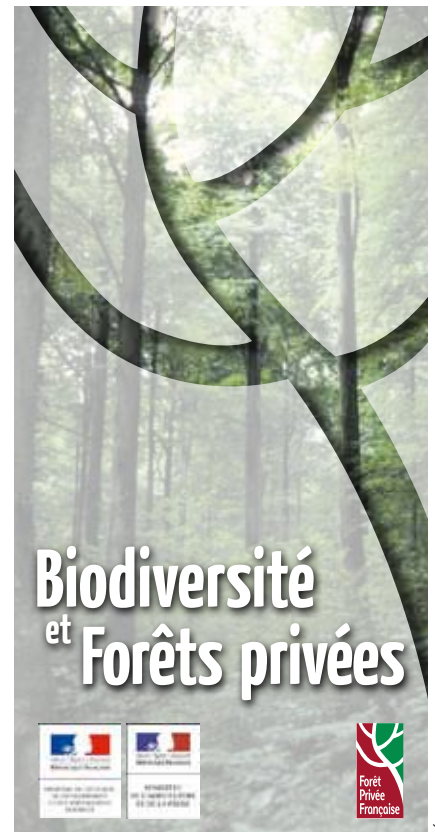
Sabine GIRARD

IDF Lyon

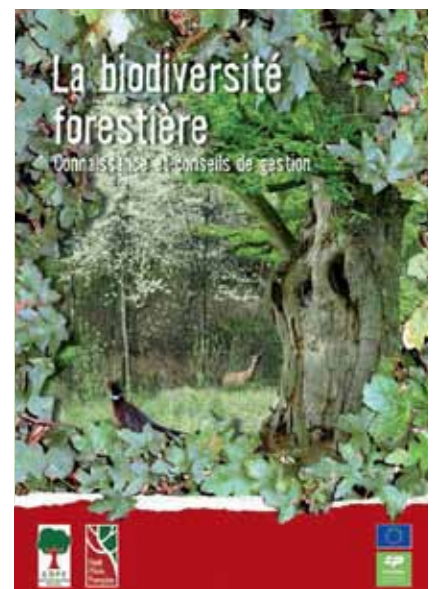
Service d'Utilité Forestière du CNPF

Référence

Valadon A., 2009- Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers : Analyse bibliographique. Les Dossiers Forestiers de l'ONF, n°21, 157 p.



Édition 2007



CRFP-NPCP 2007

Fig 3 : exemples de documents traitant de la biodiversité forestière en forêt privée

⁵ « Préserver et utiliser la diversité génétique forestière pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique », http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/diversite_des_ressources_genetiquesjuin2008.pdf

Conservation *in situ* des ressources génétiques forestières : stratégies, dimensions nationale et pan-européenne

La conservation des ressources génétiques, qu'elles soient animales ou végétales, qu'elle se fasse dans un but patrimonial ou pour des raisons commerciales ou encore de recherche, repose sur deux grandes stratégies complémentaires, les stratégies *in situ* et *ex situ*. Chez les plantes cultivées ou les animaux d'élevage, la stratégie *in situ* s'adresse en général à leurs espèces apparentées, non domestiquées, encore présentes dans le compartiment sauvage, alors que leurs propres ressources génétiques sont le plus souvent conservées *ex situ*, sous forme de graines, de sperme, etc. Chez les arbres forestiers, espèces peu ou pas domestiquées, dont la diversité génétique d'origine a été peu diminuée par les pratiques agronomiques, la conservation *in situ* porte directement (ou indirectement via leur habitat) sur les espèces d'intérêt. Depuis son origine au début des années 1990, la Commission nationale des Ressources Génétiques Forestières (CRGF) a fortement misé sur la stratégie *in situ* pour la conservation des ressources génétiques forestières (RGF) françaises, constituant petit à petit un réseau conséquent focalisé sur un nombre grandissant d'espèces d'arbres forestiers majeures du point de vue écologique comme économique (Teissier du Cros 1999). La conservation *in situ* des RGF est donc cruciale pour la sauvegarde des services écosystémiques dans un environnement changeant comme pour la préservation des ressources de la « filière bois » (CRGF 2008).

La stratégie de conservation *in situ* des RGF

La conservation *in situ* des RGF est une stratégie de gestion sur le long terme permettant de favoriser l'adaptation locale sous l'effet de pressions de sélection qui peuvent être changeantes dans le temps. C'est une stratégie de gestion a



Hendrik Davi, INRA

Conserver la diversité génétique face aux aléas naturels et anthropiques - Dépérissement du sapin pectiné en Vésubie (06)

priori efficace des ressources génétiques des espèces forestières patrimoniales ou clef de voûte, dont l'habitat n'est pas nécessairement menacé, pour préserver leur diversité face aux aléas naturels et anthropiques (photo). Ce mode de conservation dynamique, permettant l'évolution des caractères importants pour la survie et la reproduction, doit à la fois préserver la plus large diversité d'adaptations particulières possibles de l'espèce tout en maintenant ses capacités d'adaptations futures. Ce mode de conservation est efficace pour les espèces formant de grandes populations comme hêtre, sapin, chêne sessile, pin sylvestre, épicéa. Il est moins directement applicable aux espèces disséminées, sauf à délimiter des périmètres de gestion couvrant de très larges surfaces. *A fortiori*, ce type de conservation n'est pas applicable seul lorsque les habitats des espèces cibles sont fortement menacés (voir article de E. Collin *et al.* sur la conservation *ex situ* dans ce dossier).

Représenter toute la diversité et permettre son évolution

Un des enjeux majeurs de la constitution d'un réseau *in situ* de conservation des RGF est de bien représenter (échantillonner) toute la diversité génétique de l'espèce dans son aire de répartition naturelle. Les arbres forestiers, très longévifs et dont l'histoire évolutive est ancienne, ont été et sont soumis à une grande hétérogénéité de conditions environnementales dans le temps et dans l'espace. Cette situation peut avoir conduit à des adaptations locales particulières, qu'il sera important de bien identifier. Ce n'est qu'à cette condition que les RGF des espèces cibles feront l'objet d'une conservation dynamique efficace et représentative, permettant de maintenir les capacités d'adaptations actuelles et futures. Autre enjeu majeur : il conviendra que les peuplements choisis permettent réellement une évolution de la diversité adaptative en lien avec les changements environnementaux, et donc de

favoriser le dynamisme démographique des peuplements, notamment par une gestion sylvicole appropriée (Valadon 2009 ; voir aussi l'article de B. Musch dans ce dossier).

Des concepts théoriques

Représenter toute la diversité génétique de l'espèce dont on veut conserver *in situ* les RGF n'est pas d'une grande simplicité. Un peu de théorie est nécessaire pour comprendre. La méthode choisie depuis maintenant plus de 20 ans repose sur la définition d'unités ayant un sens en termes d'évolution (*Evolutionary Significant Units, ESU*) dans lesquelles se définissent des unités de gestion (*Management Units, MU*). Ryder (1986) définit une ESU comme un ensemble de populations issues d'un ancêtre commun (lignée) et qui a été durablement séparé d'autres lignées au cours des temps géologiques. La notion d'ESU rend compte de l'histoire évolutive longue des populations. La différenciation entre lignées se mesure souvent sur la base des variations de l'ADN mitochondrial ou chloroplastique. Moritz (1994) définit une MU comme un groupe de populations qui a une diversité génétique différente des autres (indiquant un flux de gènes réduit et un relatif isolement reproducteur). La MU rend compte de l'état actuel de la diversité et se mesure souvent avec les variations de l'ADN nucléaire (par exemple les microsatellites). Les peuplements conservatoires à définir devront être choisis pour représenter au mieux les MU au sein des ESU.

Et des « indicateurs » empiriques

Il est évident que ce type d'information n'est pas toujours disponible pour les espèces cibles visées par la conservation *in situ*. On peut même dire que c'est encore rarement le cas, y compris à l'heure actuelle où les données de la génétique moléculaire deviennent de plus en plus accessibles ! Par ailleurs, ces méthodes ne permettent de caractériser que l'histoire évolutive des espèces, pas la façon dont elles se sont adaptées sous l'effet de la sélection naturelle partout dans leur aire de répartition naturelle. Or, combiner les informations provenant de l'histoire évolutive ancienne et

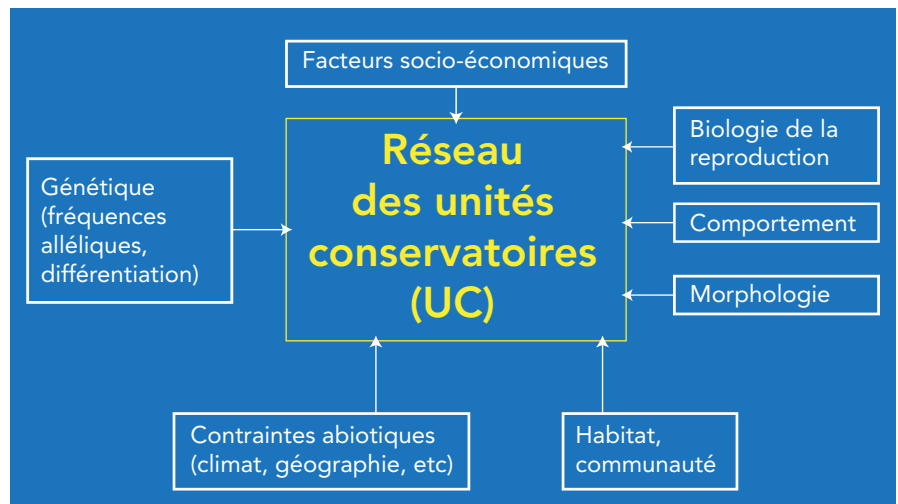


Fig. 1 : les considérations à prendre en compte lors de la constitution d'un réseau de conservation des RGF (d'après Moritz et al. 1995)

récente et celles provenant de l'adaptation locale (Allendorf et Luikart 2007), y compris dans les populations marginales (Lesica et Allendorf 1995), est crucial pour la constitution d'un « bon » réseau de conservation des RGF. Il est donc nécessaire d'utiliser des « indicateurs » pour caractériser toute la diversité génétique d'une espèce au sein du territoire concerné. Pour se construire, les réseaux s'appuient ainsi sur un faisceau d'informations empiriques d'ordre géographique, pédologique, climatique, naturaliste, écologique, biologique, et/ou génétique (marqueurs moléculaires et tests comparatifs), sans oublier le contexte socio-économique (voir la formalisation inspirée de Moritz et al. 1995, figure 1).

Les réseaux de conservation *in situ* des RGF en France

Sept réseaux de conservation *in situ* des RGF ont été mis en place en France (sapin pectiné, hêtre commun, pin maritime, chêne sessile, épicéa commun, peuplier noir et orme lisse) et deux sont en cours (pin sylvestre et pin de Salzman). Hêtre commun (*Fagus sylvatica*) et sapin pectiné (*Abies alba*) sont les deux espèces sur lesquelles ont porté les premiers efforts coordonnés de conservation par la CRGF au début des années 1990.

Des débuts pragmatiques

La constitution du réseau de conservation *in situ* des RGF du sapin pectiné illustre

bien le nécessaire pragmatisme de la démarche. Cette espèce peut être localement menacée par la pollution génétique à proximité des reboisements en sapins méditerranéens. Elle est sensible à la sécheresse et se trouve donc particulièrement confrontée aux sécheresses estivales en marge de son aire de répartition et sous l'effet des changements climatiques qui provoquent des dépérissements conséquents (photo). Dans une première étape, la démarche a consisté à utiliser le découpage du territoire national en régions de provenances pour constituer l'échantillonnage de base. Actuellement 14 régions de provenances sont identifiées¹. Celles-ci constituent une première approximation de la diversité écologique de l'espèce sur le territoire national. Dans un deuxième temps, la collecte des informations génétiques montre l'existence d'au moins deux ESU en France, les Pyrénées et les Alpes / Jura / Vosges (Liepelt et al. 2009), les Alpes du Sud formant une MU particulière dans le groupe alpin (Fady et al. 1999 ; Sagnard et al. 2002). La prise en compte de populations marginales en plus de l'ensemble des informations précédentes a conduit à la création d'un réseau contenant 21 Unités Conservatoires (UC)² (figure 2).

La stratégie s'affine avec les informations génétiques

Une deuxième série de réseaux se constitue petit à petit depuis les années 2000, bénéficiant de plus amples informations

¹ <http://agriculture.gouv.fr/graines-et-plants-forestiers>

² <http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/10-22-annexe5-RegistreMatBase-04-11-2011V2.pdf>

génétiques. Certains sont achevés (le réseau chêne sessile), d'autres en cours de construction (les réseaux pin maritime, pin sylvestre, épicéa commun, pin de Salzmann). Le réseau de conservation *in situ* des RGF du chêne sessile (*Quercus petraea*), espèce modèle pour les généticiens forestiers, s'est ainsi bâti sur une accumulation des connaissances de la structuration de la diversité génétique et de ses facteurs d'évolution dans le complexe d'espèces chêne sessile – chêne pédonculé (Verger et Ducouso, 2009). La stratégie de conservation s'est organisée autour de quatre axes (Ducouso et Bordacs 2003) :

- échantillonnage de la diversité et de la variabilité génétique et écologique des populations naturelles ;
- préservation des mécanismes maintenant la diversité, notamment l'hybridation interspécifique avec le chêne pédonculé ;
- conservation des « crus » et des types de sylviculture (futaie, taillis...). La diversité des pratiques sylvicole semble avoir généré des écotypes particuliers qui se différencient nettement dans les tests de comparaison de provenances de l'INRA et de l'ONF ;
- sauvegarde des ressources génétiques en danger ou en situation marginale.

Le réseau actuel comprend 20 UC répondant toutes à l'objectif 1, mais dont certaines satisfont plus particulièrement à l'objectif 2 (Compiègne) ou à l'objectif 4 (Grésigne, Vachères et Bareille).

Faire avec ce qu'on a

La stratégie de constitution des réseaux *in situ* de RGF demande donc une information scientifique aussi complète que possible sur la diversité génétique neutre et adaptative des espèces considérées, mais son pragmatisme permet de s'adapter à des situations où les informations seraient déficientes. Ce faisant, le manque d'information scientifique ne représente pas une condition rédhibitoire à la mise en place d'un réseau dès lors que la nécessité d'établir une stratégie de conservation s'impose. L'accumulation d'informations scientifiques (figure 1) permettra, dans le temps, de compléter le réseau au besoin.



Fig. 2 : le réseau de conservation *in situ* des ressources génétiques du sapin pectiné en France (points rouges) en 2012

L'aire de répartition de l'espèce est figurée en bleu.

Gérer les unités conservatoires *in situ*

Une fois le réseau des UC constitué pour une espèce donnée, chacune doit faire l'objet d'un plan de gestion permettant l'évolution de la diversité génétique sous l'effet de la sélection naturelle à chaque génération. Ainsi, chaque UC du réseau national de conservation *in situ* des RGF est composée d'un noyau central, enjeu principal des efforts de conservation, et d'une zone tampon dont le rôle essentiel est de limiter les flux de gènes extérieurs pouvant agir comme des « pollutions génétiques » (figure 3). La charte de gestion définit des clauses générales :

- les sujets de l'espèce cible doivent être d'origine autochtone, aussi bien dans la zone tampon que dans le noyau de conservation ;
- l'UC doit être d'une surface suffisamment grande et de forme aussi compacte que possible pour que le noyau de conservation soit protégé de la contamination pollinique provenant de populations voisines non indigènes ou apparentées et susceptibles de l'hybrider (objectif de limitation des flux de gènes indésirables, pouvant contrecarrer l'adaptation locale) ;

- le noyau de conservation doit avoir un nombre et une proportion suffisants d'individus reproducteurs de l'espèce cible pour assurer un brassage de gènes à chaque événement de reproduction. Cet effectif varie selon l'objectif de conservation assigné à l'UC (minimum 500 reproducteurs pour la conservation de la diversité génétique globale, 50 reproducteurs si l'objectif est le maintien d'une adaptation particulière dans une population marginale) ;

- l'UC doit être gérée de manière à assurer sa pérennité, tant par la présence dans le temps de l'espèce à protéger, que par le maintien d'un habitat adéquat. Cette clause implique une attention toute particulière à porter à la régénération naturelle ;
- l'UC doit faire l'objet d'un suivi sur le long terme de sa diversité génétique. Les méthodes à employer pour que ce suivi soit pertinent, outre les évaluations classiques en gestion forestière, font l'objet de discussions (Aravanopoulos 2011).

Au-delà de ces clauses générales (voir aussi l'article de B. Musch et al. dans ce dossier), la charte établit pour chaque UC des clauses particulières définies avec les gestionnaires locaux. La charte n'impose pas de mode de gestion au-delà de ces

clauses. Ainsi, de nombreuses forêts gérées et espaces naturels protégés peuvent répondre aux exigences de la charte de gestion et être potentiellement inclus dans un réseau de conservation *in situ*.

Chaque réseau est coordonné par un animateur désigné par la CRGF et l'ONF. L'animateur, qui travaille en tandem avec un référent scientifique, est chargé de veiller au respect des conditions que doit remplir une UC et à l'application de la charte de gestion de chaque UC. Il a aussi en charge l'évaluation de l'état des UC du réseau, notamment en termes démographiques (état sanitaire, chablis et dégâts divers, régénération naturelle, etc.). Dans le cas des espèces de ripisylve (peuplier noir, orme lisse), le réseau est coordonné par le référent scientifique avec l'appui des naturalistes gestionnaires des espaces protégés concernés. Cette stratégie de gestion, si elle convient bien aux espèces sociales, formant des peuplements bien identifiés, est cependant mal adaptée aux espèces très disséminées. Il est souvent difficile de définir un peuplement et les surfaces à prendre en considération pour atteindre un nombre de semenciers tel que défini dans la charte de gestion, sont souvent considérables et peu compatibles avec la notion classique d'UC. En revanche, la charte de gestion des UC peut convenir à de nombreux espaces protégés à vocation de protection des habitats ou encore des réserves biologiques qui contiennent

des espèces forestières disséminées. De facto, de nombreuses aires protégées pratiquent la conservation des RGF sans que cette stratégie de gestion soit inscrite dans leur propre charte de gestion.

Coordination européenne de la conservation *in situ* des RGF

La résolution S2 de la 1^{ère} Conférence Ministérielle pour la Protection des Forêts en Europe (Strasbourg, 1990) reconnaît l'importance des RGF et leur gestion durable pour la forêt européenne. À ce titre, chaque État signataire s'engage à assurer la conservation des RGF sur son territoire. Ce cycle européen de conférences ministérielles a maintenant pris le nom de Forest Europe. Au cours de la conférence Forest Europe de Varsovie (2007), les États européens et l'Union européenne se sont engagés à nouveau à « maintenir, conserver, restaurer et améliorer la diversité biologique de leurs forêts, y compris leurs ressources génétiques, par une gestion forestière durable ».

Le programme paneuropéen EUFORGEN

C'est à l'initiative de la conférence de Strasbourg et de sa résolution S2 qu'un programme pan-européen facilitant la coordination des actions de conservation des RGF à l'échelle du continent a vu le jour. Ce programme, dénommé EUFORGEN (European Forest Genetic

Resources programme³), a été officiellement créé en 1994. Il fonctionne par cycles de quatre années, financé par les cotisations annuelles des États qui y participent sur la base du volontariat. Son Secrétariat, basé à Rome, est assuré par Bioversity International⁴. EUFORGEN a longtemps fonctionné par grands réseaux spécifiques (Conifères, Feuillus sociaux, Feuillus disséminés, ...) réunissant chacun un représentant par pays membre. Dans la phase actuelle de fonctionnement du programme (EUFORGEN IV), les réseaux se sont structurés en groupes de travail thématiques se focalisant sur des questionnements ciblés. Le comité de pilotage d'EUFORGEN, composé de représentants nationaux (un par pays) a choisi trois grands domaines de travail pour les groupes thématiques composés d'un petit groupe d'experts (une dizaine) reconnus pour leur compétence dans le domaine : (1) promouvoir l'utilisation raisonnée des RGF dans le cadre de la gestion durable des forêts pour faciliter l'adaptation de la gestion forestière au changement climatique, (2) développer et promouvoir des stratégies de gestion des RGF à l'échelle européenne et améliorer les critères de gestion des UC et des aires protégées et (3) compiler, archiver et diffuser des informations fiables sur les RGF en Europe.

Le rôle moteur de la CRGF

Par le biais de la CRGF et de ses membres, la France a joué un rôle important dans la création et dans l'animation d'EUFORGEN. Les experts français auprès d'EUFORGEN, tous membres de la CRGF, assurent la coordination et la complémentarité entre notre programme national et la stratégie paneuropéenne définie par EUFORGEN. La CRGF a aussi largement contribué au fonctionnement des groupes de travail sur les grandes espèces forestières et la gestion durable de leur RGF, par exemple en promouvant le modèle français à base d'UC pour la conservation *in situ*. Elle a largement contribué aux activités de production et de diffusion des connaissances d'EUFORGEN, notamment en matière de cartes d'aires de répartition des espèces d'intérêt européen (figure 4) et de guides techniques

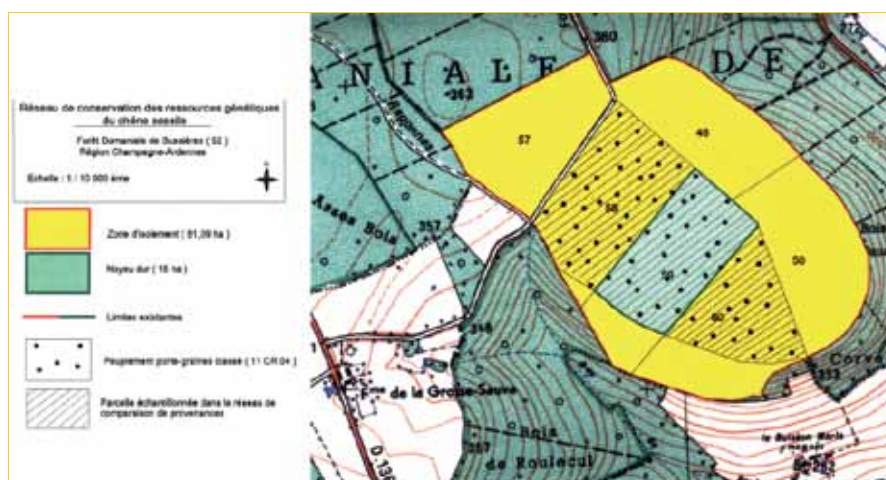


Fig. 3 : plan de l'UC de chêne sessile de la forêt domaniale de Bussières, en haute-Marne (52), montrant le noyau central entouré de la zone tampon. Surface de la zone centrale : 15 ha ; surface de la zone tampon : 81,09 ha et surface totale : 96,09 ha.

³ <http://www.euforgen.org/>

⁴ <http://www.bioversityinternational.org/>

sur les enjeux de la conservation des RGF par espèce. Ces guides techniques sont en cours de traduction française, avec l'insertion d'un encart spécifique de la situation française pour l'espèce concernée⁵.

Au cours des quatre dernières années, la CRGF a apporté une contribution majeure à la définition d'une stratégie commune pour la conservation des RGF au niveau européen, notamment en contribuant à la définition d'une norme de base, acceptée par tous, pour la définition de ce qu'est une unité de conservation et de ce qui ne peut pas être considéré comme tel. Les grands principes des UC tels que décrits ci-dessus sont repris dans cette norme commune, qui constitue une réelle avancée pour l'intégration européenne en matière de conservation des RGF, les acceptions de ce qu'était la conservation *in situ* étant extrêmement variables auparavant. Ces règles communes acceptées étaient une des gageures du projet de système d'information géographique sur le réseau paneuropéen de conservation *in situ*, dont l'acronyme est EUFGIS⁶. La mise en place du système d'information EUFGIS, soutenue par l'Union européenne et coordonnée par EUFORGEN, s'est achevée en 2011. Sa base de données répertoriait (en 2011) 1967 UC réparties dans 31 pays européens pour la conservation des RGF de 86 espèces différentes (figure 5). Ce système d'information permettra de mieux coordonner l'effort de conservation à l'échelle continentale, par une harmonisation de l'information, par l'identification de manques ou de redondances (zones éco-géographiques ou présentant une diversité génétique particulière sous-représentées, doublons, etc.).

La conservation *in situ* en France : un bilan très conséquent et de forts enjeux à venir

Outre leur rôle premier de conservation des RGF, les réseaux *in situ* mis en place par la CRGF jouent un rôle de démonstration de ce que peut être la prise en compte de l'adaptation et de l'évolution pour la gestion forestière. À ce jour, ce

⁵ <http://agriculture.gouv.fr/conservation-des-ressources>
⁶ <http://www.eufgis.org/>

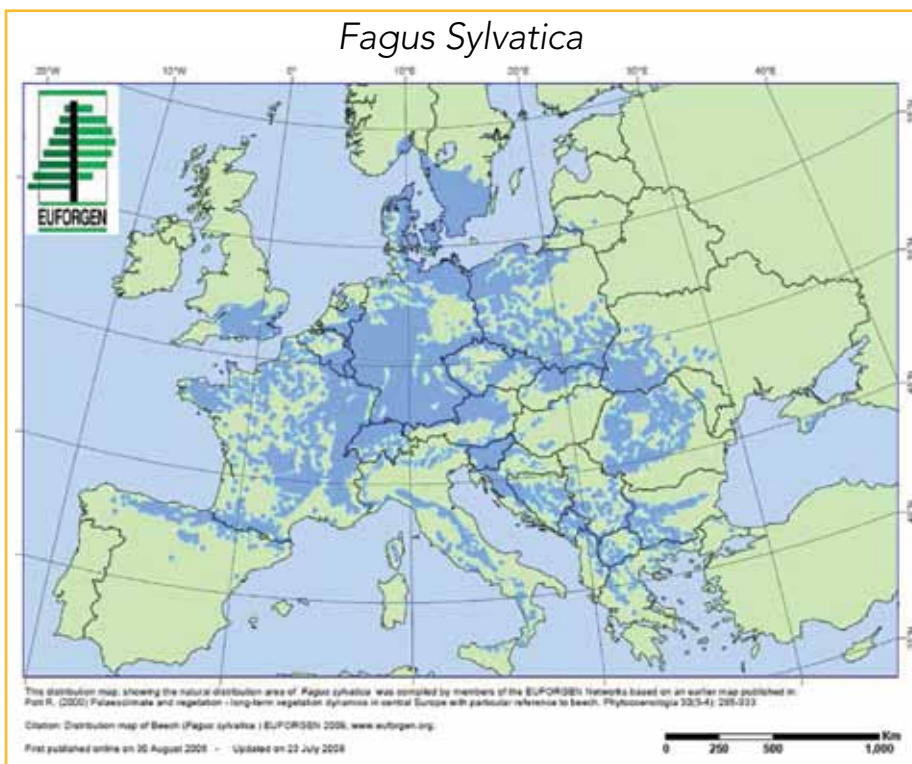


Fig. 4 : Carte de répartition du hêtre en Europe, un exemple de production phare d'EUFORGEN avec les guides techniques pour la conservation des RGF

EUFGIS : Système d'Information sur la conservation dynamique des RGF en Europe

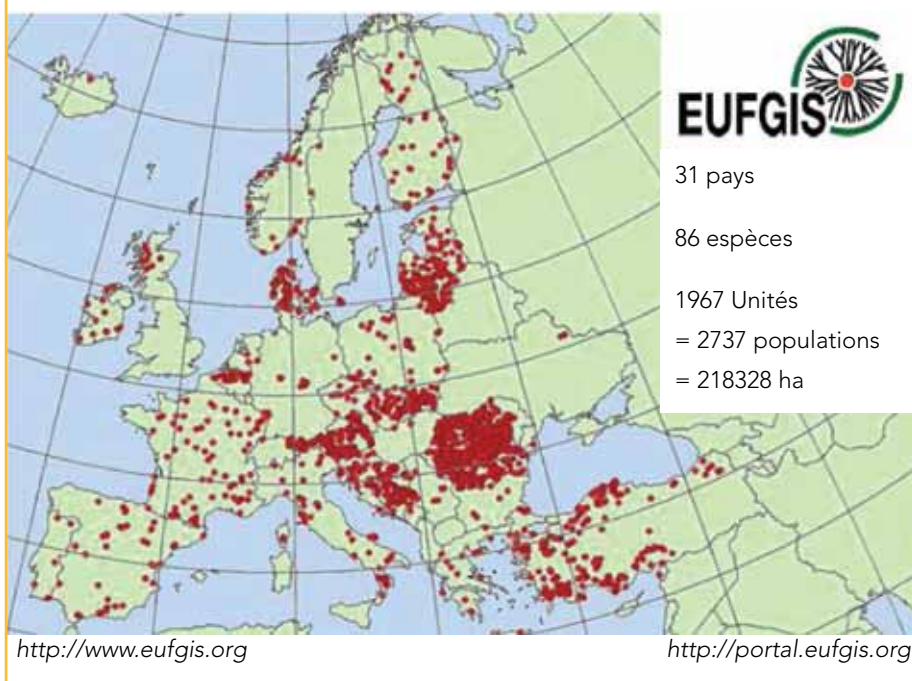


Fig. 5 : carte de l'Europe issue de la base de données des UC du projet EUFGIS (données de Juin 2011)

sont 9 réseaux en fonctionnement ou en cours de construction qui peuvent aider à faire progresser la prise en compte des ressources génétiques dans la gestion courante des forêts. D'ores et déjà, des dispositions sont prises dans les instructions de gestion des forêts publiques (voir l'article de B. Musch *et al.* sur la gestion forestière dans ce dossier).

Faire face aux questions nouvelles

La CRGF est maintenant à un tournant. Faut-il constituer de nouveaux réseaux, et pour quelles espèces forestières ? La question vaut bien évidemment pour les espèces disséminées, peu représentées à l'heure actuelle. L'inventaire de leur répartition n'est pas encore achevé, en France métropolitaine comme dans les régions tropicales où elles constituent la majorité des ressources forestières. Une stratégie originale de gestion des RGF de ces espèces reste à inventer, et nul doute qu'elle doit fortement s'articuler avec la gestion conservatoire des habitats telle qu'elle est pratiquée dans les aires protégées. La question vaut aussi pour les nombreuses espèces sociales qui ne font pas encore l'objet de réseaux d'UC. Il paraît urgent, dans le cadre des changements climatiques, de considérer les espèces et ressources génétiques thermophiles. Dans le cadre d'EUFORGEN, une réflexion a été conduite sur l'ensemble des chênes européens présents sur le pourtour méditerranéen. Cette région héberge 41 taxons (28 espèces et leurs sous-espèces) reconnus. À l'exception des chênes sessile et pédonculé, tous ces taxons sont thermophiles et présentent donc un intérêt à l'échelle européenne pour l'adaptation aux changements climatiques. Les menaces à court terme sur ces espèces sont importantes : une a

disparu récemment, 5 sont menacées de disparition et 15 ont des ressources génétiques fortement menacées. La protection des espèces thermophiles est donc une nouvelle priorité à développer d'urgence et la France a un rôle important à jouer dans cette stratégie.

Travailler avec les réseaux d'aires protégées

Nous appelons de nos vœux une meilleure articulation des réseaux d'UC avec les réseaux d'aires protégées. Hormis peut-être les réserves biologiques intégrales dans lesquelles tout recours à la régénération assistée est interdit, les aires protégées représentent souvent des zones où des RGF sont conservées *in situ* en adéquation avec les exigences de la charte de gestion des UC. Même si cette conservation doit être considérée comme transitoire, les objectifs de gestion des aires protégées n'étant pas *a priori* les RGF mais les habitats, un inventaire des aires protégées contenant des RGF dont les pratiques de gestion correspondent à celle de la charte des UC à un moment donné devrait être établi et remis à jour régulièrement. Il apparaîtrait alors clairement que les RGF sont conservées dans de nombreux sites en France, au-delà des réseaux d'UC.

Ne pas relâcher l'effort

Enfin, les efforts de gestion des réseaux d'UC prennent une nouvelle dimension dans le cadre de l'adaptation des forêts françaises aux changements climatiques. Couvrant des conditions pédoclimatiques nombreuses et variées, chaque réseau a un rôle important de vigie à jouer. Le suivi des UC et des indicateurs de leur dynamique évolutive, comme les dépérissements des semenciers adultes et la quantité

de la régénération, doit être maintenu avec une grande régularité. Il est assuré par les animateurs de réseaux et leurs correspondants locaux et nous formons le vœu, en ces temps de contraintes budgétaires, que cette activité essentielle ne sera pas réduite. Il en irait de la pérennité du dispositif de conservation *in situ* des RGF en France.

Bruno FADY

INRA Avignon
URFM Écologie des Forêts
Méditerranéennes

Éric COLLIN

Irstea Nogent/V.
UR Écosystèmes Forestiers

Alexis DUCOUSSO

INRA, Bordeaux (Cestas)
UMR Biodiversité, Gènes
et Communautés

François LEFÈVRE

INRA Avignon
URFM Écologie des Forêts
Méditerranéennes

Brigitte MUSCH

ONF, département R&D
Conservatoire Génétique
des Arbres Forestiers

Jean Michel FARGEIX

André PROCHASSON
Nicolas REINHORN
ONF, département R&D

Marc VILLAR

INRA Orléans
UR Amélioration, Génétique
et Physiologie Forestières

Lectures conseillées

Bastien C., Valadon A., 2007. Conserver les ressources génétiques du pin sylvestre en France : pourquoi, comment ? Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 17, pp. 11-16

Martin S., Ducouso A. Valadon A., 2009. Conserver les ressources génétiques du hêtre en France : pourquoi, comment ? Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 23-24, pp. 64-71

Office national des forêts, Direction technique, 2004. Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors série n°1, 130 p.

Plancheron F., Valadon A., Fady B., 2007. Conserver les ressources génétiques de l'épicéa commun en France : pourquoi, comment ? Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 18, pp. 73-80

Plas G., Valadon A., Fady B., 2008. Conserver les ressources génétiques du sapin pectiné en France : pourquoi, comment ? Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 19, pp. 55-63

Valadon A, 2009. Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers : Analyse bibliographique. Dossiers Forestiers de l'ONF, n°21, 157 p.

Verger S., Ducouso A. 2009. Conserver les ressources génétiques du chêne sessile en France : pourquoi, comment ? Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 23-24, pp. 55-63

Bibliographie

Allendorf FW, Luikart G, 2007. Conservation and the genetics of populations. Blackwell publishing, Malden, USA

Aravanopoulos FA, 2011. Genetic monitoring in natural perennial plant populations. Botany, vol 89, pp. 75-81

CRGF, 2008. Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique. MAAPRAT, Paris, 4p.

Ducouso A, Bordacs S, 2004. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 p.

Fady B, Forest I, Hochu I, Ribiollet A, de Beaulieu JL, Pastuzska P, 1999. Genetic differentiation in *Abies alba* populations from south-eastern France. Forest Genetics, vol 6(3), pp. 129-138

Lesica P, Allendorf FW, 1995. When are peripheral populations valuable for conservation? Conservation Biology, vol 9, pp. 753-760

Liepelt S, Cheddadi R, de Beaulieu JL, Fady B, Gömöry D, Hussendörfer E, Konnert M, Litt T, Longauer R, Terhürne-Berson R, Ziegenhagen B, 2009. Postglacial range expansion and its genetic imprints in *Abies alba* (Mill.) - a synthesis from paleobotanic and genetic data. Review of Palaeobotany and Palynology, vol 153, pp. 139-149

Moritz C, 1994. Defining evolutionarily-significant-units for conservation. Trends in Ecology and evolution, vol 9, pp. 373-375

Moritz C, Lavery S, Slade R, 1995. Using allele frequency and phylogeny to define units for conservation and management. American Fisheries Society Symposium vol 17, pp.249-262

Ryder OA, 1986. Species conservation and systematics : the dilemma of subspecies. Trends in Ecology and Evolution, vol 1, pp. 9-10

Sagnard F, Barberot C, Fady B, 2002. Structure of genetic diversity in *Abies alba* Mill. from southwestern Alps : multivariate analysis of adaptive and non-adaptive traits for conservation in France. Forest Ecology and Management, vol 157, pp. 175-189

Teissier du Cros E (coord.), 1999. Conserver les ressources génétiques forestières en France. INRA, MAAP, BRG, Paris, 60 p.

Valadon A, 2009. Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers : Analyse bibliographique. Les Dossiers Forestiers de l'ONF, n°21, 157 p.

Verger S, Ducouso A, 2009. Conserver les ressources génétiques du chêne sessile en France : pourquoi, comment? RenDez-Vous Techniques ONF, n° 23-24, pp. 55-63

Conservation *ex situ* : collections statiques et valorisation dynamique

Le premier objectif de cet article est de présenter les méthodes et le bilan des actions de conservation *ex situ* conduites par la CRGF depuis 20 ans. Il vise aussi à expliciter la complémentarité entre conservation dynamique *in situ* et conservation en collections, vergers conservatoires et plantations *ex situ*. En conclusion, nous verrons que cette complémentarité présente un intérêt renouvelé dans le contexte du changement climatique.

Des exemples illustreront les voies de passage entre collections statiques et valorisation dynamique et démentiront l'idée reçue selon laquelle la conservation *ex situ* serait une démarche de précaution purement statique et déconnectée de toute forme d'utilisation pratique.

Une alternative à l'*in situ* pour les cas difficiles

Dès sa création, la CRGF a résolument opté pour la conservation dynamique de populations *in situ* tout en reconnaissant qu'il serait nécessaire de recourir à l'*ex situ* dans le cas de ressources menacées *in situ* ou difficiles à conserver sous forme de grandes populations. De la même façon qu'elle avait choisi le sapin pectiné et le hêtre comme « espèces pilotes » pour mettre au point les méthodes de conservation *in situ*, la CRGF a choisi l'orme champêtre, le peuplier noir et le merisier pour définir les méthodes et protocoles de conservation *ex situ*. Ces trois espèces sont en effet menacées pour diverses raisons :

- par une pandémie (orme champêtre / graphiose) ;
- par la destruction de leur habitat (peuplier noir / disparition des ripisylves et de la dynamique fluviale) ;
- par les changements de pratiques sylvicoles/agricoles (merisier / conversion

des taillis-sous-futaie en futaies régulières ; noyer / coupe d'arbres champêtres et réduction du nombre de variétés greffées) ;

- par l'introduction de matériel allochtone, source d'introggression voire de « pollution génétique » : (peuplier noir / plantations de peuplier d'Italie et de cultivars hybrides ; merisier / plantations allochtones ; noyer / noyeraie cultivée). De plus, contrairement au sapin et au hêtre, ces espèces sont disséminées et / ou difficiles à régénérer sur place. C'est notamment le cas du peuplier noir, qui peut être localement abondant mais ne se régénère que lorsque la dynamique fluviale permet le dépôt de sédiments frais juste avant celui des graines portées par le courant.

Plus récemment, le pin de Salzmann a rejoint le groupe des espèces en cours de conservation *ex situ* car menacées *in situ* (risques d'incendie et d'introggression par d'autres pins noirs).

Garantir la conservation durable de collections anciennes

Le choix des trois premières « espèces pilotes » en matière d'*ex situ* s'explique aussi par l'intérêt de renforcer et d'étendre des collections de clones déjà constituées par l'INRA ou Irstea. Pour ces trois espèces et pour deux autres dans des situations similaires (collection de clones de noyer commun et de cormier respectivement constituées par l'IDF et l'INRA), il était nécessaire de faciliter la conservation durable du matériel végétal existant et sa valorisation éventuelle. Dans ce double but, il a été décidé en 1995, avec l'accord des instituts propriétaires des collections concernées, de verser tout ou partie des clones existants dans cinq « Collections

nationales » gérées par la CRGF et de remultiplier ce matériel végétal pour le rassembler dans un lieu de conservation commun, en l'occurrence la pépinière conservatoire de Guémené-Penfao (44). Bien que créé pour la conservation de variétés végétales d'intérêt fruitier, horticole ou ornemental, le statut de « Collection nationale » s'est révélé facilement applicable aux ressources génétiques forestières et avantageux à divers titres (reconnaissance du caractère patrimonial des collections, regroupement d'information et de matériel végétal).

Les collections anciennes ont été constituées à partir de boutures (photo 1) ou de greffes prélevées sur plusieurs centaines d'arbres adultes échantillonnés dans diverses régions françaises. Leur remultiplication est nettement plus aisée car boutures et greffes peuvent être prélevées sur de jeunes arbres regroupés sur le domaine d'un institut de recherche, à l'exception du noyer dispersé sur plusieurs collections gérées par l'IDF en partenariat avec des propriétaires privés.



1 - Bouture racinée d'orme sous serre

J. Serouagne, Irstea



D. Cambon, ONF

2 - Récolte de greffons sur des pins de Salzman âgés de plus de 140 ans



M. Rondouin, pép. Guéméné Penfao

3 - Parc à pieds-mères d'ormes maintenu à Guéméné Penfao (44)



S. Girard, IDF

4 - Plantation conservatoire de noyer (Viville, 16)



L. harvengt, FCBA

5 - Bourgeons dormants d'ormes cryoconservés dans l'azote liquide

Une « troisième voie » : la conservation *ex situ* dynamique

Recourir à la conservation *ex situ* ne signifie pas obligatoirement conserver statiquement des génotypes sous forme de lots de graines en chambre froide, de bourgeons congelés ou de haies conservatoires en pépinière. Certes, les cinq Collections nationales précitées sont statiques puisqu'elles ne génèrent pas de diversité nouvelle par reproduction sexuée mais il est facile de réinjecter leurs ressources en forêt ou dans les haies bocagères où elles seront de nouveau en situation de se reproduire en condition de sélection naturelle. On peut par exemple réintroduire dans le milieu naturel un assemblage de clones d'ormes ou de peuplier noir originaires de la région de plantation ; cette population synthétique à base génétique suffisamment large évoluera ensuite comme une population naturelle soumise dynamiquement aux forces évolutives, dont principalement la sélection naturelle et les échanges de gènes (par graines et pollen) avec les populations avoisinantes. On peut aussi créer des vergers à graines conservatoires pour produire des plants qui seront réintroduits dans le milieu naturel. Dans un cas comme dans l'autre, le recours à la conservation *ex situ* dynamique permet non seulement le sauvetage de ressources incapables de se maintenir naturellement *in situ* mais aussi

Conservation *ex situ*

Ce mode de conservation consiste à préserver durablement des ressources génétiques en dehors du site où elles ont été collectées. En matière forestière, on procède par récolte de graines, greffes, boutures ou même tissus pour la culture *in vitro*. Cette préservation est dite « statique » s'il s'agit de collections maintenues dans les chambres froides ou les pépinières des centres de recherche. Elle est dite « dynamique » dans le cas de plantations conservatoires ou de vergers à graines donnant naissance à de nouvelles populations forestières par reproduction sexuée.

la création de bonnes conditions pour l'évolution de ces ressources sous l'effet de la sélection naturelle (= conservation dynamique « pseudo-*in situ* »).

Il est également possible de parvenir directement à la conservation dynamique « pseudo-*in situ* » sans passer par la constitution de collections clonales : le plus simple est de procéder par récoltes de graines sur un grand nombre d'arbres représentatifs de la population à conserver, sauf si cette population est menacée d'introgession par du pollen d'espèces ou de provenances introduites.

Réalisations de la CRGF

Plus d'un millier de clones de quatre Collections nationales sont actuellement conservés à la pépinière de Guéméné-Penfao et cet effectif va très rapidement s'accroître de plusieurs centaines de clones nouveaux, principalement de peuplier noir, déjà bouturés pour des études génétiques ou pathologiques. La Collection nationale de cormier implantée dans un domaine de l'INRA dans le Gard (Bariteau *et al.*, 2006) n'a pas encore été dupliquée dans un autre site conservatoire mais le sera prochainement. Celle de pin de Salzman est en cours de constitution par prélèvement de greffons sur des pins âgés de plus de 140 ans, antérieurs aux plantations de pins noirs non autochtones (Fady *et al.*, 2010) (photo 2).

Le matériel végétal issu de boutures est maintenu « au champ » sous forme de pieds-mères recepés annuellement (peuplier noir) ou de plants taillés annuellement en haie basses (ormes) (photo 3) ; ce rabattage périodique permet non seulement d'optimiser l'utilisation de l'espace mais aussi, dans le cas des ormes, de réduire les risques de contamination par la graphiose car les insectes vecteurs du champignon pathogène sont moins attirés par ces formes basses. Le matériel végétal issu de greffes (noyer, merisier, cormier) est maintenu dans des haies basses ou des vergers (photo 4) à densité plus ou moins forte selon qu'on vise seulement la conservation statique ou également la production de semences. Les plants greffés de pin de Salzmann, actuellement encore en pots, seront plantés sur le site de Cadarache (04) où seront transférées, à partir de 2013, l'équipe et l'infrastructure de la pépinière expérimentale d'Aix-en-Provence. La cryobanque du FCBA maintient également des bourgeons d'une soixantaine de clones d'ormes dans l'azote liquide (photo 5) ; des cellules de bourgeons décongelés peuvent être multipliées *in vitro* pour reconstituer des plantes entières (cf. article de L. Harvengt dans ce dossier).

Les effectifs et caractéristiques des Collections nationales sont présentés dans le tableau 1. Deux plantations conservatoires « pseudo-*in situ* » de merisier (Bretagne, Midi-Pyrénées) ont également été réalisées (Collin *et al.*, 1998).

Valorisation scientifique des Collections

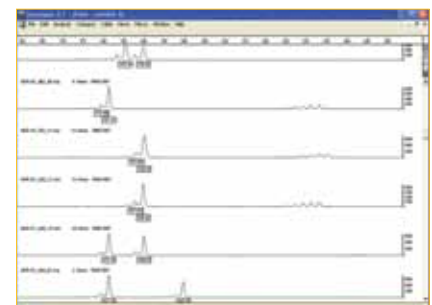
Les collections *ex situ* constituent un formidable vivier pour la recherche sur la diversité entre espèces et à l'intérieur des espèces. Elles peuvent aussi contribuer à clarifier la systématique d'un genre ou mieux comprendre les mécanismes génétiques de caractères adaptatifs majeurs (phénologie, résistance à des maladies...).

Deux types de données sont classiquement recueillis dans les collections : **la caractérisation** porte sur des caractères morphologiques ou phénologiques directement accessibles sur le terrain (ex : forme des feuilles, date de débourrement) ainsi que sur des caractères de l'ADN révélés par des marqueurs moléculaires ; **l'évaluation** porte sur des caractères intéressant l'utilisateur ou le sélectionneur et nécessitant la réalisation de tests comparatifs (ex : test de résistance à une maladie).

Caractérisation

Les données de caractérisation les plus complètes portent sur le peuplier noir, espèce majeure pour les programmes d'amélioration et pour laquelle on dispose de très nombreux marqueurs moléculaires (photo 6). Elles sont partielles pour les ormes et le merisier et encore très fragmentaires pour le cormier et le noyer. Pour le pin de Salzmann, les études ADN sont conduites en même temps que le prélèvement des greffons (Fady *et al.*, 2010).

Le cas des ormes montre comment la caractérisation de collections conservatoires (Collin, 2007) peut être valorisée scientifiquement. Dans le cadre d'un projet européen, la caractérisation partielle de plusieurs collections d'orme européennes a pu être réalisée conjointement. Ceci a notamment permis de clarifier la taxonomie des ormes champêtres, d'identifier les hybrides avec des espèces asiatiques introduites et de révéler les sources et voies de recolonisation post-glaciaires. Les marqueurs moléculaires ont montré que la diversité génétique des ormes champêtres était très grande à l'intérieur de chaque pays et peu différenciée d'un pays à l'autre. Le suivi des stades de débourrement végétatif de clones d'origines diverses a permis de comprendre les facteurs climatiques (seuil et cumuls de température) déterminant le débourrement. Sur le noyer, l'IDF a réalisé le suivi du débourrement végétatif des clones de la Collection nationale pour évaluer leur adaptation au climat local



M. Villar, INRA

6 - Caractérisation de clones de peuplier noir à l'aide de marqueurs moléculaires

Espèce	Collection ancienne	Origine ; Conservation	Collection nationale
Peuplier noir	INRA Orléans + FCBA	Aire naturelle française Pieds-mères issus de boutures	260 clones + sélection à faire parmi 1500 nouveaux
Ormes champêtre, lisse, de montagne	Irstea Nogent/V. + CREPAN (Caen)	Diverses régions sauf sud-est Haies basses issues de boutures	417 clones + sélection à faire parmi 50 nouveaux
Merisier	INRA Orléans (> 300 clones)	Aire naturelle française Haies basses issues de greffes	251 clones ; pas d'extension prévue
Noyer	IDF Lyon (> 150 clones)	Dauphiné, Auvergne + divers Vergers issus de greffes	58 clones + 115 en cours d'installation
Cormier	INRA Avignon (> 150 clones)	PACA, Languedoc-R., Poitou-Ch., Bourgogne Vergers issus de greffes	46 clones + 14 à remultiplier
Pin de Salzmann	néant	Languedoc-R., Conflent, Ardèche Vergers issus de greffes	en cours

Tab. 1 : composition et origine des Collections nationales de conservation de clones d'arbres forestiers

NB : les Collections nationales n'incluent pas les clones d'origine étrangère (ex : collection d'ormes européens, Irstea Nogent)

Évaluation

L'évaluation des clones en collection a essentiellement porté sur résistance à des maladies d'importance majeure : rouille du peuplier et graphiose de l'orme. Les données recueillies sur la rouille sont précieuses pour les travaux scientifiques conduits par l'INRA d'Orléans. Celles concernant la graphiose montrent qu'aucun clone d'orme champêtre, même issu de boutures d'un vieil arbre survivant à l'épidémie, n'offre de grande résistance à l'agent pathogène inoculé artificiellement (photo 7).

Valorisation forestière des Collections

La vocation première des Collections nationales est la conservation statique de génotypes représentant la diversité d'une espèce sur un territoire donné. Elles constituent également des sources de matériel végétal (graines, boutures) pour la conservation dynamique des ressources génétiques et divers usages forestiers ou agroforestiers (Le Bouler et Collin, 2009).

Trois variétés de peuplier noir (assemblages de 20 clones par variété) ont déjà été mises sur le marché pour les besoins du génie écologique dans les forêts en bords de Loire, de Garonne et du Rhin (Villar et Forestier, 2009). Dix clones d'orme champêtre sont proposés pour la reconstitution bocagère et d'autres le seront à leur tour (diversification clonale). Des projets de vergers à graines à large base génétique existent ou sont envisagés pour le cormier, le noyer commun et l'orme champêtre. Dans le cas du noyer, les collections associées peuvent servir à récolter de la semence pour la reconstitution du paysage agro-forestier régional.

Regard critique sur 20 ans d'action de la CRGF

La stratégie consistant à combiner pragmatiquement approches *in situ* pour les espèces sociales et *ex situ* pour les espèces disséminées ou menacées a globalement prouvé sa robustesse mais également montré ses limites. Actuellement la CRGF n'établit plus de distinguo aussi



J. Serouigne, Irstea

7 - Inoculation artificielle d'ormes pour évaluer leur sensibilité à la graphiose

tranché entre espèces relevant de tel ou tel mode de conservation. Certaines populations d'espèces présumées menacées (orme lisse, peuplier noir) peuvent en fait être conservées *in situ* alors que des populations marginales de grandes espèces sociales (ex : sapin pectiné) sont menacées par le changement climatique et devront probablement être conservées dynamiquement *ex situ*. La conservation *in situ* de fruitiers disséminés (ex : alisier) pourrait également être favorisée à l'échelle de grands massifs forestiers en accord avec les gestionnaires. Pour toutes sortes d'espèces, on s'achemine donc vers la combinaison souple de méthodes *in situ* et *ex situ*.

Les priorités en termes d'espèces à conserver ont parfois nécessité quelques ajustements, comme l'ajout des ormes lisses et de montagne, en fait plus menacés que l'orme champêtre qui se régénère bien par rejets et drageons, même en cas de mortalité spectaculaire de sa partie aérienne.

Dupliquer et caractériser les collections

La mise en place des Collections nationales a permis la duplication partielle ou totale de quatre collections anciennes mais pas encore de celle de cormier. Par malchance, cette dernière a récemment subi la perte de plusieurs clones lors d'un

incendie. Elle devrait être dupliquée sur le site de Cadarache à partir de 2013. Le cas du noyer offre un intéressant modèle avec une collection centrale (à Guéméné-Penfao) et des collections associées (régionales). Ce modèle pourrait avantageusement être étendu à d'autres espèces pour faciliter la valorisation et la conservation dynamiques en vergers à graines conservatoires, notamment pour des usages agroforestiers (ex : haies bocagères). Plusieurs collections anciennes (saules, aulne glutineux) ou en projet (pommier sauvage) gagneraient à bénéficier du statut de Collection nationale.

L'harmonisation et la mise à jour des bases de données ont progressé mais marquent actuellement le pas, dans l'attente d'un système de base de données en ligne. La caractérisation des collections a été conduite en fonctions d'opportunités (ex : projets et financements européens) mais pourrait reprendre de manière plus systématique suite aux progrès et à la baisse des coûts des techniques de caractérisation moléculaire de l'ADN.

Poursuivre leur valorisation

La valorisation scientifique des collections n'est pas seulement une production de l'activité conservatoire mais aussi une de ses conditions. Sans connaissance

sur la structuration de la diversité des espèces, on risque de cibler imparfaitement les ressources à conserver. Inversement, une collection *ex situ* constitue une précieuse source de matériel végétal (mais non la seule !) pour des études de diversité. De ce fait, par effet de feed-back, l'étude des collections contribue à indiquer des voies pour combler certaines lacunes et permet aussi d'éliminer certaines redondances. La mise sur le marché des variétés « patrimoniales » de peuplier noir destinées à la restauration écologique des forêts alluviales a nécessité, en accord avec le Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS), une intéressante évolution des critères d'homologation. Contrairement aux variétés forestières améliorées, la diversité génétique et phénotypique (date d'ouverture des bourgeons, architecture de l'arbre) a été privilégiée et non les performances en termes de production agronomique.

Perspectives : pourquoi et comment utiliser l'*ex situ* dans le contexte du changement climatique ?

Cette question relève de discussions de table ronde abordées par ailleurs (cf. article de F. Lefèvre dans ce dossier). Notons cependant que le recours à la conservation *ex situ* sera nécessaire à la fois dans le cas de ressources menacées en France (ex : populations méridionales de sapin pectiné, hêtre...) et dans celui de ressources étrangères potentiellement utiles en France (ex : populations circum-méditerranéennes de chênes, hêtre...). Dans les deux cas, la question de l'échantillonnage sera cruciale (peuplements, voire individus « résistants » dans des peuplements déperissants) mais la stratégie de mise en place le sera également. Plutôt que de réaliser seulement une ou deux plantations « pseudo-*in situ* »

dynamiques, il serait adroit d'en réaliser davantage, dans des contextes pédo-climatiques contrastés. Chacune de ces plantations suivrait ainsi une trajectoire évolutive qui lui serait propre, élargissant ainsi le spectre des adaptations dont nous pourrions avoir besoin à moyen terme. Bien évidemment, chaque plantation devrait être assez grande pour s'auto-protéger partiellement des flux de pollen éventuels en provenance de peuplements environnants.

Éric COLLIN

Irstea Nogent/V.
UR Écosystèmes Forestiers

Hervé LE BOULER
Olivier FORESTIER

Jean-Pierre HUVELIN
Michel RONDOUIN
Pépinière conservatoire
de Guéméné-Penfao

Patrice BRAHIC
Pépinière conservatoire
d'Aix-en-Provence

Michel BARITEAU
Bruno FADY
Sylvie ODDOU-MURATORIO
Jean THÉVENET
INRA Avignon
Écologie des Forêts Méditerranéennes

Jean DUFOUR
Marc VILLAR
INRA Orléans
UR Amélioration, Génétique
et Physiologie Forestières

Sabine GIRARD
IDF Lyon

Luc HARVENGT
FCBA Bordeaux (Cestas)
Pôle Biotechnologie et
Sylviculture Avancée

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement tous les agents ONF et toutes les personnes qui ont assuré la prospection ou le signalement des arbres à multiplier et/ou qui les ont aidés à prélever les boutures ou les greffes.

Bibliographie

Bariteau M., Brahic P., Thévenet J., 2006. Comment domestiquer le Cormier (*Sorbus domestica*) ? Bilan des recherches sur la multiplication sexuée et végétative. Forêt méditerranéenne, vol. XXVII, n° 1, pp. 17-30

Collin E., 2007. La conservation des ressources génétiques des ormes. Forêt Entreprise, n° 175, pp. 29-32

Collin E., Bilger I., Héois B., 1998. Conservation des ressources génétiques du merisier. Forêt Entreprise, n° 120, pp. 59-64

Fady B., Brahic P., Cambon D., Gilg O., Rei F., Roig A., Royer J., Thévenet J., Turion N., 2010. Valoriser et conserver le pin de Salzman en France. Forêt méditerranéenne, vol. XXXI, n° 1, pp. 3-14

Le Boulter H., Collin E., 2009. La valorisation des ressources génétiques des arbres forestiers conservés dans les Collections nationales françaises. Revue Forestière Française, vol. 61, n° 5, pp. 447-455

Villar M., Forestier O., 2009. Le peuplier noir en France : pourquoi conserver ses ressources génétiques et comment les valoriser ? Revue Forestière Française, vol. 61, n° 5, pp. 457-466

De nouvelles approches pour de nouveaux enjeux

Les différentes approches des biotechnologies ont produit des outils applicables à la conservation des ressources génétiques des arbres forestiers. Ces outils servent également à multiplier du matériel végétal destiné à la sélection ou la diffusion de variétés végétales.

La culture *in vitro*

La culture *in vitro* de tissus végétaux consiste à propager végétativement des plantes ou parties de plantes en conditions stériles dans un environnement contrôlé. Elle permet et nécessite à la fois l'assainissement des végétaux concernés (insectes, acariens, virus, phytoplasmes, bactéries et champignons). Les techniques utilisées procèdent de trois démarches types qui peuvent se combiner : 1) une

version miniaturisée – éventuellement en cascade - de procédés classiques de multiplication végétative comme le bouturage ou le greffage, 2) la production d'embryons (dits somatiques, harvengt et Lelu 2003) sans passer par la voie sexuée ou 3) la culture de cellules isolées. Elle s'accompagne d'une miniaturisation contrôlée des plantes, qui facilite la modification de leur physiologie. On obtient ainsi des effets de restauration de la vigueur et de la morphologie juvénile, facilitant la multiplication, en particulier du point de vue de l'enracinement, à partir d'individus âgés.

L'effet est particulièrement spectaculaire chez les conifères dont la capacité d'enracinement décroît très rapidement avec l'âge. Ainsi, la culture *in vitro* de

bourgeons de séquoia multicentenaire permet, contrairement au bouturage classique, d'en produire des plants s'enracinant vigoureusement et présentant une morphologie juvénile (Arnaud *et al.* 1993 et figure 1). Chez les espèces qui se bouturent, la culture *in vitro* est fréquemment utilisée pour produire des pieds mères fournissant des pousses plus nombreuses et plus aisément enracinables. La culture étant réalisée en laboratoire, elle s'affranchit des contraintes saisonnières, permettant de produire l'hiver des végétaux qui pourront immédiatement être travaillés en pépinière dès le début de la saison de végétation. Pour les espèces ou individus/variétés rares et/ou disponibles en quantité limitée, la culture *in vitro* permet une multiplication végétative efficace - même si le végétal considéré est complètement réfractaire aux techniques classiques – avec une mise à disposition rapide et synchrone d'une quantité suffisante de matériel végétal pour reconstituer ou diversifier une population ou encore implanter un verger à graines.

La cryoconservation

La cryoconservation est la conservation cryogénique (soit à ultra basse température, habituellement dans l'azote liquide à -196°C) de matériel végétal. Il peut s'agir de pollen, de graines ou de fragments de plantes. Le pollen et les graines peuvent généralement être conditionnés et réactivés de manière simple (pollinisation et germination *in vivo*). Les fragments de plantes doivent soit posséder une capacité naturelle à survivre à la congélation (bourgeons pleinement dormants), soit être conditionnés de manière parfois très complexe à l'issue d'une étape préalable de multiplication *in vitro*. Par ailleurs, les fragments de plantes cryoconservés doivent obligatoirement passer par la culture *in vitro* lors de leur réactivation.

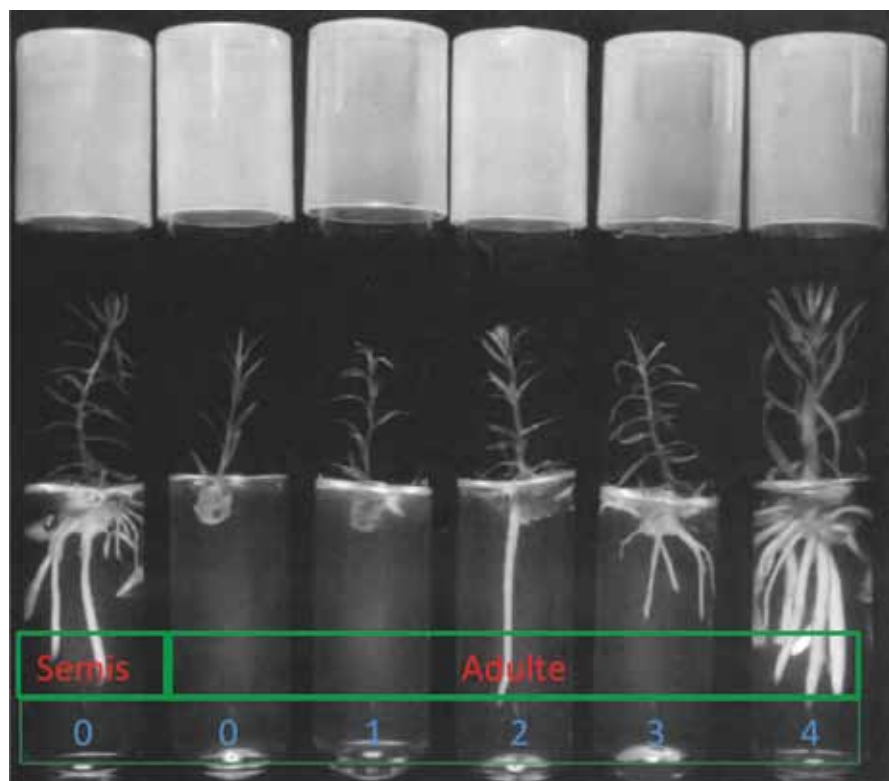


Fig. 1 : «rajeunissement» physiologique par culture *in vitro* chez *Sequoia sempervirens* avec un impact sur la morphologie, la vigueur végétative (croissance et propagation végétative) et le stade reproductif (floraison)

Les chiffres au bas de la photo indiquent le nombre de cycles successifs de microgreffage. (photo originale tirée de Huang *et al.* 1992, *Plant Physiol.* 98 :166-173)

Nous avons ainsi conservé un noyau de 444 clones d'une collection représentant la diversité européenne (y compris française) des ormes (cf. E Collin dans ce dossier) ainsi qu'une cinquantaine de clones français supplémentaires. Leur multiplication est réalisée par microbouturage et, pour certaines espèces difficiles à enraciner (orme de montagne), par le microgreffage sur un porte-greffe dont les rejets peuvent facilement être différenciés morphologiquement de ceux du greffon (figure 2). Quelques accessions clonales ont été introduites en cryoconservation à partir d'arbres remarquables multicentenaires.

Les empreintes ADN

Les empreintes ADN sont utilisées depuis longtemps chez les arbres forestiers. Les outils les plus performants en routine sont les portions d'ADN du type microsatellite (pour une présentation vulgarisée, voir Harvengt 2005 ; pour une présentation détaillée : voir ONF 2005, RDVT Hors série numéro 1). Ces dernières années, leur emploi a été croissant pour assurer la traçabilité du matériel forestier de reproduction commercial, expérimental ou destiné aux collections de ressources génétiques.

Il s'agit classiquement de rectifier des erreurs d'identification entre clones, variétés ou provenances. D'ailleurs ces outils permettent régulièrement de confirmer la redécouverte d'espèces considérées comme éteintes, regrouper en une seule ce que l'on considérait être plusieurs espèces ou à l'inverse confirmer que ce que l'on croyait être des morphotypes au sein des mêmes populations d'une seule espèce correspondent à des espèces distinctes. En matière d'arbres forestiers, le cas le plus remarquable est probablement celui de l'orme anglais, considéré comme une espèce distincte jusqu'à ce que des études de diversité génétique des ormes montrent qu'il ne s'agit que d'un clone d'orme champêtre propagé depuis l'antiquité (Gil *et al.* 2004). Plus récemment, les études de structuration de la diversité génétique ont permis de vérifier l'adéquation de parcelles ou préciser la délimitation de zones dédiées à la conservation *in situ*. La qualité des

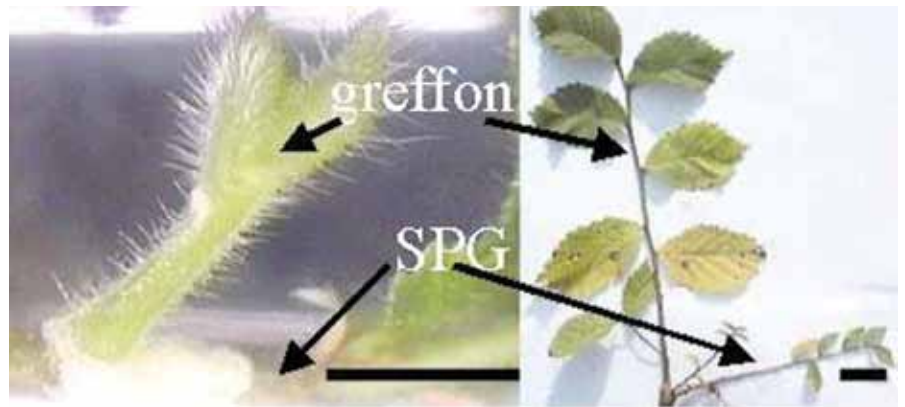


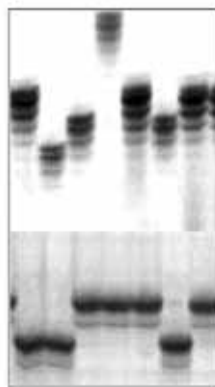
Fig. 2 : microgreffe d'*Ulmus glabra* sur *U. minor* photographiée *in vitro* deux semaines après la greffe (à gauche, barre = 5 mm) et, quelques mois plus tard, en pépinière (à droite, barre = 5 cm)
SPG = porte greffe (Harvengt et Dumas 2003)

régénérations naturelles et de la production de graines peut être estimée.

Les progrès en accélération constante de l'analyse des génomes (la séquence complète de l'ADN d'un individu voire d'une cellule unique) permettent un passage actuellement en cours vers des outils plus fins qui permettront progressivement de fiabiliser les caractérisations jusqu'à approchées par l'analyse d'une poignée de microsatellites (figure 3). Il s'agit non seulement d'analyser des centaines ou des milliers de marqueurs, voire de caractériser de manière exhaustive de la structure de l'ADN, mais, en plus, ces données pourront être assorties

d'une valeur prédictive de l'adaptation aux conditions environnementales : le progrès vient à la fois des machines toujours plus puissantes et rapides mais surtout des études de corrélation entre les variations de l'ADN et l'adaptation à l'environnement. Les outils commencent à être très au point chez les animaux et plantes modèles (Savolainen 2011, Futurasciences 2011), aboutissant à un concept de plus en plus précis que l'on pourrait qualifier d'« écologie assistée par marqueurs » (Weigel 2012). Chez les arbres, et particulièrement chez les conifères dont le génome est beaucoup plus grand que celui des feuillus, les outils doivent encore être mis au point.

De l'usage en routine de quelques marqueurs (souvent moins de 10)



Vers l'analyse simultanée de plusieurs centaines/milliers...

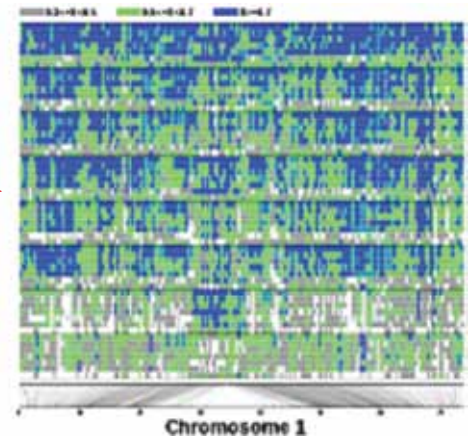


Fig. 3 : évolution des techniques d'analyse ADN disponibles en routine

Cependant, les progrès sont là aussi très rapides et en accélération (Neale et Kremer 2011). Si le génome d'un seul arbre forestier était intégralement connu jusque là, les décryptages de nouvelles espèces de feuillus se sont succédés depuis 2010 et deviennent une routine en 2012. Un grand projet européen de recherche vient d'être lancé pour réaliser la première description complète d'espèces majeures de conifères européens (projet Procogen, 2012-2015) et utiliser cette information pour produire des outils qui serviront à la fois à la sélection de variétés forestières et à la gestion des ressources génétiques sauvages. Par ailleurs des puces ADN spécifiques (voir encadré) traitant simultanément jusqu'à plus de dix mille régions du génome sont utilisées en recherche sur des séries de l'ordre du millier d'arbres. Les conclusions des analyses permettront la conception de puces sur mesure pour différentes situations. Ces puces pourront alors être produites selon les besoins et analysées selon une panoplie de technologies adaptées à des

effectifs de taille différente en termes de nombre de régions génomiques analysées comme en termes de nombre d'arbres à caractériser.

Pour conclure

La mise en œuvre des différentes approches techniques évoquées ici est facilitée par la constitution de plateaux techniques comportant les équipements et les moyens humains nécessaires (compétences et expérience). Des plateaux techniques de ce type sont actuellement mis en place dans le cadre du projet grand emprunt Xyloforest (voir www.xyloforest.org). Par leur ouverture à des utilisateurs ou «simples clients» extérieurs, ils faciliteront l'accès à ces techniques et conduiront donc à une meilleure conservation des ressources génétiques.

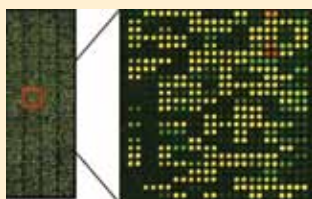
Luc HARVENGT

FCBA Bordeaux (Cestas)
Pôle Biotechnologie et
Sylviculture Avancée

Les puces ADN

Les puces ADN sont dénommées par analogie avec les puces informatiques. Au lieu de microcircuits électriques, elles juxtaposent sur une plaque de verre de quelques centimètres carrés des milliers ou millions de dépôts d'ADN en nano gouttelettes. Ce dépôt est réalisé par un équipement très proche dans son principe de fonctionnement des têtes d'imprimantes à jet d'encre. Chaque dépôt est répété plusieurs fois à l'identique, en des endroits suffisamment distants les uns des autres, de manière à répéter la mesure de l'accrochage sur ces cibles de fragments d'ADN correspondants provenant de l'échantillon à analyser. Cet accrochage se réalise spontanément car l'ADN est constitué de deux moitiés complémentaires capables de s'auto assembler comme les deux moitiés d'une fermeture éclair. Pour obtenir cet accrochage, l'ADN de l'échantillon est au préalable cassé en petits fragments auxquels on greffe un traceur fluorescent. Ensuite, ces fragments sont mis en contact de la puce dans de l'eau à température élevée, ce qui sépare les deux moitiés des ADN. Avec le refroidissement, les moitiés vont se réassembler. Si l'ADN analysé contient des fragments correspondant à ceux qui sont sur la puce, ils vont s'y accrocher. À l'issue de lavages destinés à éliminer l'ADN non fixé sur la puce, on pourra détecter les « points » de la puce qui ont leur correspondant au sein de l'ADN analysé à l'aide d'une micro caméra travaillant en lumière fluorescente. On peut analyser simultanément plusieurs échantillons s'ils sont marqués à l'aide de marqueurs fluorescents de couleurs différentes. Le domaine des puces à ADN est un des champs technologiques évoluant le plus rapidement. Une puce peut comporter jusqu'à plusieurs millions de points sur une dizaine de centimètres carrés.

Exemple de puce ADN : en entier à gauche (taille réelle : environ 2 x 8 cm) et, à droite, zoom sur une zone de la puce. La couleur des points correspond à un niveau relatif de présence des cibles dans deux échantillons analysés simultanément.



Bibliographie

Arnaud Y, Franclot A, Tranvan H, Jacques M, 1993. Micropropagation and Rejuvenation of *Sequoia sempervirens* (Lamb) Endl - A Review. *Annales Des Sciences Forestières* vol 50 n°3, pp.273-295

Futurascience, 2011. Changement climatique : l'étonnante adaptation des plantes. <en ligne : <http://www.fedre.org/content/changement-climatique-letonnante-adaptation-des-plantes>>

Gil L, Fuentes-Utrilla P, Soto A, Cervera MT, Collada C, 2004. English elm (*Ulmus Procera*) hides a 2,000 years old roman clone. *Nature* vol 431 n°1053

Harvengt L, 2005. Identification des arbres forestiers par empreinte ADN. Fiche Informations-Forêt 2005-2 (n°709). 6 p. <en ligne : <http://www.fcbainfo.fr/pages/Archives/fif709.pdf>>

Harvengt L, Dumas E, 2003. La cryoconservation des ligneux, une technique au service de la gestion des ressources génétiques sauvages et domestiquées. Fiche Informations-Forêt 2003-1 (n°664). 6 p. <en ligne : <http://www.fcbainfo.fr/pages/Archives/fif664.pdf>>

Harvengt L, Lelu MA, 2003. L'embryogenèse somatique des conifères, état et perspectives. Fiche Informations-Forêt 2004-3 (n°694). 6 p. <en ligne : <http://www.fcbainfo.fr/pages/Archives/fif694.pdf>>

Neale DB, Kremer A, 2011. Forest tree genomics : growing resources and applications. *Nat Rev Genet* n°12(2) pp.111-122

ONF, 2005. RenDez-vous techniques de l'ONF - Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire - hors-série n°1

Savolainen O, 2011. Evolution. The genomic basis of local climatic adaptation. *Science*, vol 334 n°6052 pp.49-50

Weigel D, 2012. Natural variation in *Arabidopsis* : from molecular genetics to ecological genomics. *Plant Physiol*, vol.158 (1) pp. 2-22

Synthèse des débats des tables rondes

Rôle des ressources génétiques forestières face aux enjeux de biodiversité

Participants à la table ronde :

- Christian Barthod
(Ministère français chargé de l'Écologie, MEEDDTL)
- Michel Chantereau
(Réserves naturelles de France, RNF)
- Nicolas Drapier
(Office national des forêts, ONF)
- Bruno Fady
(INRA Avignon, membre de la CRGF)
- Robin Goffaux
(Fondation pour la recherche pour la biodiversité, FRB)
- Salustiano Iglesias
(Ministère espagnol de l'Environnement, Min Medio Ambiente, Madrid)

Animation :

Gérard Largier
(Conservatoires botaniques nationaux, membre de la CRGF)

La table ronde a été introduite en rappelant les deux principes fondamentaux énoncés le matin par François Lefèvre pour une conception dynamique des RGF :

- préserver la diversité génétique sur le long terme, pour maintenir les possibilités d'évolution future ;
- favoriser les processus évolutifs, pour permettre aux peuplements de coller au mieux au changement de leur environnement.

Cette synthèse rend compte des principales interventions et questions de la salle lors de la table ronde ; tous les points n'ont pas pu être discutés en détail dans le temps imparti.

1 - Quel regard portez-vous sur la place de la diversité génétique forestière dans les enjeux de biodiversité ?

Diversité génétique, ressources génétiques, diversité intraspécifique, représentent la diversité entre les individus et entre les populations. Quelles que soient nos origines et notre secteur d'activité, il faut prendre conscience que nous parlons tous de la même chose. Cette diversité est un élément essentiel de la diversité biologique et constitue le moteur de l'évolution. Il reste cependant très difficile de faire prendre en compte et de mettre en valeur cette diversité alors que des risques de disparition de certaines ressources existent. Comment faire prendre conscience de ce potentiel et des risques est un enjeu majeur, y compris dans des territoires où le taux d'espaces protégés, avec une très forte représentation des habitats forestiers, est élevé (cas de l'Espagne en particulier).

La sensibilisation des gestionnaires forestiers s'est accentuée ces dernières années, en particulier dans les forêts publiques, reflétant une volonté des organismes de prendre en compte cette

dimension mais on reste souvent au stade de la prise de conscience. Les gestionnaires d'espaces naturels sous-estiment également la place de la diversité génétique, ou ne savent pas bien comment l'appréhender, et sont en forte attente vis-à-vis de la recherche.

D'une manière générale, il semble essentiel de réintégrer les ressources génétiques dans la thématique biodiversité dont elles ont souvent été isolées. Les RGF présentent d'ailleurs un intérêt particulier, vues sous l'angle d'un continuum entre ressources sauvages et cultivées, conservation *in* et *ex situ*.

Pour le ministère chargé de l'Écologie, il y a bien un consensus sur 4 niveaux de la biodiversité (gènes, espèces, écosystèmes et paysages) mais les politiques opérationnelles restent orientées sur les espèces et les écosystèmes : la diversité génétique peut être comparée à une fondation (on sait qu'elle existe mais on ne la voit pas) et pour les paysages, on ne sait pas vraiment quelle politique développer et valoriser. De plus, comment les espaces protégés peuvent-ils prendre en compte la conservation des ressources génétiques forestières, alors que le monde forestier, traditionnellement allergique aux aires protégées, a développé ses propres outils de protection ? Ces positions sont cependant en cours d'évolution et c'est le bon moment de se poser la question de prise en compte des RGF.

Par ailleurs, les politiques traditionnelles sont bousculées par la question du changement climatique. Dans ce contexte, la biodiversité est perçue comme une assurance, ce qui conduit à renouveler le questionnement sur l'articulation entre aires protégées, politiques sur la biodiversité et ressources génétiques. On peut cependant s'interroger sur la stratégie communautaire dans laquelle

on retrouve la priorité sur les espèces et écosystèmes, on voit apparaître les infrastructures vertes, mais sans aucun progrès sur le niveau de la diversité génétique. Cela appelle à notre responsabilité individuelle et collective face à la difficulté de faire émerger cet enjeu.

2 - Les politiques forestières et la gestion des forêts de production répondent-elles à l'enjeu de conservation dynamique de la diversité génétique ?

Il est nécessaire d'arriver à faire intégrer les réflexions et actions développées sur la gestion des ressources génétiques dans la gestion courante. C'est un des enjeux de la CRGF.

L'obligation d'utiliser des matériels forestiers de reproduction (MFR), y compris pour des actions qui relèveraient du génie écologique, est identifiée comme une menace pour la conservation des RGF à cause des problèmes d'introgession. En particulier lorsque les MFR sont issus de l'amélioration génétique et représentent une diversité génétique minimale (exemple du peuplier). Cela soulève un grave problème vis-à-vis des réglementations communautaire et nationale. Le fait d'utiliser des graines issues de peuplements sélectionnés, dont la valeur génétique n'est pas connue, pour des reboisements à grande échelle, alors qu'il existe des ressources génétiques identifiées en conservation à proximité, pose souvent question. Les rôles respectifs de la réglementation MFR et du réseau de conservation des RGF ont été rappelés. En particulier le progrès qu'a pu représenter la réglementation MFR quand elle a été mise en place, par rapport aux pratiques antérieures, ainsi que les évolutions récentes (récolte sur un maximum d'individus pour maximiser la diversité génétique). Les réseaux conservatoires ont des objectifs propres et intègrent également des peuplements marginaux. La réglementation se trouve aujourd'hui confrontée à des questions nouvelles et il se pose une vraie question sur le couplage des deux dispositifs. Dans ce contexte, la notion de gestion adaptative

des forêts est à faire passer ou à mieux prendre en compte. Il a été également souligné que les RGF sont exemplaires en matière de prise en compte d'autres valeurs que la production, par rapport aux ressources génétiques agricoles.

3 - Comment mieux intégrer la conservation des ressources génétiques dans les politiques de préservation de la biodiversité ?

Il y a souvent peu de relations entre gestionnaires d'aires protégées et conservateurs de ressources génétiques. Pourtant certaines ressources génétiques en danger sont identifiées comme potentiellement adaptées au changement climatique (exemple de *Pinus sylvestris* var. *nevadensis* en Espagne). En France, il n'y a pas encore eu de création d'une réserve naturelle dans un objectif de conservation de RGF mais des réserves prennent déjà en compte la conservation du peuplier noir ou de l'orme lisse en accueillant une UC. Or les réserves doivent pouvoir jouer un rôle, les habitats forestiers étant les plus représentés. Pour les gestionnaires, la démarche semble devoir venir du monde de la recherche. Dans les réserves biologiques, cette dimension commence à être prise en compte (cas de Saint-Guilhem le désert pour le pin de Salzmann) et les échanges avec la communauté scientifique permettent de disposer d'éléments très concrets pour la gestion ou la mise en réserve intégrale. Le partenariat à bénéfices réciproques entre chercheurs et gestionnaire est souligné comme un élément clé.

4 - Perceptions et représentations des décideurs, quels freins à une meilleure prise en compte aux différentes échelles [vers une conclusion]

La nouvelle approche de valorisation des services écosystémiques rend plus attrayante pour les décideurs la prise en compte d'enjeux comme ceux de la conservation des ressources génétiques. Cependant, on atteint vite des limites car

la question génétique n'est pas facile à appréhender par les hommes politiques, voire décourageante quand on pense au sujet difficile du partage des droits sur les ressources. Sur la limitation aux espèces et écosystèmes, il faut continuer à sensibiliser les décideurs et souligner que la conservation des ressources génétiques s'intègre dans la conservation des espèces. Il faut également s'inscrire dans le débat général sur les capacités à gérer ou freiner les effets du changement climatique. Par analogie avec le secteur bancaire, les décideurs comprennent en général l'intérêt de pouvoir minimiser des risques.

Il est suggéré également de lier la conservation des ressources génétiques à un processus de certification, comme pour l'agriculture biologique, qui garantirait que la gestion forestière prend en compte cet élément. La conservation des RGF serait également à intégrer dans les objectifs de la directive européenne habitats pour une prise en compte effective dans la gestion des sites d'intérêt communautaire.



La réserve biologique domaniale de St Guilhem le Désert affiche un objectif de conservation du patrimoine génétique du pin de Salzmann

D. Cambon, ONF

Rôle des RGF face aux enjeux d'adaptation au changement climatique

Participants à la table ronde :

- Jean-François Dhôte
(Office national des forêts, ONF),
- Jean-Luc Guitton
(Ministère chargé de l'Agriculture, MAAPRAT),
- Pierre Guy
(France nature environnement, FNE),
- Jean-Luc Peyron
(Groupement d'intérêt public ECOFOR, Écosystèmes forestiers),
- Philippe Riou-Nivert
(Institut pour le développement forestier, IDF),
- Bernard Roman-Amat
(Institut AgroParisTech et Comité Technique Permanent de la Sélection, CTPS)

Animation :

François Lefèvre
(INRA Avignon, président de la CRGF)

1 - Diagnostiquer la vulnérabilité, organiser la surveillance, décider les déclenchements

L'évaluation de la vulnérabilité des peuplements est à la fois une évaluation des capacités du patrimoine génétique local et une évaluation des conditions écologiques locales (actuelles et futures). La disponibilité et la mise en pratique de nouveaux outils pour évaluer les stations forestières dans le contexte de changement climatique est encore limitante. Des recherches sont en cours dans différentes équipes.

Le rôle du réseau des observateurs du DSF est fondamental pour la détection et l'alerte rapide sur d'éventuels impacts sanitaires du changement climatique. L'organisation du réseau de surveillance est opérationnelle, il faut assurer la permanence de la technicité et donner les moyens au réseau de bien fonctionner. Mais ce réseau est-il suffisant ? Il y a un besoin impérieux de conforter et développer le dispositif d'épidémio-surveillance.

Pour les observateurs de terrain, un enjeu crucial est de définir des critères de diagnostic visuel de la vulnérabilité du peuplement. Ces critères peuvent différer entre peuplements en place et reboisements récents.

La question de l'importance de la diversité génétique pour expliquer la vulnérabilité des peuplements aux aléas climatiques récents a été posée. Pour être en capacité de faire un tel retour d'expérience, il faudrait améliorer significativement la connaissance de la diversité génétique en place sur le terrain : par exemple, la traçabilité de l'utilisation sur le terrain des MFR est encore insuffisante, voire inexistante.

2 - Options sylvicoles pour l'adaptation au changement climatique

Les chercheurs de différentes disciplines, de différents pays, ont produit une littérature abondante sur le sujet. Mais ces discours apparaissent encore trop discordants pour les gestionnaires qui doivent les intégrer et en faire la synthèse : s'agit-il de vraies divergences de fond ou bien seulement d'angles de vues différents sans incompatibilités fondamentales sur les recommandations opérationnelles qui peuvent en découler ? Il est urgent de travailler sur une meilleure harmonisation des messages scientifiques, d'organiser le débat scientifique pour en faire partager les termes avec tous les acteurs concernés. Le GIP ECOFOR travaille sur la synthèse pluridisciplinaire des questions liées aux mesures adaptatives.

L'expérimentation *in situ* des options sylvicoles pour l'adaptation au changement climatique reste peu pratiquée en France : une telle expérimentation est coûteuse, il faut alors optimiser les options à tester. Le choix des MFR est l'un des paramètres à prendre en compte dans ces expérimentations. À l'échelle du territoire, la diversification des options sylvicoles peut aussi être un facteur favorisant la résilience globale.

La réponse au changement climatique est complexe, et donc aussi l'appréhension de la vulnérabilité : elles dépendent des interactions génotype x environnement dont la déclinaison de chacun des termes est elle-même complexe. Pour évaluer et gérer les risques, le sylviculteur peut s'en remettre à la nature ou orienter la sylviculture (choix des semenciers, hybridation, substitutions d'espèces, etc.). Deux types d'outils sont alors nécessaires : (1) outils et méthodes d'évaluation et de gestion du risque, (2) propositions d'itinéraires

techniques. Sur l'exemple concret du choix des semenciers, le point de vue dynamique des RGF se décline selon deux axes. D'un côté se pose la question de la sélection génétique, directe ou indirecte, opérée lors du choix sur base phénotypique des arbres reproducteurs. D'un autre côté se pose la question de l'impact sur le processus même de « brassage génétique », qui détermine le potentiel d'évolution génétique entre générations, lors du choix du nombre et de la distribution spatiale des reproducteurs. Le premier aspect est essentiel pour préserver la qualité phénotypique du peuplement, le second aspect est fondamental pour en assurer le potentiel adaptatif.

Tous les acteurs n'ont pas les mêmes rôles ni les mêmes objectifs. Le propriétaire ou le gestionnaire forestier fera le plus souvent un choix stratégique « à l'économie », tandis que les pouvoirs publics gèrent l'intérêt général. En terme de graines et plants, se pose la question de l'identification et de la mise à disposition de matériels de reproduction adéquats. Il y a besoin d'outils et méthodes d'évaluation rapide et précoce des matériels de base (peuplements, variétés, clones) sur des critères d'adaptation et de stabilité des performances, le seul classement phénotypique des peuplements ne suffira pas. La disponibilité des MFR pour demain est un enjeu capital. Il faut bien distinguer (i) la mise à disposition de matériels de reproduction bien identifiés et certifiés (loyauté du commerce) et (ii) les règles d'utilisation recommandées aux gestionnaires par les pouvoirs publics (à l'appui d'octroi de subventions) qui peuvent admettre le mélange de certains de ces matériels.

De façon générale, la question des hybridations entre espèces est à reconsidérer dans le contexte du changement climatique. Ces hybridations sont fréquentes chez les arbres que ce soit entre espèces indigènes (chênes, frênes, ormes, pins)

ou entre espèces indigènes et exotiques (sapins...). Il y a là des enjeux de préservation à long terme des ressources génétiques et d'accélération du potentiel évolutif (enjeux combinés ou antagonistes ?) qui nécessitent une réflexion plurielle : CTPS et CRGF doivent travailler de concert sur ces questions qui vont de la biologie à la réglementation.

3 - Mise en œuvre des mesures adaptatives : perceptions, réglementation, expérimentation

Dans un contexte de risque croissant, l'éventail des options possibles, y compris en terme de choix de MFR, risque de diminuer au moins à court terme. La priorité est alors d'éviter d'ajouter toute contrainte supplémentaire non justifiée : réglementation, écocertification... Les questions de jurisprudence et des perceptions sont également des facteurs déterminants pour l'acceptabilité, et donc la mise en œuvre, des mesures adaptatives.

Le rôle de la recherche et de la diffusion des connaissances sur les nouveaux enjeux d'adaptation est important.

4 - Conservation des RGF dans le contexte de changement climatique

Les méthodes de conservation des RGF ont été imaginées dans un contexte d'environnement stable qui ne va pas perdurer. Il faut donc réexaminer les stratégies mises en place dans ce nouveau cadre. Par ailleurs, la prise en compte des RGF dans les pratiques de gestion courante devient plus que jamais essentielle. Pour les unités de conservation en place, on peut s'attendre à trois types de problèmes : une fragmentation accrue, l'arrivée de nouveaux parasites et ravageurs (qu'on attend déjà comme le nématode du pin, menace majeure, ou qu'on ne soupçonne pas encore), un boulever-

sement des équilibres entre espèces. Les solutions peuvent être d'adapter la sylviculture pour favoriser l'évolution génétique, de revoir le positionnement des unités conservatoires, voire de les « déplacer ». Il faut explorer différentes pistes, aller vers des structures de conservation plus vastes et incluant une hétérogénéité de conditions climatiques (par exemple gradients altitudinaux).

En terme de recommandation d'utilisation des MFR, le discours ambiant qui donne la priorité au matériel local, supposé adapté, peut paraître paradoxal dans un contexte d'environnement changeant où l'environnement local ne sera plus celui dans lequel la ressource locale a évolué. Cela montre bien que la question des RGF doit être posée selon deux axes : l'adaptation, ou adéquation aux conditions/besoins actuels, et l'adaptabilité, ou capacité à évoluer vers une adaptation aux conditions/besoins futurs. Là encore, pour les MFR, il faut bien distinguer la sélection du matériel de base, actuellement réalisée sur des critères d'adaptation (pourra-t-on définir des critères d'adaptabilité?) et les règles d'utilisation.

Réponses de la CRGF aux questions des tables rondes

p r é a m b u l e

Pour organiser les tables rondes, la CRGF avait demandé aux intervenants d'envoyer à l'avance leurs propres questions sur le thème proposé. Le temps limité de la discussion en séance exigeait de faire des regroupements, des reformulations, voire un tri dans ces questions. Après le colloque, la CRGF a souhaité construire une réponse à chacune des questions telles qu'elles étaient strictement formulées au départ, sans reformulation, sans

sélection. Vous trouverez ici toutes les questions originales, simplement classées en trois ou quatre thématiques (n'ayant pas modifié leur formulation, il y a des redondances), ainsi que les réponses de la CRGF. Il s'agit bien des réponses de la CRGF, construites collectivement dans son champ de compétence, et non de l'expression des avis personnels de ses membres : cela explique que nous renvoyons parfois à des compléments de

réponses que pourraient apporter d'autres instances, comme par exemple la section Arbres Forestiers du Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS) avec qui la CRGF entretient des liens étroits.

Les réponses de la CRGF ont été synthétisées par Gérard Largier, François Lefèvre et Éric Collin pour la table ronde « biodiversité », par François Lefèvre et Éric Collin pour celle des « changements climatiques ».

Rôle des ressources génétiques forestières face aux enjeux de biodiversité

La diversité génétique dans les politiques publiques de la biodiversité

■ Comment faire prendre conscience de l'importance des ressources génétiques forestières (RGF) et de la diversité génétique pour une gestion adaptative des espaces forestiers, en particulier dans un contexte de changement global ?

Les gestionnaires d'espaces forestiers et les décideurs publics en matière de biodiversité n'ignorent pas la dimension infraspécifique de la biodiversité mais sont peu familiers des méthodes de conservation dynamique prônées par la CRGF. Pour faire prendre conscience de l'importance de gérer dynamiquement les ressources génétiques au delà de la simple préservation des habitats et des espèces, il faut agir tant au niveau de la formation initiale et continue que par des articles de sensibilisation dans des revues techniques lues par les gestionnaires. Il convient notamment de porter à leur connaissance les projets déjà conduits en partenariat entre la CRGF et des gestionnaires. Cette approche relève pleinement du volet sensibilisation de la SNB (stratégie nationale pour la

biodiversité) et de celui du PNACC (Plan National d'Adaptation au Changement Climatique).

■ Quels moyens mettre en œuvre si l'on veut connaître et suivre la diversité génétique effectivement déployée sur le terrain ?

À l'heure actuelle, aucun indicateur standardisé n'est disponible pour évaluer en routine la diversité génétique présente sur le terrain mais on s'achemine vers un protocole unique et une démarche coordonnée pour les Unités de Conservation Génétique sélectionnées à l'échelle paneuropéenne par le réseau EUFORGEN (Collin *et al.* 2012, Aravanopoulos *et al.* 2012). Cet indicateur ferait appel à des données démographiques (classes d'âge, fructification, faculté germinative des graines, abondance de la régénération) et à des paramètres génétiques estimés à l'aide de marqueurs moléculaires de l'ADN. Le suivi périodique de la diversité génétique de ces populations conservatoires serait réalisé à un pas de temps d'environ 10 ans. En forêt ordinaire, un protocole simplifié (sans analyses ADN) pourrait fournir, à moindre coût, des indications sur la qualité des processus évolutifs en cours sur le terrain.

L'extension des analyses ADN pourrait relever d'une démarche d'inventaire national du patrimoine génétique, dans le cadre de l'inventaire du patrimoine naturel prévu par la loi, à l'image de ce qui se fait pour les autres niveaux de la biodiversité (écosystèmes, espèces). Une telle démarche pourrait d'ores et déjà permettre de gérer de manière normalisée et porter à connaissance les données déjà rassemblées.

Au niveau national et européen, des indicateurs adoptés en 1994 permettent de suivre les efforts en matière de conservation des RGF (nombre d'Unités Conservatoires) et d'approvisionnement en Matériels Forestiers de Reproduction (nombre d'espèces règlementées, de Régions de Provenance, de peuplements sélectionnés, de vergers à graines). Des enquêtes annuelles sur les récoltes de graines et les ventes de plants sont également réalisées mais aucune statistique ne fournit d'informations spatialisées sur l'utilisation effective de ces MFR. Dans le cas des forêts relevant du Régime Forestier, il serait donc très utile qu'une base de données nationale permette de compiler l'information normalement recueillie dans le sommier de chaque forêt quant à l'origine génétique du

matériel planté. Il serait également nécessaire de favoriser la collecte d'informations standardisées sur les conditions de régénération naturelle (durée de la phase de régénération, nombre d'arbres semenciers, abondance de la floraison et de la fructification, abondance de la régénération). La seule information sur l'introduction de matériel exogène dans une parcelle est déjà intéressante. L'extension du dispositif aux forêts privées pourrait être proposée.

■ **Une place difficile à trouver à toutes les échelles (international, national, local) : comment faire évoluer le traitement de la diversité génétique dans les stratégies de conservation à ces différentes échelles, et en particulier au niveau communautaire ?**

Les décideurs et négociateurs à ces différents niveaux connaissent bien les problématiques de protection d'habitat et de conservation d'espèces mais peuvent être déroutés par la notion de « ressources génétiques », perçue comme propre au monde agricole et aux sélectionneurs. Il convient donc de mettre en exergue l'importance de la variation génétique intraspécifique (pour des caractères adaptatifs, la divergence entre deux populations de la même espèce peut être du même ordre de grandeur que la divergence entre deux espèces) et son rôle fonctionnel majeur dans les écosystèmes forestiers et de les informer sur la nécessité de recourir à des méthodes de conservation dynamique, notamment dans le contexte du changement climatique. Pour cela, on pourra s'appuyer sur les résolutions et les documents produits par Forest Europe et EUFORGEN et rappeler les effets positifs du soutien apporté par l'UE ou d'autres instances (ex. Plan Loire Grandeur Nature) à des projets de conservation de la biodiversité forestière intraspécifique.

Les réglementations sur la production et la commercialisation des essences forestières

■ **(Quelle cohérence avec la conservation des ressources génétiques forestières : comment faire évoluer la**

réglementation pour tenir compte des nouvelles questions qui se posent ?

La réglementation sur les Matériels Forestiers de Reproduction (MFR) conduit normalement les reboiseurs à utiliser globalement sur le territoire une large diversité de RGF. Des ajustements sont néanmoins souhaitables pour mieux répondre au changement climatique (cf. autre table ronde) et aux « nouveaux usages » de l'arbre, notamment pour les besoins de l'agroforesterie et du génie écologique. Certains ajustements peuvent être réalisés sans qu'il soit nécessaire de faire réellement « évoluer » la réglementation car celle-ci permet de modifier sensiblement les critères de sélection des peuplements porte-graines et les conseils d'utilisation des Régions de provenance. En revanche, l'utilisation d'hybrides naturels, potentiellement intéressants dans le contexte du changement climatique (Frascaria-Lacoste *et al.* 2011), nécessiterait que l'on assouplisse la notion de pureté spécifique des lots de graines et plants (ex : cas des chênaies hybrides entre chênes pubescent et sessile). Quant aux espèces actuellement non soumises à la réglementation, il est possible et relativement facile d'ajouter encore quelques espèces arborescentes (ex : pommier sauvage). En revanche, les espèces arbustives constituent une question entièrement nouvelle qu'il convient d'aborder globalement, éventuellement dans un cadre nouveau.

■ **Comment améliorer/développer la coordination entre pays européens (renvoie en partie à la 3^e question du thème 1) ?**

En matière de RGF, la coordination est déjà convenablement assurée à l'échelle paneuropéenne par le programme EUFORGEN, financé par les états partenaires. Le réseau EUFORGEN est même le premier à proposer un système d'information sur les dispositifs de conservation dynamique de ressources génétiques à une échelle continentale (<http://www.eufgis.org/> ; Koskela *et al.*, 2012 ; Lefèvre *et al.*, 2012). À l'inverse, le financement d'actions concrètes fait défaut à cette échelle. L'Union Européenne, qui soutient des programmes de recherche sur les RGF, dispose de peu d'outils pour

co-financer des projets de conservation. Le programme 'AgriGenRes' en est un, mais sa dotation très faible doit absolument être augmentée pour que des projets forestiers soient soutenus, comme l'avait été le projet EUFGIS qui a permis la création de la base de données du même nom. À une échelle moins large, des actions peuvent éventuellement bénéficier de financements LIFE ou Interreg mais en moindre cohérence avec la stratégie paneuropéenne d'EUFORGEN. Il importe donc que l'Union Européenne se dote d'instruments de financement capables d'agir en synergie plus étroite avec EUFORGEN.

■ **Comment les traités internationaux Nagoya and Co vont-ils impacter nos pratiques nationales de conservation ?** C'est une question à laquelle il est difficile de répondre en détail car plusieurs règles pourront se télescoper à l'avenir. Dans le cas général des ressources génétiques végétales, le CIRAD, l'INRA et l'IRD ont édité à ce propos un vade-mecum intitulé « Lignes directrices pour l'accès aux ressources génétiques et leur transfert »¹ pour guider chercheurs et gestionnaires de ressources génétiques dans leurs démarches. Dans le cas spécifique des RGF, il y a là un sujet pour une étude approfondie. Les RGF n'étant pas dans la liste du Traité International sur les Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture de la FAO, les procédures d'Accès et de Partage des Avantages (APA) reposent sur les principes de la Convention sur la Biodiversité (CBD) et en particulier le protocole de Nagoya... qui entrera en vigueur quand 50 états l'auront ratifié et devra alors être inscrit dans les législations nationales. Le principe des APA est la souveraineté des États sur leurs ressources naturelles, y compris les ressources génétiques, ce qui ne veut pas dire propriété : chaque État souverain a la responsabilité de réguler l'accès aux RG présentes sur son territoire dans une optique de contrôle et de valorisation. Seraient concernés l'accès et le transfert des RG collectées ou acquises après Décembre 1993, date d'entrée en vigueur de la CBD. Les modalités de mise en œuvre pour les RGF restent à déterminer.

¹Disponible sur internet et destiné à être régulièrement mis à jour : <http://www.cirad.fr/publications-ressources/editions/etudes-et-documents/lignes-directrices-pour-l-acces-aux-ressources-genetiques-et-leur-transfert>

Gestion et diversité génétique

■ Comment passer de la prise de conscience des gestionnaires forestiers à l'action ?

Les directives et documents-cadres (Plan d'Action « Forêt » de la Stratégie Nationale Biodiversité, Directives Régionales d'Aménagement, notes de service ONF, ...) sont en place et les gestionnaires forestiers sont ouverts à l'idée de conserver les ressources génétiques mais celle-ci ne se traduit pas encore très concrètement dans les plans de gestion. Le surcoût d'une gestion plus fine de la régénération (naturelle ou artificielle) explique en partie cette situation, de même que des raisons purement techniques (ex : charte de qualité et de diversité génétique des graines et plants forestiers pas encore mise en place). Un effet d'entraînement pourra probablement se développer si l'exemple de chantiers-pilotes est diffusé dans des revues techniques.

■ Comment développer l'intérêt réciproque des chercheurs et gestionnaires ?

Sur les questions générales de biodiversité, renforcer le lien entre la recherche et les autres secteurs de la société est l'un des objectifs forts de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB). Cette fondation est guidée par deux conseils, un Conseil Scientifique et un Conseil d'Orientation Stratégique, où tous les acteurs concernés par les RGF peuvent faire porter leur voix (des membres de la CRGF sont présents dans chacun de ces conseils).

Sur le terrain, des chantiers-pilotes pourraient montrer comment une attention plus grande à la conservation dynamique des RGF répond aux souhaits des chercheurs et aux intérêts des gestionnaires, notamment en termes de résilience et de capacité d'adaptation des peuplements aux effets du changement climatique. Le lien entre diversité génétique et diversité spécifique peut aussi être évoqué à partir d'exemples issus de publications scientifiques.

Le rôle de relai assuré par les structures compétentes (réseau Mixte Technologique

AFORCE, ONF, groupes de travail IDF, FNE) est également essentiel et peut être renforcé dans la limite des capacités de la CRGF à participer à des journées techniques, colloques et rédaction de plaquettes.

■ Comment mieux valoriser la complémentarité entre politique de conservation des RG et les autres programmes de protection de la biodiversité, à l'échelle des espèces, des écosystèmes et des infrastructures écologiques ?

C'est une question essentielle, qui comporte deux exigences. La première est d'enclencher un processus permettant d'officialiser le rôle de conservation de RGF déjà assuré pratiquement dans de nombreux espaces dédiés à la protection des espèces et habitats. Concrètement, ceci pourrait simplement consister en l'ajout d'un objectif explicitement défini dans les documents de gestion de ces espaces et celui d'une nouvelle Unité Conservatoire dans les bases de données de la CRGF et d'EUFORGEN. La seconde exigence, plus délicate à mettre en œuvre, nécessite de trouver une méthode pour gérer les conflits d'objectifs entre protection stricte des espaces et conservation dynamique des ressources génétiques d'une espèce d'arbre particulière. Ces conflits sont particulièrement aigus dans le cas de populations en limite d'aire, où elles ne subsistent parfois que dans des espaces protégés n'autorisant aucune intervention sylvicole en leur faveur, même quand les processus naturels de compétition dans la dynamique écologique pourraient conduire à leur éradication, notamment dans un contexte climatique nouveau. Ils se posent également lors de la transformation d'une Réserve Biologique Dirigée en Réserve Biologique Intégrale dans le périmètre d'une Unité Conservatoire précédemment établie.

La CRGF proposera aux gestionnaires d'espaces protégés contenant des RGF non conservées par ailleurs (ex : cas d'espèces hors réseaux CRGF) de s'engager à conserver ces ressources en signant une charte pour la Gestion d'Unités Conservatoires de RGF co-rédigée

par les gestionnaires concernés et la CRGF. Sauf cas particuliers (RBI, cœurs de parcs...), cet engagement pourra être pris sans risque de conflit d'objectifs. En situation de conflit théorique, il conviendra d'examiner si la dynamique écologique présente sur le terrain est compatible avec la conservation dynamique de RGF (ex : fonctionnement en métapopulations).

■ Vers une certification de la gestion des forêts prenant en compte la gestion des RG ? Si oui, qui fait quoi et comment ?

Il faudrait que l'écocertification prenne en considération le respect de deux chartes qui restent à finaliser. Dans le cas de plantations, il s'agit de la «Charte de qualité et de diversité génétique des graines et plants» dont l'idée avait été émise lors des Assises de la Forêt en novembre 2007 et qui est désormais portée par la filière graines et plants. Plusieurs réunions techniques ont déjà permis d'en définir les grandes lignes (nombre minimum de semenciers à récolter par type de peuplement, promotion de la vente de plants en planche plutôt que par catégories de hauteur). Pour la régénération naturelle, il serait nécessaire que les représentants des sylviculteurs privés et publics puissent, avec l'aide de généticiens forestiers, convenir d'une «Charte des pratiques favorables à la diversité génétique en régénération naturelle» donnant des recommandations générales en termes de nombre de semenciers, durée de la phase de régénération, densité minimale de semis. Cette seconde charte n'a pas encore été mise en chantier. Enfin, il reste à convaincre les organismes certificateurs que la conservation de la diversité génétique est une composante majeure de la gestion durable des forêts.

La CRGF apportera sa contribution pour la mise au point des chartes mais ne peut prendre en charge le travail de coordination restant à accomplir et dont l'organisation ne peut être définie que par les instances représentant respectivement le ministère de l'agriculture et de la forêt et les professionnels concernés.

Rôle des RGF face aux enjeux d'adaptation au changement climatique

À quel moment décider de changer d'espèce ou de provenance ?

■ Y a-t-il dans un peuplement des critères visuels (morphologiques, phénologiques...) liés à la résistance au stress hydrique qui puissent être repérés par le sylviculteur au cours des martelages ?

Il faut bien distinguer impact et vulnérabilité : la question de la vulnérabilité pose celle de l'anticipation, avant même que des impacts ne soient avérés. La définition de tels critères sort du strict domaine de compétence de la CRGF. Des projets de recherche récents, faisant notamment appel à l'écophysiologie et à la modélisation, apportent des éléments de réponse (ANR CLIMATOR, ANR DRYADE). Voir aussi le *Guide de gestion des forêts en crise sanitaire* (Gauquelin et al., 2001). Sur le plan génétique, l'idée d'éliminer les sujets vulnérables est bonne, cela ne fait qu'accélérer un processus annoncé. Mais il y a une autre question non posée ici : quels critères de vulnérabilité du peuplement (phénologie, dépérissements, reproduction..) ?

■ Sur un plan plus recherche, où en est la traque du gène de résistance au stress hydrique ?

Ce gène n'existe pas c'est un mythe ! La résistance au stress hydrique peut prendre diverses formes, différentes combinaisons de caractéristiques morphologiques et physiologiques, la valeur de chacune de ces caractéristiques étant elle-même déterminée par un très grand nombre de gènes polymorphes. La résistance au stress hydrique peut ainsi être obtenue avec un très grand nombre de combinaisons génétiques différentes. Cette diversité même des « solutions génétiques » possibles pour répondre au problème de la sécheresse, ou à toute autre question d'adaptation, est importante à préserver car elle garantit les potentialités d'évolutions futures sur le long terme. Il existe probablement, dans certains peuplements de certaines espèces, des gènes dits « majeurs » ayant

un effet plus fort que les autres, mais tout miser sur un seul de ces gènes, une seule de ces solutions, serait un pari risqué pour l'avenir. Les recherches sur les gènes impliqués dans la résistance à la sécheresse ont deux objectifs principaux : (1) mieux comprendre l'ampleur et l'organisation de la diversité génétique entre les individus, entre les peuplements, afin de prédire la valeur des graines à venir, voire de sélectionner plus efficacement les gènes des programmes d'amélioration, (2) mieux comprendre les mécanismes d'évolution de l'adaptation au fil des générations afin d'évaluer le potentiel évolutif des peuplements et de raisonner sur le plan de la diversité génétique les mesures adaptatives qui s'imposent

■ Doit-on vraiment (comme l'indique le 4 pages de la CRGF) attendre des dépérissements avérés pour changer de matériel végétal (sachant ce que cela peut impliquer s'ils sont massifs) ? C'est l'une des questions les plus délicates qui se posent actuellement aux forestiers. Certains disent que les zones de montagne fourniront l'opportunité d'observer les premiers signes de dépérissements à certaines altitudes permettant d'anticiper les changements à venir, ce qui ne sera pas le cas en plaine. Il faut surtout éviter les décisions hâtives : le partage de connaissances et d'expériences entre chercheurs et gestionnaires au sein du Réseau Mixte Technologique (RMT) AFORCE doit permettre d'élaborer une démarche raisonnée. Une difficulté est d'estimer si un dépérissement partiel peut se stabiliser ou si c'est le signe d'une mortalité massive à venir. L'expérience de l'épisode 2003 suggère que l'on a deux situations : (1) dépérissements massifs et continus sans signe de récupération depuis 9 ans (chênes) ou (2) dépérissements partiels avec des signes de stabilisation (sapins dans certains massifs ?). Si on décide de changer d'essence objectif en ayant recours à la plantation, alors bien suivre la recommandation du document de la CRGF d'utiliser une large base génétique du nouveau matériel choisi.

■ Comment utiliser des projections climatiques et les incertitudes associées pour identifier les cas où une telle substitution doit être engagée ?

Une carte est le résumé visuel et géoréférencé d'une information, on parle ici de carte de projection de scénarios futurs. Ce n'est pas l'image qui importe mais l'information qu'elle porte. Les cartes produites par la recherche sont en pleine évolution et, pour éviter tout risque de malentendu entre chercheurs et gestionnaires, le discours doit porter sur l'information portée plutôt que sur l'image cartographique. Il y a un risque d'utiliser à mauvais escient une « image-carte » dont on ne connaît pas bien l'information contenue. Les projections de scénarios futurs sont toujours le résultat de modèles.

Les cartes les plus élémentaires sont strictement basées sur un modèle purement statistique : elles reposent sur l'hypothèse que l'aire de répartition actuellement réalisée d'une espèce définit les contours de son enveloppe bioclimatique potentielle (ce qui est une hypothèse lourde), et les projections futures sont données de façon statique sans notion de dynamique. Ces cartes ne reflètent finalement que les scénarios climatiques illustrés au travers d'indicateurs biologiques, elles peuvent être utilisées pour organiser la surveillance : par choix de zones et d'essences à surveiller prioritairement.

Un deuxième type de cartes est obtenu à partir de modèles statistiques et fonctionnels qui tiennent compte de la variabilité fonctionnelle connue des espèces, voire de la plasticité connue des fonctions physiologiques en réponse aux variations climatiques ; les projections futures sont là aussi données de façon statique. Pour appuyer valablement la décision sur l'aire d'utilisation « à court terme » (plantations renouvelées, sans régénération naturelle ultérieure) d'une source de graines donnée, il faut utiliser une approche dérivée de ce deuxième type avec autant de cartes que de sources de graines envisagées. Un troisième type de cartes commence seulement à émerger, prenant en compte les processus dynamiques. Leur ambition

est d'intégrer non seulement la variabilité connue des fonctions physiologiques et de leurs plasticités mais aussi les processus d'évolution génétique (migration, sélection, dérive) ; dans ce cas, les projections futures commencent à être dynamiques et intègrent une vitesse d'évolution. Actuellement, les modèles d'évolution génétique utilisés intègrent essentiellement la réponse à une tendance climatique et pas ou peu la réponse aux aléas interannuels. Enfin il n'existe pas à notre connaissance de cartes issues de modèles dynamiques intégrant les interactions biotiques entre de multiples espèces d'arbres et leurs cortèges de symbiotes et bio-agresseurs. Les approches dynamiques sont indispensables pour évaluer l'évolution future des aires de distribution, ou pour appuyer la décision sur l'aire d'utilisation « à long terme » (laissant place à la régénération naturelle post-transfert) des essences.

La génétique peut-elle offrir de nouvelles solutions en termes d'adaptation au changement climatique ?

■ **Comment résoudre la contradiction entre les conseils sylvicoles édictés (par exemple dans la plaquette CRGF) pour augmenter la diversité génétique (accroissement des densités de plantation, de semis, de semenciers, augmenter la longueur des phases de régénération) et ceux donnés pour diminuer les risques de stress hydrique, de chablis, d'attaques phytosanitaires (diminuer les densités à tous les stades et les révolutions) ?** Il n'y a pas de contradiction de fond, il faut revenir aux objectifs visés par ces recommandations, et le forestier est bien là face à son métier qui est de concilier des objectifs. Du point de vue fonctionnel, l'enjeu est de diminuer la transpiration, diminuer les risques de chablis ou les risques phytosanitaires. Il faudra d'ailleurs aussi par endroits se préoccuper du risque incendies en lien avec la structure verticale du combustible. Du point de vue de la génétique, les enjeux sont de conserver la diversité génétique lors de la phase de régénération (nombre de semenciers et durée de

la phase de régénération) et de laisser jouer la sélection naturelle (dont l'essentiel survient aux tout jeunes stades) : ce sont donc les phases les plus juvéniles et les plus avancées du cycle qui sont essentielles, laissant une grande latitude pour la majeure partie de la vie du peuplement. Pour une revue exhaustive des travaux de recherche permettant d'aborder la question de l'impact de la sylviculture sur les ressources génétiques, nous renvoyons au Dossier Forestier de l'ONF n°21 « Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers » (Valadon 2009).

■ **Que dire aujourd'hui de l'épigénétique : peut-il y avoir, et dans quelle mesure, adaptation du patrimoine génétique (d'une espèce, d'individus) sous la pression du milieu (stress hydrique par exemple), en une génération, avec transmission à la génération suivante ?**

C'est une question actuellement abordée par la recherche. L'épigénétique est une modification héréditairement transmissible de l'expression des gènes. Son importance chez les arbres forestiers reste à évaluer sur différentes espèces et différentes situations environnementales, mais ce mécanisme pourrait être impliqué dans l'adaptation de provenances transplantées hors de leur enveloppe bioclimatique d'origine. Sans aller jusqu'à l'épigénétique, deux notions fondamentales doivent aussi être considérées : l'acclimatation, qui peut sans doute expliquer une partie de l'antagonisme parfois observé entre vigueur et résistance au stress, et les effets maternels, qui font que l'état physiologique de l'arbre mère influence la qualité des graines et par là même la performance au stade jeune des semis.

■ **Opportunités et risques de planter du matériel végétal sélectionné ?** C'est une question très vaste qui appelle des réponses au cas par cas. Sur la question même du fait de planter comparativement à la régénération naturelle, nous renvoyons au document de 4 pages de la CRGF. Il n'y a pas de « bonne » ni de « mauvaise » option, le choix résulte d'autres considérations plus générales sur la gestion de la forêt. En revanche,

sur le plan génétique, l'une et l'autre option ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients et nécessitent différentes attentions. Sur la question du choix du matériel sélectionné à utiliser en plantation, la section Arbres Forestiers du CTPS est à même d'apporter la réponse la plus appropriée.

■ **Opportunités et risques d'utiliser la dynamique de la végétation et le cortège des essences locales ?** Voir réponse à la question précédente.

■ **Dans les cas de substitution d'espèces ou de provenances : comment détecter, organiser et mettre à disposition les ressources génétiques qui seront utilisées pour ces transferts ?**

C'est effectivement un problème majeur d'organisation de l'anticipation pour toute la filière : comment se préparer à la mise à disposition d'une grande palette de MFR candidats futurs potentiels mais dont on n'utilisera peut-être qu'une partie ? Ici encore, le meilleur cercle de réflexion est la section Arbres Forestiers du CTPS. De façon plus générale, il y a un défi économique et un défi d'organisation pour l'ensemble de la filière : une bonne gestion des risques demande d'élargir la gamme de MFR proposés aux sylviculteurs et de rééquilibrer les quantités utilisées entre les différents MFR.

■ **Quelle peut être la place de l'hybridation et des hybrides, inter- ou intra-spécifiques, dans la stratégie d'adaptation au changement climatique (frênes, chênes, sapins...) ?** Cette question est l'objet de recherches en cours, il est clair que le contexte de changement climatique peut changer la donne : en favorisant ou défavorisant la survenue de l'hybridation (changement du contexte de proximité des espèces, changement des décalages phénologiques), en modifiant la performance adaptative (face aux contraintes abiotiques et aux évolutions du cortège parasite) des formes hybrides spontanées ou volontairement créées. Le raisonnement devra se faire en terme de complexes d'espèces (espèces proches susceptibles de se croiser naturellement).

Pour aborder ces questions, la création de nouveaux hybrides expérimentaux demande beaucoup de temps. Il faut donc développer les observations dans des sites ou dispositifs où ces hybrides sont connus : suivi du taux d'hybridation ou d'introgression, suivi de la performance des hybrides.

■ **Opportunités et risques d'introduire des espèces qui puissent s'hybrider avec les espèces natives : favoriser, contrarier, laisser faire ?**
Cette question est liée à la précédente. La question doit être abordée au cas par cas, localement. De façon générale, comme indiqué dans le document de 4 pages de la CRGF, la question se pose en terme de balance bénéfiques / risques. Le risque génétique est d'autant plus fort que la ressource locale est réduite et la ressource introduite est massive, que la base génétique de la ressource introduite est faible. Au-delà, il y a aussi un risque de déstabilisation du fonctionnement global de l'écosystème à ne pas négliger (formes invasives, introduction collatérale de parasites, modification des communautés associées...).

■ **Quelle place pour des ressources génétique forestières nouvelles, soit d'essences exotiques nouvelles ou encore peu utilisées comme les sapins méditerranéens, soit d'essences déjà utilisées comme le douglas pour lequel il faut peut-être repenser les critères de sélection et les régions de provenance prospectées ?**
Ce genre d'étude prospective est en cours, notamment dans le cadre du RMT AFORCE. Il n'y a pas de raison de changer les positions de principe *a priori* (qui relèvent d'autres considérations plus générales sur les choix de gestion), en revanche le choix des critères d'évaluation du matériel doit intégrer non seulement l'adaptation aux conditions actuelles mais aussi en plus l'adaptabilité à des conditions futures incertaines (voir document de 4 pages de la CRGF).

■ **Comment introduire concrètement des « gènes de résistance à la sécheresse » dans des peuplements de grands crus ?**

La question de « l'enrichissement génétique » est importante, délicate philosophiquement, complexe et non résolue. Les recherches mériteraient d'être plus développées sur le sujet. On peut réfléchir par simulation sur la base de modèles théoriques (avec leurs limites), à confronter aux données issues d'observation dans des situations de transfert bien documentées au niveau des origines utilisées... Ce qui est très rare et permet de souligner à nouveau l'importance cruciale d'une traçabilité précise de tous les actes de gestion afin de pouvoir réaliser de tels retours d'expériences. Mais, ici encore, nous n'aurons pas le temps d'expérimenter avant de prendre les décisions.

■ **Opportunités et risques pour les espèces récemment acclimatées : régénérer naturellement ou faire évoluer leur base génétique en replantant ?**
Effectivement, la question mérite d'être posée. La réponse devra être ajustée au cas par cas, au moins trois options sont envisageables : faire de la régénération naturelle en favorisant les processus évolutifs, mettre en place des vergers à graines locaux à partir d'individus adaptés localement, ou continuer d'introduire régulièrement des graines en faisant évoluer au besoin les origines. Les deux premières options ne sont envisageables que si la diversité génétique locale actuelle est importante. La deuxième et la troisième option sont également inscrites dans le cadre de la section Arbres Forestiers du CTPS.

■ **Selon quelles modalités pratiques mettre en œuvre les options précédentes pour qu'elles soient économiquement faisables, aussi réversibles que possible et qu'elles induisent des bénéfices en termes de capacité adaptative et de biodiversité ?**
Cette question serait à traiter par des économistes, en lien avec la CRGF et le CTPS.

■ **Comment combiner ces différentes options sur le territoire ?**
Vaste question qui mériterait sans doute tout un colloque ! Comme dans le cas de la question précédente sur les diverses recommandations en terme de

sylviculture, le décideur forestier devra rassembler les points de vues de divers spécialistes pour tenter de les concilier. S'ajoute aussi une question de gestion des risques à l'échelle du territoire. Du point de vue des ressources génétiques, la question se décline en termes d'adaptation locale, flux de gènes dans le paysage, expansion de risques parasitaires sévères émergents...

Faut-il choisir différemment plants et provenances ?

■ **Faut-il maintenir le principe de priorité aux régions de provenances locales ou permettre (voire organiser) le transfert de provenances du sud vers le nord ?**
En effet, la ressource locale ne sera pas toujours à préconiser systématiquement et il faudra probablement repenser l'aire d'utilisation des matériels forestiers de reproduction (MFR) avec plus de flexibilité. Cela devra être raisonné au cas par cas, selon les essences et selon les sites : le défi aujourd'hui est de réaliser des bilans actualisés des performances des MFR sur leurs sites d'utilisation et sites d'expérimentation. Des recherches sont en cours. Le RMT AFORCE principalement, le CTPS et la CRGF peuvent contribuer à dresser le bilan des connaissances sur ce point. La réglementation sur les MFR est avant tout un outil de traçabilité de l'origine génétique du matériel végétal. Elle constitue également le support de recommandations pour l'utilisation de ce matériel mais il s'agit d'un support intégrant de larges possibilités d'ajustement pour répondre à de nouveaux besoins, notamment en termes d'adaptation au changement climatique. Il faut espérer que, dans le cadre des aides à l'investissement, des moyens soient dégagés pour l'adaptation des forêts au changement climatique.

■ **Faut-il augmenter la diversité génétique des lots de plants fournis par les pépiniéristes (mélange de planches, de provenances...) au détriment de l'homogénéité de taille des lots, et est-ce possible ?**
La diversité génétique effectivement

utilisée sur le terrain est importante pour deux raisons : (1) c'est une assurance de réduction des risques face aux incertitudes, (2) c'est ce qui déterminera le potentiel d'évolution future en régénération naturelle. Mais cette diversité peut se gérer différemment selon les cas. Par exemple, pour la peupleraie, le point (2) n'est pas à considérer du fait de la replantation systématique et l'alternative se pose alors comme suit : pour assurer l'existence d'une diversité génétique des clones utilisés à l'échelle d'un territoire, faut-il avoir une mosaïque de peupleraies monoclonales diversifiées ou mélanger les clones au sein de chaque parcelle ? Le choix entre ces deux options se fera en déterminant qui supporte les risques, et la première option reste parfaitement envisageable d'autant plus qu'elle permet de produire un bois de qualité de façon intensive donc sur un temps court. Concernant les plantations de matériels de type provenances, les préconisations en terme de mélange de peuplements classés au sein des régions de provenance prennent toute leur importance. Pour aller dans ce sens, la CRGF a suggéré l'idée d'une charte de qualité et diversité des lots de graines et plants. Cette idée, émise lors des Assises de la Forêt en novembre 2007, est désormais portée par la filière graines et plants. Plusieurs réunions techniques ont déjà permis d'en définir les grandes lignes (nombre de semenciers à récolter par type de peuplement, promotion de la vente de plants en planche plutôt que par catégories de hauteur). Il faut noter que diversité génétique ne signifie pas systématiquement hétérogénéité supérieure des lots de plants, notamment quand il s'agit de mélange de peuplements classés de la même région de provenance. Comme indiqué dans le document de 4 pages de la CRGF, la traçabilité de l'utilisation des MFR sera un enjeu majeur pour tirer les leçons des aléas climatiques : pour ce faire, il est essentiel que les lots de plants fournis par les pépiniéristes restent bien caractérisés au niveau du matériel forestier de reproduction (la région de provenance par exemple), charge au sylviculteur de décider s'il veut gérer les incertitudes en

augmentant la variabilité par exemple par des mélanges de MFR.

■ **Dans les (nouveaux) vergers à graines, envisage-t-on de modifier la stratégie d'éclaircies génétiques pour augmenter la diversité (au détriment évident de la croissance) ?**

C'est une question qui mérite d'être réfléchi au sein du CTPS. Comme indiqué pour la réponse précédente, la diversité n'est pas uniquement à raisonner au sein de chaque variété individuellement, mais bien au sein de l'utilisation effective sur le terrain des différentes variétés.

■ **Selon quelles priorités peut-on expérimenter, dès maintenant, sur ces options ?**

Il serait essentiel de mettre rapidement en place des plantations mélangeant des origines génétiques très différenciées, avec différentes modalités de mélange. Mais ces expérimentations nécessiteront, un suivi régulier à long terme.

■ **Sachant que les changements d'essences vont être visibles et parfois clivants, comment faciliter la recherche de terrains d'entente sur les représentations socioculturelles correspondantes ?**

Question fondamentale, à poser aux spécialistes des sciences de la décision.

■ **Y a-t-il des conceptions sur la biodiversité qui contrarient une bonne gestion des RGF ?**

Dans le contexte du changement climatique, avec de nombreuses incertitudes, les RGF doivent être raisonnées et gérées de façon dynamique. Les conceptions qui tendent à figer la biodiversité sur le long terme ne correspondent pas à cette conception dynamique. Ainsi, la CRGF préconise que les méthodes de conservation *ex situ* des ressources génétiques, qui permettent la sauvegarde et la mobilisation rapide des ressources, soient réfléchies dans une perspective dynamique (renouvellement et évolution des collections). En terme de conservation *in situ*, les systèmes de protection d'espaces naturels qui interdisent systématiquement toute intervention (par exemple pour le soutien de la régé-

neration) ne permettent de conserver efficacement que les ressources génétiques qui maintiennent une dynamique spontanée dans de telles conditions.

■ **Comment faire une réglementation [et une jurisprudence] qui évite les mauvaises pratiques mais favorise l'expérimentation ?**

Question fondamentale, à poser aux spécialistes des sciences de la décision.

■ **Comment l'écocertification peut-elle faciliter la bonne gestion des RGF ?**

Si cela n'est pas encore à l'étude, c'est une piste majeure pour une étude interdisciplinaire. On peut rappeler que la réglementation actuelle traite uniquement de la commercialisation mais pas de l'utilisation en plantation, qui est pourtant déterminante pour l'adaptation des forêts au changement climatique. Cela donne plus d'importance à la certification comme outil de régulation de la diversité génétique effectivement utilisée et distribuée sur le territoire.

Les réseaux conservatoires : sentinelles et avant-garde

■ **Dans les réseaux de conservation des RGF : comment détecter les phases critiques (durée de survie des UC) ?**

C'est une question d'actualité, non seulement pour la CRGF mais beaucoup plus largement pour l'ensemble des pays impliqués dans le programme EUFORGEN. Clairement, les phases de reproduction et de régénération (où se concentrent les changements démographiques les plus importants) sont prépondérantes. Mais nous n'avons pas encore de critères et indicateurs opérationnels standardisés au niveau paneuropéen. Un premier bilan des connaissances a été réalisé par l'ONF (Dossier Forestier de l'ONF n° 21, Valadon 2009). Ces connaissances doivent encore être synthétisées, puis confrontées à des modèles couplant processus démographiques et génétiques et permettant de simuler divers scénarios. Au-delà des risques de dépérissements rapidement visibles, un risque majeur plus discret est à surveiller au niveau de la fécondité et de la qualité des graines.

■ Doit-on organiser le sauvetage à grande échelle de patrimoines génétiques de provenances ou d'écotypes sudistes (pin sylvestre, hêtre, sapin...) menacés de disparition et qu'il pourrait être utile d'introduire plus au nord ?

Dans notre conception dynamique, les ressources génétiques sont des arbres ou des peuplements, c'est-à-dire des assemblages de gènes, qui évoluent au travers du filtre de l'environnement dans lequel ils se trouvent. Vouloir sauver une ressource génétique c'est vouloir préserver une combinaison de gènes intéressante (pour éviter de reconstruire cette combinaison par croisement). Si on déplace cette ressource génétique dans un autre environnement on change le filtre, et donc les conditions de son évolution. On peut alors distinguer trois objectifs différents vis-à-vis d'une ressource génétique en difficulté ou vulnérable. Le premier objectif est sa sauvegarde proprement dite : on cherchera alors à en faire une réplique dans un site sensiblement équivalent sur le plan écologique où les conditions d'évolution sont maintenues. Le second objectif peut être de valoriser cette ressource pour enrichir une autre zone où elle peut être intéressante (par exemple la planter plus au nord). Enfin, le troisième point de vue consiste à considérer que la ressource génétique, déjà adaptée à des conditions intéressantes, peut être une source initiale intéressante pour rechercher une adaptation encore plus forte (par exemple, on pourra chercher à planter encore plus au sud pour sélectionner des résistances plus fortes)

■ Opportunités et risques de transférer des provenances vers des stations plus septentrionales ?

C'est une question à étudier au cas par cas, en s'appuyant sur la connaissance fine du fonctionnement physiologique de chaque espèce plutôt que sur de simples modèles statistiques. On peut aussi utiliser des unités de conservation des ressources génétiques septentrionales comme « sentinelles ».

Références bibliographiques

Pour la table ronde « biodiversité »

Aravanopoulos F., Tollefsrud M., Kätzel R., Soto de Viana A., Graudal L., Nagy L., Koskela J., Bozzano M., Pilipovic A., Zhelev P., 2012. Development of genetic monitoring methods for genetic conservation units of forest trees. Report to the Steering Committee. EUFORGEN.

Collin E., Lefevre F., Oddou-Muratorio S. 2012. Indicateurs de la diversité intra-spécifique chez les arbres forestiers. In : Nivet C., Bonhème I., Peyron J.L. Les indicateurs de biodiversité forestière : Synthèse des réflexions issues du programme de recherche «Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques». Paris : Gip Ecofor, MEDDE, pp. 79-81

Frascaria-Lacoste N., Henry A., Gérard P.R., Bertolino P., Collin E., Fernandez Manjarrés J., 2011. Should forest restoration with natural hybrids be allowed? Restoration Ecology, vol. 19 (6) pp. 701-704

Koskela J., Lefèvre F., Schüller S., Kraigher H., Olrik D.C., Hubert J., Longauer R., Bozzano M., Yrjänä L., Alizoti P., Rotach P., Vietto L., Bordács S., Myking T., Eysteinson T., Souvannavong O., Fady B., De Cuyper B., Heinze B., von Wühlisch G., Ducousso A., Ditlevsen B., 2012. Translating conservation genetics into management : pan-European minimum requirements for dynamic conservation units of forest tree genetic diversity. Biological Conservation, sous presse DOI 10.1016/j.biocon.2012.07.023.

Lefèvre F., Koskela J., Hubert J., Kraigher H., Longauer R., Olrik D.C., Schüller S., Bozzano M., Alizoti P., Bakys R., Baldwin C., Ballian D., Black-Samuelsson S., Bednarova D., Bordács S., Collin E., De Cuyper B., de Vries S.M.G., Eysteinson T., Frydl J., haverkamp M., Ivankovic M., Konrad H., Koziol C., Maaten T., Notivol Paino E., Öztürk H., Pandeva I.D., Parnuta G., Pilipovi A, Postolache

D., Ryan C., Steffenrem A., Varela M.C., Vessella F., Volosyanchuk R.T., Westergren M., Wolter F., Yrjänä L., Zari a I., 2012. Dynamic Conservation of Forest Genetic Resources in 33 European Countries. Conservation Biology, sous presse

Pour la table ronde « adaptation au changement climatique »

CRGF, 2008. Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique. MAAPRAT, Paris, 4p.



< en ligne <http://agriculture.gouv.fr/conservation-des-ressources> >

Gauquelin X. (coord.), 2011. Guide de gestion des forêts en crise sanitaire. Paris : ONF/IDF. 96 p.

Valadon A., 2009. Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers : Analyse bibliographique. Les Dossiers Forestiers de l'ONF, n°21, 157 p.

La CRGF : regard sur 20 ans d'action et nouveaux enjeux de biodiversité et d'adaptation au changement climatique

Clôture de l'événement par Éric Allain, Directeur Général des Politiques agricole, agroalimentaire et des territoires

Chers amis,

Laissez-moi d'abord vous dire le plaisir que j'ai d'être parmi vous aujourd'hui. Après 20 années de réalisations de la Commission des Ressources Génétiques Forestières (CRGF), il apparaît clairement que le ministère de l'agriculture a eu raison de s'engager avec vous dans cette aventure et qu'il faut la poursuivre. Les réalisations présentées aujourd'hui sont éloquentes et justifient amplement d'inscrire dans la durée cette politique portée par le ministère de l'agriculture et la communauté forestière nationale.

Je tiens à remercier :

- l'institut FCBA, qui nous a accueillis,
- l'équipe organisatrice, en particulier le Président de la CRGF, François Lefèvre, le Secrétaire de la CRGF, Éric Collin, la responsable du Conservatoire génétique des arbres forestiers de l'ONF, Brigitte Musch,
- bien sûr l'ensemble des membres anciens et actuels de la CRGF,
- les intervenants qui ont présenté aujourd'hui leurs travaux et débattu devant vous, ainsi que tous ceux qui de près ou de loin ont permis la tenue de ce colloque.

Reportons-nous quelque 20 ans en arrière pour rappeler que la France a organisé la première conférence ministérielle paneuropéenne pour la protection des forêts à Strasbourg, en 1990 et qu'à cette occasion, la 2^e résolution prise par les États européens a porté sur la mise en place de politiques nationales de conservation

des ressources génétiques forestières. L'élan qui a été donné en 1990 à Strasbourg a été rapidement traduit dans les actes, puisqu'une circulaire visionnaire, adoptée par le ministère de l'agriculture en 1991, créait la CRGF et posait les bases de la politique nationale de conservation des ressources génétiques forestières (RGF). Ces bases se sont avérées si solides qu'elles soutiennent aujourd'hui encore un édifice qui prend chaque année de l'ampleur. Il faut dire que ces actions ont un caractère stratégique essentiel face aux conséquences du changement climatique et à la nécessité de préserver la diversité biologique.

Je soulignerai que le dispositif de conservation des RGF nationales s'inscrit au cœur d'une stratégie ministérielle couvrant les quatre volets de la problématique RGF : l'inventaire, la conservation, la sélection et l'utilisation des RGF.

■ **L'inventaire** des RGF concerne la métropole et l'outre-mer. Les connaissances dont nous disposons sont encore infimes à l'échelle du génome des arbres forestiers. Il est pour nous essentiel de mener de front les activités d'inventaire (prospection et caractérisation de la diversité génétique des arbres), parallèlement à l'activité de conservation. Les résultats de la recherche sont attendus avec impatience, afin de nourrir notre politique publique et mieux connaître les liens entre diversité génétique et capacité d'adaptation des arbres aux variations climatiques. Outre-mer, les besoins de caractérisation demeurent



considérables, en particulier en Guyane, où toutes les espèces d'arbres ne sont pas encore connues. Aux 75 espèces d'arbres indigènes en métropole font face plus de 1 600 espèces en Guyane, dont 70 ne sont présentes dans aucun autre territoire. Je salue à cette occasion les remarquables travaux de botanique menés par l'IRD sous la direction de Jean-François Molino.

■ **La conservation** des RGF : beaucoup a été dit aujourd'hui et je ne reviendrai pas sur les différents exposés, mais je souhaite indiquer que le ministère de l'agriculture a pris conscience très tôt de la nécessaire conservation des RGF pour l'avenir des forêts françaises. Depuis 1990, nous nous efforçons de maintenir un financement, qui bien que modeste, permet d'avancer chaque année, d'installer des réseaux de conservation représentatifs de la diversité génétique des espèces forestières en métropole, avec des unités conservatoires gérées dans la durée.

Je tiens à souligner l'importance de la contribution scientifique de l'INRA, l'action précieuse du Cemagref, cheville ouvrière de la CRGF, le rôle majeur joué par l'ONF dans la gestion des unités conservatoires (UC) *in situ* de RGF, ainsi que la place incontournable des

pépinières conservatoires de l'État, engagées dans de nombreux programmes de conservation *ex situ*.

Tout cela a été possible grâce à l'existence d'une communauté d'acteurs au sein de la CRGF, dynamique et multiple, entreprenante et soucieuse de décisions collégiales, dévouée à une cause nationale, avec une structure en réseau très efficace. Cette communauté de la CRGF a déjà de belles réalisations à son actif : 9 réseaux de conservation *in situ* et 70 unités conservatoires (pour des espèces majeures ou menacées d'érosion génétique), 6 collections de conservation *ex situ* et un millier de références (pour des espèces disséminées et/ou menacées de disparition, comme l'orme par la graphiose ou le pin de Salzmann en raison des risques d'incendie). Le ministère de l'agriculture s'engage à poursuivre cette politique, qui revêt aujourd'hui une importance si grande, dans un contexte de changement climatique à la vitesse inédite ;

■ **La sélection** des RGF vise à renouveler les forêts avec des matériels génétiques adaptés :

- à leurs conditions stationnelles et climatiques,
- et à l'objectif de produire plus de bois en quantité et en qualité pour mieux répondre aux besoins de la société en matériaux et en énergies renouvelables,

Depuis plusieurs décennies, le ministère de l'agriculture investit dans un ambitieux programme de vergers à graines et dans les pépinières conservatoires de l'État. Aujourd'hui, les fruits de ces investissements bénéficient à l'ensemble de la communauté forestière nationale. Il est donc essentiel de poursuivre les travaux menés notamment par l'INRA, le Cemagref, l'institut FCBA, l'IDF, la section Arbres forestiers du CTPS, le Comité technique de coordination des vergers à graines de l'État. Ces travaux ont permis notamment :

- la définition de provenances forestières,
- la sélection de peuplements phénotypiquement supérieurs,
- la conception, l'installation et l'exploitation de vergers à graines,

- l'admission de matériels testés pour leur supériorité sur un ou plusieurs caractères améliorés.

■ **L'utilisation** de RGF pour le renouvellement des forêts doit :

- exiger des matériels issus de récoltes certifiées,
- bénéficier de matériels forestiers de reproduction (MFR) conformes à la réglementation sur le commerce des MFR,
- tenir compte des conseils d'utilisation mis en ligne sur le site du ministère de l'agriculture. Ces derniers permettent aux sylviculteurs de choisir des MFR adaptés à leur lieu de plantation.

Par ailleurs, si les ressources génétiques d'aujourd'hui ne sont pas en mesure de s'adapter aux changements climatiques annoncés, il faudra trouver d'autres RGF (sauvegardées en France ou dans d'autres pays), soumises à des climats exerçant déjà une forte pression de sélection. Le dispositif ministériel a prévu cette hypothèse.

L'État en tant que propriétaire de 10 % des forêts françaises se doit de gérer lui-même avec exemplarité un patrimoine exceptionnel constitué à l'échelle des millénaires. C'est pourquoi il a été demandé à l'ONF d'introduire dans les documents cadre et les aménagements forestiers des forêts domaniales la prise en compte de la diversité génétique dans la gestion courante. La gestion des unités conservatoires doit être conforme à la charte de gestion rédigée par la CRGF. Cette politique nécessite en outre un accompagnement scientifique constant, des relations étroites entre la recherche et les gestionnaires, ainsi que la diffusion régulière des résultats issus des dispositifs expérimentaux.

Face au changement climatique, les défis à relever sont colossaux. Une première étape, me semble-t-il, a déjà été réalisée, à travers la mise en place d'une politique nationale de conservation des RGF. Il n'était pas simple de créer un réseau rassemblant une telle diversité d'acteurs, alliant recherche, gestion forestière publique et privée, conservatoires

botaniques et associations de protection de l'environnement. Il convient maintenant d'accompagner la montée en puissance de la CRGF et de faire en sorte que la dimension génétique, parfois négligée, soit pleinement prise en compte par les gestionnaires forestiers.

Je finirai en évoquant le lancement par la FAO du premier inventaire mondial des RGF. Cet exercice sera pour la France à la fois ardu et passionnant. Les forêts françaises sont en effet présentes sur cinq continents et soumises à une grande variété de climats, allant du climat boréal de Saint-Pierre et Miquelon au climat amazonien auquel de Guyane. Le grand nombre d'îles garantit un niveau d'endémisme et de diversité génétique très élevé, par exemple en Nouvelle-Calédonie.

Pour la France, ce premier inventaire complet de ses ressources génétiques forestières est une chance. Il convient que cette richesse soit à l'avenir pleinement prise en compte par les gestionnaires, préservée et valorisée.

La France se doit de faire preuve d'exemplarité et je note avec satisfaction que la CRGF a pu démontrer aujourd'hui qu'elle a rempli la mission assignée par le ministère de l'agriculture pendant les deux premières décennies de son existence.

Ces dernières années, le ministère de l'agriculture a souhaité renforcer la visibilité de la CRGF. Il a inscrit son action au cœur de la stratégie nationale pour la biodiversité. Et cet été, la thématique RGF a été retenue comme l'action phare du volet forestier du Plan national d'adaptation au changement climatique. Cette action nécessitera un important volet R&D, qui mobilise la DGPAAT.

La route étant tracée, je suis convaincu que la CRGF maintiendra la dynamique acquise en deux décennies, et j'invite chacune et chacun d'entre vous à poursuivre activement sa contribution aux travaux de la CRGF dans les années qui viennent.

Je vous remercie de votre attention.

Cinq ans d'inventaires mycologiques en forêt de Martinique et de Guadeloupe

Premiers résultats

En 2007, la convention-cadre nationale de collaboration entre la SMF (Société mycologique de France) et l'ONF a permis de formaliser un programme d'étude de la fonge des Petites Antilles françaises, qui fait suite à un travail entrepris depuis 2003, à titre privé, par Régis Courtecuisse avec quelques passionnés de mycologie. En Martinique, les sites étudiés prioritairement sont les réserves biologiques (RB) intégrales existantes ou en cours de création dans le cadre de la constitution d'un réseau régional de RB engagé depuis les années 1990. Pour la Guadeloupe, ce sont les ZNIEFF existantes ou en projet dans les différents types forestiers : forêt sèche, forêt mésophile et forêt hygrophile. En 2011, la collaboration s'est concrétisée par la participation de l'animateur du réseau Mycologie de l'ONF à la campagne réalisée du 1er au 15 août, en Guadeloupe. Les objectifs plus spécifiques de la participation du réseau Mycologie sont de deux ordres : d'une part, élargir le champ d'investigation aux espèces liées au bois mort dont il s'est fait une spécialité (en particulier aux corticiés, peu explorés jusqu'ici) ; d'autre part, établir autour de ce projet une coopération avec les services locaux de l'ONF et d'autres organismes comme les services de l'Environnement ou, en Guadeloupe, avec le Parc national.

Cet article dresse un premier bilan de ce programme : méthode de récolte adaptée aux contraintes des « missions » de prospection, progrès dans la connaissance encore très fragmentaire de la fonge de ces îles, esquisse des relations entre champignons et types de forêt... Les résultats sont déjà considérables, et les perspectives ouvertes le sont bien plus encore.

Contexte

Vues de la métropole, les Petites Antilles françaises évoquent, à juste titre, soleil, plages et chaleur toute l'année. Dans le domaine de la biodiversité, elles sont considérées comme des *hotspots* du fait de l'insularité et du climat. En effet, sous ces climats tropicaux, la biodiversité animale et végétale est très importante. Les ordres de grandeur sont de 400 espèces d'arbres (décrites dans l'ouvrage de Rollet et coll., 2010) et de 3 000 espèces de plantes. Par contre la biodiversité fongique est un domaine peu connu ; la littérature mycologique est très pauvre. Les résultats des compilations bibliographiques dans l'ensemble des Petites Antilles fournissent une liste d'environ 1200 espèces fongiques, tous groupes confondus (Courtecuisse, 2005). En prenant le ratio de 5 espèces fongiques pour 1 espèce de plante, moyenne « basse » des chiffres préconisés dans

certaines publications, on arriverait pour les Antilles françaises à 15 000 espèces de champignons. On n'en connaîtrait donc actuellement que 8 %. Pour comparaison, le chiffre est encore plus faible en Guyane où on obtient 3 % avec le même mode de calcul. Cela donne une idée de l'ampleur de la tâche en ce qui concerne la connaissance de la diversité fongique des DOM néotropicaux.

L'approche de la fonge antillaise peut susciter aussi d'autres interrogations : rencontre-t-on des champignons identiques sous les tropiques et en Europe (en métropole) ou des taxons très différents ? Les relations forêt/champignons (proportions des différents types trophiques, par exemple) y sont-elles similaires ? Y a-t-il une saison particulière « à champignons » ? Existe-t-il des champignons comestibles ? Ce dernier point, d'ordre social, est traité en encadré.

Méthodes de prospection et de récoltes

Nous avons choisi de prospecter au mois d'août, soit au milieu de la saison des pluies, pour pouvoir observer un maximum de sporophores ou « fructifications » (cette période est également la plus commode pour des questions de disponibilité des uns et des autres).

Y a-t-il des champignons comestibles dans les Petites Antilles ?

Il n'existe pas de tradition de cueillette des champignons aux Antilles. De ce fait, la comestibilité n'est pas connue sauf exception : une ou plusieurs espèce(s) de lentin(s) (*Lentinus patulus* et taxons proches) appelée(s) « zoreille bois » en créole, semble(nt) avoir été récoltée(s) autrefois à des fins alimentaires. Par contre, une cause d'intoxication fréquente vient de la consommation d'une lépiote, *Chlorophyllum molybdites*, qui ressemble à un champignon comestible de métropole, la lépiote déguenillée, mais en diffère notamment par les lames à reflet vert à maturité. Par ailleurs, cette espèce est inféodée à des habitats anthropisés : pelouses urbaines, parcs, etc. Les intoxications surviennent généralement chez des métropolitains en vacances qui cueillent ce champignon dans les pelouses de leurs hôtels !



Lentinus patulus, un « zoreille bois » peut-être consommé autrefois ?

R. Courtecuisse, SMF

Méthodes de récolte et conditionnement : exemple des corticiés

À l'occasion de la campagne 2011, nous avons mis au point pour les corticiés une méthode de récolte et conditionnement adaptée et reproductible en toutes situations. Ces champignons se développant sur du bois mort ou des tiges sèches, on prélève au couteau un échantillon de support portant la fructification. On le dépose dans une enveloppe sur laquelle on note des informations de terrain, en particulier concernant le support : diamètre, degré de décomposition, essence si la détermination est possible.

Une fois rentré à l'hébergement, on examine chaque échantillon à la loupe binoculaire pour observer des détails complémentaires concernant la surface de l'hyménium - par exemple ornée de petites dents ou complètement lisse - et la présence de cordons ; on le numérote et on renseigne une fiche descriptive des caractères macroscopiques. Puis on complète par des tests de réaction macrochimique et on prend une photographie «macro» du spécimen.

Une partie de l'échantillon est ensuite séchée pendant 12 heures à l'aide d'un dessiccateur monté comme un « mécano » en disposant des grilles métalliques sur un support vertical ; l'air chaud est produit par des lampes disposées en bas de l'appareil. Cette étape de séchage est indispensable pour conserver les échantillons et les mettre « en herbier » en sachet plastique avec des grains de « silica-gel » pour garantir une ambiance sèche. L'autre partie de l'échantillon est utilisée pour récolter la sporée. En effet, une description complète exige de disposer de spores à maturité pour réaliser des mesures fiables, en particulier lorsque des espèces nouvelles pour la science sont susceptibles d'être découvertes.

La récupération de la sporée sur une lame en plastique transparente facilite les observations ultérieures au microscope. La méthode est détaillée dans un bulletin de la SMF (Duhem, 2010) :

- mettre en place une lame plastique dans une boîte ou dans un compartiment de boîte (des boîtes à compartiments permettent de disposer simultanément une dizaine d'échantillons à sporuler) ;
- placer à chaque extrémité et perpendiculairement des allumettes qui permettent de caler le matériel ;
- mettre en place l'échantillon, partie fertile en face de la lame ; le poser délicatement sur les allumettes sans qu'il soit en contact direct avec la lame ;
- placer une étiquette sur la face plastique avec le numéro d'échantillon ;
- couvrir avec le couvercle de façon hermétique afin de maintenir dans la boîte une humidité ambiante ;
- laisser sporuler pendant une nuit.

Une fois les opérations terminées, l'échantillon séché et la lame récupérant la sporée, emballée dans un papier fin, sont placés dans un sac plastique comportant le numéro de la récolte.

Et pour les autres groupes ?

Pour les espèces à lames, la méthode est comparable mais la description macroscopique revêt une grande importance car les espèces sont méconnaissables après dessiccation.

Concernant les polypores, le séchage est plus long du fait de l'épaisseur du champignon ; en outre, les polypores à chapeau font l'objet de mise en culture dans des boîtes de Pétri afin d'établir des collections du mycélium pour l'INRA de Marseille. Chez les ascomycètes, les préparatifs varient selon les groupes étudiés : par exemple, les ascomycètes charnus (discomycètes, rares) sont traités comme les champignons à lamelles ; mais les hypocréales ne sont pas séchés car ils seront, au retour en métropole, mis en culture pour révéler la forme « parfaite » et la forme « imparfaite ».

Toutefois, les saisons sont moins contrastées qu'en métropole et de ce fait l'apparition des sporophores est plus fugace et aléatoire. À basse altitude, un épisode sec peut toujours survenir même pendant la saison favorable et anéantir les espoirs de récoltes, de sorte que l'inventaire mycologique y est assez aléatoire ; en 2011, cependant, les circonstances météorologiques particulièrement humides ont permis d'inventorier ce niveau (forêt sèche ; voir figure 1) dans d'excellentes conditions. Au-dessus de 400 m, l'effet orographique rend les précipitations plus fréquentes et plus abondantes, et les champignons y sont moins sujets à la déshydratation, donc plus aisément observables.

Adapter les méthodes aux enjeux et contraintes

S'agissant d'une démarche encore très exploratoire, les prospections se font à l'avancement, sans stratégie d'échantillonnage et en ciblant les groupes étudiés... selon les spécialités disponibles dans l'équipe. Des préoccupations supplémentaires ont pu intervenir dans l'orientation de ces prospections. Le groupe des polypores à chapeau, par exemple, a fait l'objet d'investigations intensives liées à d'autres études, car ces polypores pourraient avoir des propriétés anti-cancéreuses et sont susceptibles d'être utilisées en pharmacologie.

L'enjeu principal est donc de combler le manque de connaissances des espèces. Les contraintes sont inhérentes à la mission outre Atlantique, dans un temps limité et avec une logistique réduite. La priorité est donc d'enregistrer un maximum d'observations et d'échantillons convenablement conditionnés pour examen ultérieur ce qui nécessite une grande rigueur. Cette priorité au conditionnement des récoltes plutôt qu'aux déterminations, conduit aussi à emporter un peu de matériel (voir encadré), mais pas de microscopes.

Prélèvement - Conditionnement

Sur le terrain, les mycologues récoltent les espèces selon leur spécialité : champignons à lames, ascomycètes, polypores, corticiés... Ils prennent des photographies et des notes (type de support,



R. Courtecuisse, SMF

Ganoderma martinicense, une espèce décrite comme nouvelle (Welti et Courtecuisse, 2010)

localisation de la récolte...). Compte tenu des contraintes et pour optimiser ces prospections, il faut éviter les doublons en s'efforçant de ne récolter que des échantillons d'espèces « visiblement » différentes. Au retour dans l'hébergement, les spécimens sont décrits macroscopiquement selon une fiche adaptée à chaque groupe, avec observation des détails à la loupe binoculaire. Puis ils sont méticuleusement conditionnés de façon à permettre la détermination - ou confirmation - ultérieure (voir encadré).

Méthodes de détermination

C'est au retour en métropole que se fait la détermination des échantillons. Elle nécessite d'abord un examen rigoureux au microscope à l'aide de différents réactifs. Les critères microscopiques ainsi observés sont consignés sur une fiche plus ou moins standardisée, accompagnée de photographies des éléments de détermination (spores, basides...). Ils sont l'indispensable complément des critères macroscopiques relevés lors de la récolte pour pouvoir, enfin, s'engager dans les livres de détermination et explorer les publications concernant les espèces tropicales (ce qui suppose d'y avoir accès). Ce travail est en cours pour les 50 corticiés de la campagne 2011 entre les deux « corticologues » du réseau mycologie avec l'aide d'un spécialiste du Muséum

d'histoire naturelle et n'a encore donné lieu en mai 2012 qu'à une vingtaine de déterminations certaines, ce qui donne une idée de la difficulté de la tâche.

La taxinomie et la systématique du règne fongique utilisent de plus en plus la biologie moléculaire. Des échantillons des espèces sont envoyés à des laboratoires spécialisés (Université de Toulouse, CNRS Montpellier) pour conforter la description des taxons et aussi contribuer aux études phylogénétiques : reconstruction d'un système de classification naturelle.

Résultats

Taxinomie

Depuis le début des inventaires, plus de 6000 spécimens ont été collectés, tant en Guadeloupe qu'en Martinique, par Régis Courtecuisse et ses collaborateurs ainsi que par Jean-Pierre Fiard, botaniste au Conservatoire botanique des Antilles françaises mais aussi mycologue et très bon connaisseur des milieux forestiers des Petites Antilles. Cela représente un total d'au moins 2000 taxons distincts, parmi lesquels on compte déjà environ 800 espèces nouvelles pour les Petites Antilles, en instance de publication.

Par rapport aux champignons de métropole, on retrouve des genres communs mais exceptionnellement une espèce

commune. Certains genres se rencontrent sur les îles mais pas en métropole et vice-versa. Les espèces des îles viennent en quelque sorte compléter l'immense puzzle de la biodiversité fongique.

Les premiers articles parus sur la découverte d'espèces nouvelles (pour la science) concernent en particulier des champignons lamellés (voir par exemple, Courtecuisse et Fiard, 2005 ; Matheny *et al.*, 2007 et Redecker *et al.*, 2008 pour les *glomeromycota*) ainsi que des ascomycètes (par exemple, Rogers *et al.* 2008 ; Stadler *et al.*, 2008a, 2008b ; Lechat et Courtecuisse, 2010 ; Lechat *et al.*, 2010 ; Ju *et al.*, 2012).

Dans le groupe des polypores à chapeau, les investigations ont porté en particulier :

- sur la famille des *Ganodermataceae* où trois espèces nouvelles ont été décrites (Welti et Courtecuisse, 2010),
- sur le genre *Trametes* et apparentés, ce qui a donné lieu à la définition d'un nouveau genre, *Leiotrametes* Welti & Courtecuisse (Welti *et al.*, 2012), ...et d'autres suivront, avec probablement de nouvelles découvertes à la clé.

Il n'est pas difficile d'apporter des contributions significatives en explorant également les autres groupes fongiques. Même si les déterminations sont loin d'être terminées, il y a des espèces nouvelles pour la science qui ont été récoltées parmi les corticiés, dont plusieurs en 2011. Ces résultats feront l'objet de publications dans les revues de taxinomie fongique.

Par ailleurs les espèces macroscopiques les plus courantes peuvent être aujourd'hui reconnues et nommées sur le terrain, ce qui n'était pas le cas au début des missions. Une base de connaissances « pratiques » a ainsi été établie.

Groupes fonctionnels

On peut répartir grossièrement les champignons forestiers en trois grands groupes fonctionnels : les pathogènes, les décomposeurs et les symbiotiques. Les pathogènes sont surtout des espèces microscopiques ; ils n'entrent pas dans le cadre de nos inventaires. Les décomposeurs, qualifiés de saprophytes ou

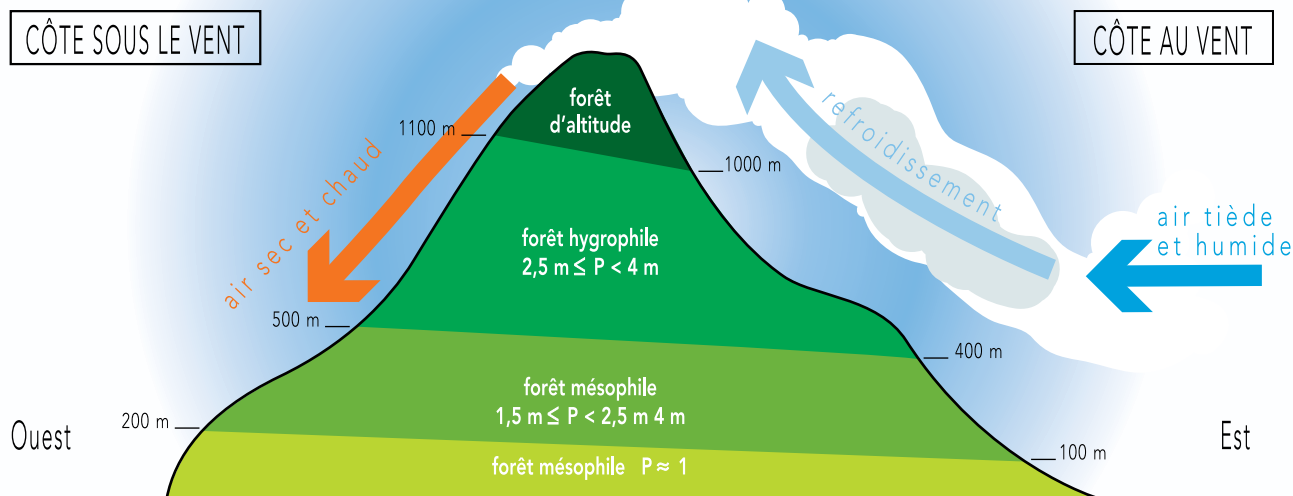


Fig. 1 : étagement des types forestiers et des précipitations annuelles (en mètres) dans les Petites Antilles françaises (d'après C. Sastre et A. Breuil « Plantes, milieux et paysages des Antilles Françaises », Parthénope collection 2007)

saprotrophes, se développent sur le bois mort ou abîmé, la litière... dont ils se nourrissent et qu'ils décomposent progressivement ; à ce stade de nos travaux, la priorité est à la taxinomie et nous ne nous sommes pas penchés sur les éventuelles particularités fonctionnelles des décomposeurs. Les symbiotiques, enfin, établissent avec les arbres des symbioses racinaires (mycorhizes) : soit des endomycorhizes (les filaments s'infiltrant à l'intérieur des cellules racinaires), soit des ectomycorhizes (les filaments restent dans l'espace intercellulaire). Si les champignons endomycorhiziens, microscopiques, n'ont pas été inventoriés, l'étude des ectomycorhiziens est riche d'enseignements.

Les champignons ectomycorhiziens sont bien connus dans les forêts tempérées ou méditerranéennes. Il s'agit des amanites, bolets, chanterelles, cortinaires, hébélomes, inocybes, lactaires et russules pour ne citer que les genres les plus connus. Jusqu'à un passé récent, on pensait que ce groupe fonctionnel de champignons était marginal dans la forêt tropicale américaine, contrairement aux forêts tropicales d'Afrique ou d'Asie où il est bien représenté. Or ce groupe n'est pas négligeable en nombre de genres dans les Petites Antilles. C'est un des résultats importants de ces campagnes d'inventaire. On y retrouve les genres cités précédemment,

à l'exception notable des cortinaires et des hébélomes qui sont apparemment absents des Petites Antilles (seule une espèce de *Cortinarius* est recensée en Martinique), ainsi que d'autres moins connus : *Coltricia*, *Gomphus*, *Ramaria* (et affines), *Scleroderma*, *Sebacina*, *Thelephora* et *Tomentella* présents aussi en métropole.

Arbres à ectomycorhizes (ectotrophes)

Qui dit champignon ectomycorhizien dit arbre à ectomycorhizes (ectotrophe). Or, d'après la littérature, les arbres tropicaux sont majoritairement à endomycorhizes (endotrophes) ; les arbres ectotrophes connus en Amérique tropicale appartiennent aux familles suivantes : *Fabaceae*, *Nyctaginaceae* et *Polygonaceae*. Dans les Petites Antilles, l'arbre à ectomycorhizes le plus étudié est *Coccoloba uvifera* ou raisinier bord de mer (famille des *Polygonaceae*), qui pousse en bord de plage sur des sols salés, pauvres en éléments minéraux, où il forme des peuplements monospécifiques. Nous avons pu confirmer son caractère ectotrophe en observant les mycorhizes *in situ* mais il fallait aller plus loin dans la connaissance des couples arbre/champignon.

La présence de champignons ectomycorhiziens implique la présence d'espèces d'arbres ectotrophes dans le voisinage

immédiat. Le contact entre le mycélium du champignon et l'arbre est établi au niveau des racines courtes transformées en ectomycorhizes. Toutefois, cette connexion est très difficile à observer sur le terrain. Afin de mettre en évidence le statut mycorhizien des arbres, nous avons récolté les racines sous les fructifications de champignons ectomycorhiziens (amanite, bolet, chanterelle, lactaire, russule...); sous loupe binoculaire, nous avons ensuite trié les mycorhizes parmi ces racines. Les échantillons prélevés serviront, grâce à l'ADN, à identifier champignons et arbres concernés.

En attendant les analyses, nous avons déjà quelques confirmations par les observations de terrain, en particulier lorsque de gros arbres isolés sont entourés de chanterelles ou de bolets. C'est le cas respectivement de *Coccoloba swartzii* et de *Pisonia fragrans*. Dans d'autres situations, la corrélation ectomycorhizien/ectotrophe est moins évidente mais faisable, comme lorsque l'essence suspectée est à l'état de semis parmi d'autres tiges d'essences diverses. Nous confirmons donc le statut ectotrophe des genres *Coccoloba* (famille des *Polygonaceae*) et *Pisonia* (*Nyctaginaceae*) ainsi que de *Lonchocarpus punctatus* (*Fabaceae*). Au total, cela concerne six espèces : *Coccoloba uvifera* (raisinier bord de mer), *C. pubescens* et *C. swartzii*,

Pisonia fragrans (mapou) et *P. subcordata*, et *Lonchocarpus punctatus* (bois savonnette).

D'après la littérature, d'autres arbres comme *Inga laurina* (poix doux blanc), *Manilkara bidentata* (balata) ou *Haematoxylon campechianum* (campêche) seraient également ectotrophes, mais nous ne sommes pas encore en mesure de le confirmer.

En forêt tempérée ou méditerranéenne, le caractère ectomycorhizien d'une essence est en relation avec son tempérament « social » et sa tendance à former des peuplements purs, à l'exemple des chênes, du hêtre ou du sapin pectiné. À l'opposé, on peut constater que les essences endomycorhiziennes sont plutôt disséminées comme les frênes ou les fruitiers. Dans les Petites Antilles, les peuplements à dominance monospécifique nette sont constitués de raisinier bord de mer. Parmi les explications de cette monospécificité, on cite depuis longtemps les conditions de milieu limitantes (eau salée, vent...). Plus récemment, on a montré que les arbres adultes et les semis étaient reliés par le réseau mycélien de champignons ectomycorhiziens, d'où cette hypothèse : les arbres adultes nourriraient leur semis par l'intermédiaire de ce réseau, ce qui faciliterait donc la régénération naturelle. Il existe d'autres exemples de dominance d'arbres ectotrophes en milieu tropical. D'un point de vue général, le statut ectomycorhizien d'une essence ne peut, à lui seul, expliquer son caractère grégaire, mais cette propriété est à prendre en compte dans les études de la diversité et de la répartition des arbres en milieu tropical.

Approche par types de forêt

Étage bioclimatique

Dans les Petites Antilles, le climat et en particulier les précipitations varient en fonction de l'altitude et de l'exposition au vent ou sous le vent. Il en résulte un étagement dissymétrique des types forestiers (figure 1) avec, à l'étage inférieur, la forêt sèche ou xérophile qui correspond à un climat dont la saison sèche



Marasmius gr haematocephalus, champignon éphémère de litière (sur brindilles)

C. Lécure, SMNF

est très marquée ; au-dessus, c'est la forêt mésophile dans un climat un peu plus humide où la saison sèche s'atténue ; plus haut encore, on arrive à la forêt humide ou hygrophile. Au-delà, quand les précipitations dépassent 4 m, on observe la forêt d'altitude, qui cède rapidement le pas à des formations basses.

Les quelques résultats que nous présentons ici, sur la répartition des espèces les plus courantes (basidiomycètes) en fonction des grands types de forêt, s'inspirent en partie de la contribution de Jean-Pierre Fiard présentée en 2005 au colloque de Trois-Ilets consacré aux écosystèmes forestiers des Caraïbes (Fiard, 2009). Ne sont pas concernées la forêt marécageuse littorale (mangrove) et la forêt d'altitude, qui n'ont pas été prospectées.

Forêt sèche

À cet étage inférieur, même en saison humide, les litières s'assèchent rapidement à la faveur de journées sans pluie. Pour les champignons qui se développent sur les feuilles ou sur les rameaux, le risque de dessèchement est donc particulièrement élevé. Cela pourrait expliquer la petitesse des sporophores et la minceur des chapeaux des saprophytes de litière appartenant aux genres *Agaricus*, *Lepiota*, *Marasmius*, *Marasmiellus* et

Collybia. Les espèces sont généralement plus petites que leurs homologues des régions tempérées.

Dans les zones littorales, on rencontre le mancenillier et le catalpa, ainsi que le raisinier bord de mer dont le cortège ectomycorhizien a été étudié par l'Université des Antilles et de la Guyane : y figurent plusieurs espèces dont une espèce de scléroderme (*Scleroderma bermudense*), champignon en boule particulièrement abondant dans ces peuplements de bord de mer. Ailleurs, on rencontre le « poirier », le mapou et le gommier rouge avec localement le bois savonnette (et, dans les zones dégradées, des fourrés de campêche. S'agissant en grande partie d'essences ectotrophes, on y a dénombré beaucoup de champignons ectomycorhiziens : une trentaine d'espèces de lactaires et rus-sules, une vingtaine d'amanites et une dizaine de bolets.

Forêt mésophile

Cette zone est intermédiaire entre la forêt sèche et la forêt humide. Le cortège des espèces saprophytes de litière y est semblable à celui de la forêt sèche mais s'enrichit d'espèces de transition avec la forêt humide, y compris dans le compartiment lignicole des bois morts (*Trogia cantharelloides* par exemple).

Le couvert boisé s'enrichit de Lauracées mais s'appauvrit en espèces ectotrophes. Le cortège fongique s'appauvrit donc en espèces ectomycorhiziennes, comme nous avons pu le vérifier en 2011. Cependant nous avons pu relier la présence erratique d'une russule ou d'un lactaire à la présence ponctuelle de *Pisonia* (mapou).

Forêt hygrophile

La forêt humide ne connaît pas de période de sécheresse : les mois les plus secs reçoivent au minimum 100 mm. La forêt est étagée et comprend à l'étage dominant : gommier, bois rouge carapate, acomat boucan... En sous-étage : mauricif, marbri et des arbustes comme les choux palmistes et fougères arborescentes, ainsi que des lianes et plantes épiphytes.

Les essences ectotrophes sont très rares et les champignons ectomycorhiziens sont donc très sporadiques. La population fongique, chez les lamellés, est donc dominée par les saprophytes tels que *Hygrocybe*, *Marasmius*, *Marasmiellus* et *Collybia*, comme dans la formation précédente. S'y ajoutent sur le bois mort de nombreuses espèces du genre *Pluteus*.

Un des caractères marquants de cette fonge ombrophile, chez les lamellés, est l'importance des hygrocybes. L'essentiel de la trentaine d'espèces d'hygrocybes présentes sur les îles antillaises se trouve dans la forêt ombrophile ; on en rencontre aussi dans les peuplements artificiels de mahogany à grandes feuilles (*Swietenia macrophylla*) à la même altitude. Ce sont des espèces assez charnues aux couleurs chatoyantes ; celles de la section des *Firmae* ont en outre le chapeau troué au milieu et le stipe (pied) creux, ce qui permet l'évacuation rapide de l'eau.

En conclusion

Nous avons donc vu que le travail mené depuis quelques années commence à porter ses fruits.

Les champignons les plus courants peuvent être désormais identifiés sur le terrain. Cela permet de commencer à vulgariser les connaissances auprès



Hygrocybe martinicensis, champignon de forêt hygrophile

R. Courtecuisse, SMF

des publics concernés et d'envisager la dimension patrimoniale des sites, par l'accumulation de relevés et de données. Du côté des arbres, les essences ectotrophes commencent à être mieux connues. Des relations entre type de forêt et champignons sont décrites dans leurs grandes lignes. Le champ d'investigation reste cependant immense, étant donné le point de départ très faible des connaissances et la diversité potentielle très élevée.

Un des points à développer à ce stade du projet serait la mise en place d'un protocole d'observation de ces champignons, comparable à ce qui a été développé en métropole. En Guadeloupe comme en Martinique, le projet d'installation de placettes dendrométriques pourrait fournir une base intéressante de relevés mycologiques (placettes de 1 ha dans les forêts situées dans le Parc national de Guadeloupe, réseau de 40 placettes de 2400 m² dans les forêts martiniquaises, dont un certain nombre en RBI). En effet, cela permettrait de localiser les récoltes en disposant d'une connaissance fine de la répartition de la population d'arbres. Cela permettrait aussi de conforter les interprétations écologiques et, à terme, de développer des outils d'évaluation du caractère naturel ou patrimonial de

sites forestiers à l'aide des champignons. La collaboration entre mycologues et gestionnaires – à l'interface desquels se trouve le réseau Mycologie de l'ONF – permettra d'avancer dans cette approche plus méthodique de la fonge antillaise, en parallèle à l'exploration de l'immense diversité qui reste à découvrir.

Hubert VOIY

ONF, animateur du réseau Mycologie responsable BET Lorraine - UP Sud

Régis COURTECUISSÉ

Université de Lille 2
Président de la Société mycologique de France

Remerciements

Ces prospections ont bénéficié du Fonds de l'Environnement et du Développement Durable de l'ONF, ainsi que du soutien des DREAL de Martinique et de Guadeloupe.

Nous remercions l'ensemble des mycologues qui ont participé aux campagnes d'inventaire, et en particulier Anne Favel, Christian Lechat, Christophe Lécuru, Jacques Fournier, Pierre-Arthur Moreau et Stéphane Welti.

Bibliographie

Courtecuisse R., 2005. Liste préliminaire des champignons non lichénisés (Fungi et organismes fongoides) recensés dans les îles françaises des Petites Antilles (ou F.W.I.) : Martinique, Guadeloupe et dépendances. En ligne sur le site Internet de la Société mycologique de France (<http://mycofrance.org>), rubrique « les outils de la SMF ». 192 p.

Courtecuisse R., Fiard J.-P., 2005. *Cuphophyllus neoprattensis*, un nouvel hygrophore des Antilles (première contribution au programme « Inventaire mycologique des Petites Antilles. Biodiversité,

écologie et protection »). Bull. Soc. mycol. Fr., vol. 120(1-4) pp. 441-462

Duhem B., 2010. Eléments pour une approche de l'étude des corticiés. I. - La sporée. Bull. Soc. mycol. Fr., vol. 126(2) pp.143-160

Fiard J.-P., 2009 – Types forestiers, cortèges fongiques prépondérants et familles dominantes dans les Petites Antilles. In Joseph P. (éd.): « Ecosystèmes forestiers des Caraïbes » (Actes du colloque des 5-10 décembre 2005 à Trois-Ilets, Martinique), Paris : Karthala, pp. 291-299

Ju Y.-M., Hsieh H.-M., Rogers J.D., Fournier J., Jaklitsch W.M., Courtecuisse R., 2012. New and interesting penzigoid *Xylaria* species with small, soft stromata. Mycologia, vol. 104(3), pp. 776-776
Lechat C., Courtecuisse R., 2010. A new species of *Ijuhya*, *I. antillana*, from the French West Indies. Mycotaxon, vol. 113, pp. 443-447

Lechat C., Farr D.F., Hirooka Y., Minnis A.M., Rossman A.Y., 2010. A new species of *Hydropisphaera*, *H. bambusicola*, is the sexual state of *Gliomastix fusigera*. Mycotaxon, vol. 111, pp. 95-102

Matheny P.B., Vellinga E.C., Bougher N.L., Ceska O., Moreau P.-A., Neves M.A., Ammirati J.F., 2007. Taxonomy of displaced species of *Tubaria*. Mycologia, vol. 99(4), pp. 569-585.

Redecker D., Raab P., Oehl F., Camacho F.J., Courtecuisse R., 2007. A novel clade of sporocarp-forming species of *glomeromycotan* fungi in the Diversisporales lineage. Mycol. Progress vol. 6(1), pp. 35-44

Rogers J.D., Ju Y.-M., Fournier J., Lechat C., Courtecuisse R., 2007. *Camarops alborugosa* sp. nov. from French West Indies and *Hypoxyylon peleaë* sp. nov. from Hawaii. Sydowia, vol. 59(2), pp. 267-272

Rollet B. et coll., 2010. Arbres des Petites Antilles. Tome 1 : introduction à la dendrologie (276 p.), Tome 2 : description des espèces (914 p. + 1 CD-ROM). Office national des forêts.

Stadler M., Fournier J., Granmo A., Beltrán-Tejera E., 2008a. The "red Hypoxylyons" of the temperate and subtropical Northern Hemisphere. North American Fungi, vol. 3(7), pp. 63-125

Stadler M., Fournier J., Læssøe T., Lechat L., Tichy H.-V., Piepenbring M., 2008b. Recognition of hypoxyloid and xylarioid *Entonaema* species and allied *Xylaria* species from a comparison of holomorphic morphology, HPLC profiles, and ribosomal DNA sequences. Mycol. Prog., vol. 7, pp. 53-73

Welti S., Courtecuisse R., 2010. *Ganodermataceae* from French West Indies (Contribution n°5 to the program «Fungal inventory of the Lesser Antilles. Biodiversity, ecology and conservation»). Fungal Diversity vol.43(1), pp. 103-126.

Welti S., Moreau P.-A., Favel A., Courtecuisse R., Haon M., Navarro D., Taussac S., Lesage Meessen L., 2012. Molecular phylogeny of *Trametes* and related genera, and description of a new genus *Leiotrametes*. Fungal Diversity (on line) DOI: 10.1007/s13225-011-0149-2 (2012)



C. Lermite, ONF

Le groupe de mycologues de la « campagne » d'août 2011 : Stéphane Welti (Université de Lille 2), Régis Courtecuisse (Université de Lille 2 et SMF), Monique Gardes (Université de Toulouse 1), Hubert Voiry (ONF) et Christian Lechat (SMF)

Guidage GPS embarqué sur tracteur pour la création et l'entretien des cloisonnements : pénibilité réduite et économie

Cet article décrit le progrès récent qui permet d'ouvrir puis entretenir les cloisonnements sans jalonnement préalable, grâce à une « barre de guidage » embarquée sur le tracteur. C'est un système GPS qui calcule la position de l'engin et matérialise sur écran une ligne indiquant la trajectoire à suivre. Les outils et la méthode décrits ont été développés en agriculture pour optimiser les parcours sur les champs (travail du sol, semis, traitements...). Une partie des applications peut être très convenablement utilisée en forêt, sous certaines conditions, et peut être généralisée à l'ONF dès à présent.

La création et l'entretien des cloisonnements représentent une part importante des travaux à l'ONF. Ils sont réalisés par les engins porte-outils (tracteur ou autre) à pneus ou à chenilles équipés d'un broyeur à axe horizontal ou vertical (gyrobroyeur). Ce travail mobilise traditionnellement 1 à 2 ouvriers pour préparer à pied le traçage des lignes à broyer ou pour les jalonner ; il nécessite l'emploi de boussole ou GPS, topofil, jalons et bombes de peinture. Parfois, l'assistance d'un ouvrier est également nécessaire pendant le broyage dans des peuplements trop denses, car le conducteur de l'engin ne voit pas le tracé du cloisonnement ou les jalons ; il s'agit alors de lui signaler avec de longues lattes colorées où se trouve le tracé.

Ce travail est pénible pour les ouvriers et les coûts cumulés sont importants. En direction territoriale Centre-Ouest - Auvergne - Limousin par exemple, la matérialisation d'un nouveau cloisonnement est prévue (chiffres 2012) avec 3 heures/km pour un marquage à la peinture (137,1 €/km), et avec un supplément de 30 % pour le jalonnement. Il faut aussi mentionner les problèmes de distance de sécurité avec des engins pouvant projeter des débris de bois.

Caractéristiques techniques de l'outil

L'ensemble opérationnel comporte, indépendamment de la marque :

- un boîtier robuste qui se fixe avec une ventouse sur la vitre avant du tracteur et qui contient la « barre de guidage » (PC de poche) avec écran rétro-éclairé ; selon le modèle utilisé, une sortie « ordinateur » sur le PC de poche est indispensable pour pouvoir archiver les tracés sur ordinateur et serveur ;
 - une antenne fixée par un aimant sur le toit et qui est connectée par câble à la barre de guidage : deux types d'antennes sont le plus souvent proposés : une petite antenne (souvent 5 Hz), moins sensible et une grande antenne (souvent 20 Hz), souvent très (peut-être trop) sensible ;
 - une protection renforcée de l'antenne sur le toit à faire faire (non livrée) pour éviter de casser ou arracher l'antenne ;
 - un câble d'alimentation 12 V à brancher sur le tracteur ; éviter la prise allume cigares qui est source de coupure d'alimentation et installer plutôt une prise fixe (prise auxiliaire trois plots) ;
 - le PC de poche contient le logiciel de guidage et d'arpentage, avec souvent bien plus de fonctions que de besoin pour le travail en forêt ;
- lors de la livraison de l'ensemble, un manuel d'utilisation et éventuellement une mallette sont joints.



Petite antenne de GENITRONIC et grande antenne d'ISAGPS fixées par aimant sur le toit ou blindage du tracteur

En Franche-Comté par exemple, il est interdit aux ouvriers de s'approcher à moins de 200 m d'un broyeur à axe vertical (les broyeurs à axe horizontal ne provoquent pas de projection).

Entre 2007 et 2010, trois systèmes de guidage par GPS embarqué, ou « barre de guidage » ont été testés et rendus opérationnels dans les unités de production Jura Plaine, Bourgogne Est 2, Auvergne Berry, et Landes (appartenant respectivement aux agences travaux des DT Franche-Comté, Bourgogne - Champagne-Ardenne, Centre-Ouest - Auvergne - Limousin, et Sud-Ouest). Outils testés : ISAGUIDE+ avec IsaGPS+ de la société ISAGRI (système assez complexe, qui a été remplacé fin 2010 par le PackISA 360), GENITRONIC et TRIMBLE EZ GUIDE 250 (systèmes plus simples). Il en existe d'autres, qui ont été écartés à cause de leur complexité ou d'une configuration technique inadaptée à l'utilisation en forêt.

Fondée sur un solide retour d'expérience, **la méthode décrite ici évite complètement l'intervention à pied des ouvriers forestiers et permet un gain de productivité d'au moins 50 %, tout en garantissant un travail de qualité.** L'intervention devient donc opérationnelle et compétitive.

Domaine d'utilisation optimale

Les caractéristiques techniques du système de guidage embarqué sont présentées en encadré. Cet outil s'utilise pour l'ouverture de cloisonnements nouveaux et leur entretien ultérieur. Les données enregistrées lors de la création sont très précises et permettent par cette méthode de suivre rigoureusement le même tracé lors des entretiens. Mais il ne faut pas l'utiliser pour l'entretien de cloisonnements existants implantés « manuellement » car le système appliquerait strictement l'entraxe standard indiqué en ignorant les approximations d'installation, au risque par exemple de broyer partiellement des lignes de plantation.

Le guidage est optimal en plaine (< 10 % de pente) pour la création et l'entretien de cloisonnements (sylvicoles ou d'exploitation) et la préparation de lignes de reboisement. Ces systèmes calculent, à l'issue du chantier, les relevés de surface des travaux réalisés et le linéaire parcouru. Ce type d'outil concerne donc les surfaces à régénérer et les jeunes peuplements ainsi que les peuplements adultes à cloisonner. On pourrait imaginer d'autres usages en forêt, mais nous limitons volontairement le domaine d'application pour faciliter les débuts de l'utilisation dans les agences travaux avant d'aller plus loin.

L'utilisation est assez simple à condition d'avoir une bonne implication et motivation de l'opérateur (c'est primordial pour la réussite à venir). Pour optimiser la productivité (limiter les contraintes d'organisation), il faut avoir autant d'appareils que de tracteurs affectés régulièrement à ce type de travaux.

Comment procéder-t-on concrètement ?

Au bureau, on enregistre dans le PC de poche, sous forme digitale, le plan de la parcelle (forme et taille) avec tous les cloisonnements à créer ou à entretenir. Sur le terrain et une fois la première ligne parcourue, l'appareil gère le passage d'une ligne à l'autre et aide aussi lors des virages pour optimiser le positionnement du tracteur au début du prochain cloisonnement. Cette aide à la conduite et au traçage se traduit, sur l'écran fixé sur le pare-brise du tracteur, par une ligne qui montre la direction à maintenir. Le conducteur voit à la fois la « barre de guidage » et le terrain à gyrobroyer devant lui. Si un obstacle l'oblige à dévier, il peut facilement se remettre dans la trajectoire idéale après l'avoir contourné. Les déviations du tracteur par rapport au tracé prévu se matérialisent à l'écran par des balises à gauche et à droite de la ligne et dont le type et la forme diffèrent selon le système. Chaque balise correspond à un écart prédéfini (par exemple : 10 ou 20 cm).



Le chauffeur vérifie qu'il suit bien le tracé : s'il en dévie, le système ISAGPS (en haut) indique l'écart par une ou plusieurs pastilles rouges (flèche) dont le pas est paramétrable, ou le système GENITRONIC (en bas) en donne directement la mesure en 1/10^e de mètre sous la position du tracteur

E. Ulrich, SMF

Ceci permet au conducteur de corriger sa trajectoire. C'est le dosage de la correction de trajectoire qui, au départ, est difficile à apprendre et seule la pratique régulière permet d'acquérir le coup de main pour bien doser. Les informations sur l'ampleur de l'écart (balises) sont mises à jour à un pas de temps qui varie, selon le mode choisi, entre une fraction de seconde et quelques secondes.

Organisation optimale des chantiers

En vue d'utilisations ultérieures, il faut sécuriser l'enregistrement du réseau de cloisonnements par le système de guidage. Car les variations dans le temps de la qualité des signaux satellites peuvent rendre difficile, voire impossible, la réutilisation des traçages archivés si on n'a pas pris la précaution de bien les « caler » par rapport à des repères locaux pérennes. Pour éviter ce risque, il est nécessaire de définir un réseau de « points de recalage locaux » et lignes de référence. Un point de recalage local est un point fixe bien identifié, comme par exemple le milieu du croisement de deux routes forestières, d'anciennes bornes de délimitation de parcelles, etc. La ligne de référence est une ligne facilement repérable sur le terrain et qui ne changera pas avec le temps. Il s'agira le plus souvent d'une ou de deux routes forestières qui longent la parcelle à cloisonner.

Par ailleurs, la méthode est tributaire du nombre et de la répartition spatiale des satellites dont le GPS peut recevoir les signaux dans un endroit donné. Le calcul du positionnement au GPS se base sur la trigonométrie. Il faut au minimum 4 à 6 satellites (selon le modèle) pour calculer avec une précision suffisante la position du tracteur. Plus le nombre de satellites accessibles simultanément est élevé, meilleure est la précision. Mais leur répartition intervient également : si tous les satellites sont groupés le calcul de la position du tracteur est beaucoup moins précis que s'ils sont bien répartis dans l'espace au-dessus de la zone de travail.

En routine, il faut consulter toutes les semaines l'éphéméride du passage des satellites qui est (ou peut être) mis à disposition par le correspondant GPS local.



Cloisonnements sylvicoles tracés/ouverts avec la barre de guidage, à découvert ou sous couvert peu dense

Il s'agit, pour un lieu précis, du calcul du passage des satellites (nombre de satellites) et de leur inclinaison par rapport à l'horizon. Ce calcul permet à l'opérateur de visualiser les plages horaires les plus propices à une bonne réception satellite. Les éphémérides sont valables une à deux semaines. Il faut le plus souvent travailler à l'intérieur des plages horaires indiquées (à 20 minutes près) et ne pas commencer ou terminer trop près de leur heure de début ou de fin. C'est le problème majeur actuellement car l'ajustement entre plages

de réception et planning des chantiers est parfois difficile ; cela peut conduire, par exemple, à devoir jalonner les 2-3 premiers cloisonnements et continuer ensuite à la barre de guidage.

N'oublions pas enfin que le couvert forestier nuit à la réception des signaux. Cela induit une contrainte sur la période d'exécution quand on doit intervenir sous peuplement adulte : travailler si possible hors feuille, car sinon les difficultés sont souvent rédhibitoires.

Autres utilisations

La barre de guidage peut également être utilisée pour préparer les lignes de plantation et pour bénéficier de la possibilité d'archivage des données. En outre, le système de GPS ISAGRI peut être porté à dos d'homme et alimenté sur batteries pour travailler à pied. Cela permet par exemple de jalonner des cloisonnements d'exploitation avant martelage dans un peuplement adulte. Avec une boussole traditionnelle, il faut une équipe de deux ouvriers sylviculteurs, et le jalonnement des cloisonnements d'exploitation à 19 m d'entraxe « coûte » 3 h/ha (référentiel travaux). Un ouvrier seul équipé de la barre de guidage ISAGRI peut faire le même travail en 1 h pour 4 ha environ (cela suppose un travail hors feuille et une détection GPS correcte).

Principaux avantages de la méthode

Les avantages sont nombreux. La précision de la barre de guidage est remarquable et inattendue. L'amélioration des conditions de réalisation, en évitant l'intervention manuelle pénible et les erreurs humaines potentielles sur le terrain, est un argument important. Le chauffeur n'a plus besoin de descendre de son tracteur pour éventuellement redresser ou déplacer les jalons. Ces points s'accompagnent d'un gain de productivité d'au moins 50 % par le cumul de deux tâches, l'implantation et la création des cloisonnements. Le chauffeur dispose d'une autonomie totale pour gérer l'implantation des cloisonnements. Ses compétences sont ainsi mieux valorisées. Du fait de la plus courte durée de la chaîne des travaux, les opérateurs peuvent répondre plus rapidement aux sollicitations des gestionnaires. L'ensemble conduit à une meilleure satisfaction du client, d'autant que le travail réalisé correspond au travail commandé (strict respect des entraxes des cloisonnements) ; il n'y a pas de conflit possible avec les itinéraires techniques de travaux sylvicoles. Le faible coût d'investissement dans ce système (y compris le coût de formation) permet de l'amortir très rapidement. L'archivage des données du système ISAGRI est un point fort qui permet l'intégration dans

les bases SIG ou Canopée. Les fournisseurs disposent d'une hotline et d'un poste de soutien technique en live qui jusqu'à présent est très efficace.

Principaux inconvénients

La prise en main correcte de cette méthode ne peut pas se faire sans formation de l'opérateur, lui permettant d'intégrer les fonctions de l'appareil. Au quotidien, chaque chantier nécessite une préparation préalable, qui consiste à déterminer la qualité des signaux satellites sur place et à consulter les éphémérides du passage des satellites. Le temps consacré à cette préparation est très faible comparé au gain de productivité. Toutefois, il peut subsister un risque de mauvaise détection ou qualité des signaux satellites le jour où le travail doit être réalisé, même si toutes les phases préparatoires ont été correctement menées. Pour cette raison l'opérateur doit toujours disposer de chantiers de repli ou pouvoir attaquer en mode traditionnel, en fonction de la charge de travail.

L'effet de réflexion ne permet pas d'utiliser la barre de guidage pour un travail de précision dans des peuplements adultes trop fermés. Si, avant d'arriver au récepteur, les signaux GPS sont réfléchis une ou plusieurs fois par des obstacles (en forêt, les troncs des arbres), cela conduit à des mesures erronées.

L'utilisation dans des pentes de plus de 10 % est à proscrire, car le plus souvent les pentes ne sont pas régulières et la création du réseau de cloisonnements suit une logique différente (entre autre : prise en compte des variations de la topographie).

Phases de réalisation

Étapes préparatoires

D'abord, le prescripteur (agence, UT, client « P ») doit vérifier les itinéraires techniques de travaux sylvicoles. Il définit la parcelle concernée et le type de peuplement, puis le type de cloisonnement (cf. NDS 09-T-297 et guides de sylviculture) et l'entraxe (écartement entre cloisonnement d'axe en axe). Il définit le schéma d'implantation de

cloisonnements ou de plantation (avec parfois plusieurs azimuts), en différenciant éventuellement les cloisonnements sylvicoles et d'exploitation. Les tracés doivent être ajustés de manière à respecter les consignes environnementales et les prescriptions particulières. Avant commande, il est nécessaire de vérifier avec le réalisateur la faisabilité du travail avec les moyens de guidage (surtout la qualité du signal GPS). À défaut, la présente méthode n'est pas applicable et un jalonnement manuel doit être prévu. Enfin, la fiche de chantier et le bon de commande sont rédigés.

Exécution des travaux

Le réalisateur (agence travaux ONF ou entreprise de travaux forestiers) vérifie avec le prescripteur la faisabilité de l'utilisation du guidage (qualité du signal GPS). Il implante ensuite virtuellement le réseau des cloisonnements, ou des lignes de plantation prescrites, dans le logiciel spécifique du GPS embarqué. Après l'exécution des travaux, il sauvegarde les données des travaux exécutés et les mémorise éventuellement sur le système GPS (la possibilité de sauvegarde dépend du modèle utilisé).

Archivage des données

Actuellement, seul le système ISAGRI permet de faire un enregistrement des données de traçage, des points de recilage locaux et des lignes de référence dans le format générique shp (shape), que l'on peut importer dans tous les logiciels



Le système ISAGUIDE permet d'importer le plan « Canopée » de la forêt et de s'en servir pour aller à la parcelle

de type SIG. Il y a donc compatibilité avec le progiciel de consultation de données géographiques CANOPEE, développé à l'ONF. En détail, il est actuellement possible d'exporter les données des parcelles en format shp pour récupérer les dessins, le géoréférencement et les données saisies dans la fiche INFO (fonction d'arpentage), en plus des sauvegardes du dossier IsaGPS+. À part la sauvegarde du dossier et l'importation dans « Agrimap », ISAGRI ne propose pas, pour l'instant, d'autres formes d'archivage.

Pour l'instant les autres marques ne font qu'un enregistrement spécifique à leur propre système. À terme, et afin de garantir un archivage à long terme des traçages en vue d'autres utilisations futures, l'enregistrement des données dans un format neutre et générique est souhaitable. Il permettrait de définir le processus d'archivage avec un calendrier de transmission et un schéma de sauvegarde pour que ces données soient sauvegardées de la même façon dans toutes les directions territoriales.

Formation des opérateurs

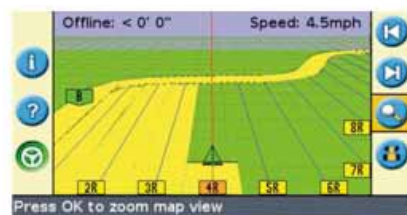
Les opérateurs pressentis doivent être des conducteurs d'engin confirmés. Ils doivent avoir des connaissances de base de l'utilisation des outils informatiques courants. La formation théorique et pratique sur le terrain en création de cloisonnements consiste alors en règle générale en une journée avec une personne reconnue expérimentée en la matière. Les fournisseurs disposent d'un réseau de formateurs ou de chauffeurs qualifiés pour assurer cette formation.

Après la formation initiale, il est nécessaire de permettre au conducteur de prendre en main l'outil pendant au moins une semaine en situation réelle (chantier) pour se familiariser avec toutes les fonctions. Il faut privilégier une utilisation fréquente pour une très bonne efficacité... Il est donc conseillé de spécialiser peu de tractoristes qui utilisent tout le temps cet outil plutôt que d'en former beaucoup qui oublieraient ensuite par manque de pratique...

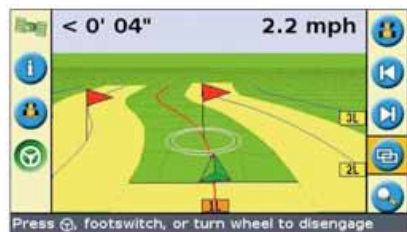
Vue aérienne ou 2D



Vue perspective ou 3D



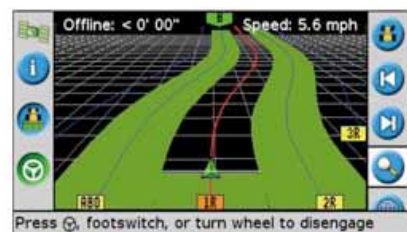
Fonctions de cartographie (point, lignes et zones)



Guidage pour changement de ligne



Mode nuit



Exemples de fonctionnalités du TRIMBLE EZ 250 (les autres marques en ont de comparables)

Conclusions

Les outils décrits ci-dessus répondent à deux objectifs forts inscrits au contrat État-ONF-FNCOFOR 2012-2016 : la diminution de la pénibilité du travail et l'amélioration de la productivité. Comme le montre cet exemple, on n'a pas forcément besoin d'outils coûteux ou très sophistiqués pour progresser en ce sens. Le gain de temps sur les créations et entretiens des cloisonnements peut permettre de mieux développer les cloisonnements, donc augmenter le volume de ces travaux, ou de réaliser d'autres travaux importants en forêt.

Ce type de développement contribue à renforcer la technicité des ouvriers forestiers et à ménager leur santé tout en préservant l'emploi.

Erwin ULRICH

ONF-DTCB département R&D

Christian LAFAY

(en retraite)

ONF - UP Jura Plaine

Dominique LAURENT

(en retraite)

ONF - UP Auvergne-Berry

Bernard JOVIGNOT

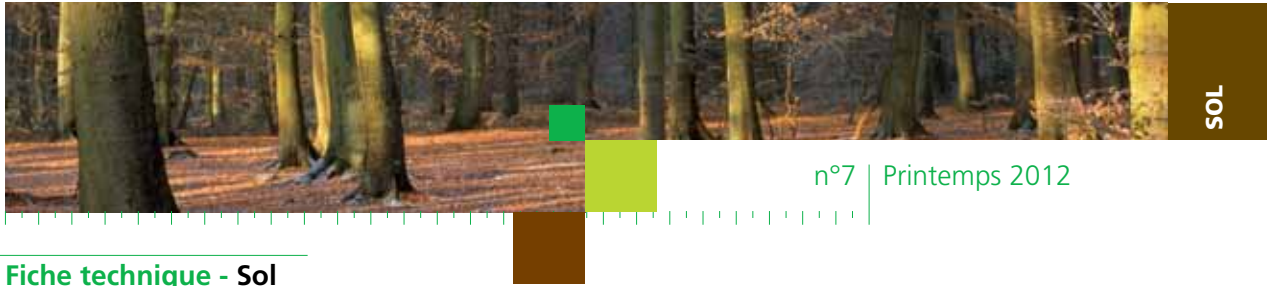
ONF - UP Bourgogne Est 2

Jean-Luc BARBIER

ONF - UP des Landes

Pour plus ample information

Le personnel de l'ONF peut consulter la fiche « N°3_ Création et traçage de cloisonnements à l'aide d'une solution de guidage embarqué sur tracteur » sur Intranet (http://intraforet.onf.fr/dg/dmd/rescomp/restrav/sommaire/fiches_techniques_me)



n°7 | Printemps 2012

Fiche technique - Sol

Planter les cloisonnements d'exploitation

Contexte général

La protection des sols

Le **contrat État-ONF-FNCOFOR 2012-2016** réaffirme les objectifs de gestion durable et multifonctionnelle des forêts. Des objectifs de prélèvement de bois y ont ainsi été inscrits.

L'axe 3 de la **politique environnementale de l'ONF** (voir instruction 10-P-3) concerne la protection des sols, avec l'objectif prioritaire d'en limiter le tassement dans le cadre des travaux et exploitations, qu'ils soient réalisés en interne ou par des prestataires externes.

Le **RNEF** (Règlement national d'exploitation forestière) traite de la préservation des sols dans son § 1.1.2. Il exige que tout intervenant « emprunte avec ses engins et véhicules de débardage les couloirs, cloisonnements d'exploitation, layons et passages désignés à l'ouverture du chantier par l'agent de l'ONF » et que, dans le cas d'équipements inexistantes ou insuffisants, il doit « adapter sa technique d'exploitation en fonction des possibilités physiques des sols et dans un souci global de préservation, en concertation avec l'agent de l'ONF ».

La **note de service 09-T-297** relative aux travaux sylvicoles ou d'exploitation et à la protection des sols traite, d'une part, de la sensibilité des sols vis-à-vis du tassement et, d'autre part, des cloisonnements, qui constituent, dès lors que



Marquage d'un cloisonnement d'exploitation

Crédit : D. Pischner / ONF

la pente le permet, une réponse adaptée à fois à la mécanisation et à la protection des sols. Sont en effet précisées dans cette note les conditions d'implantation et d'utilisation des cloisonnements permettant la mécanisation des travaux tout en prenant en compte leur sensibilité potentielle au tassement.

L'intérêt de cloisonnements pérennes

Le sylviculteur doit réfléchir le plus tôt possible à la manière dont les bois vont être exploités pour limiter la surface circulée en forêt par les engins forestiers, en les faisant tou-

jours passer par les mêmes voies, appelées cloisonnements d'exploitation, destinés à être pérennes.

La nécessité de leur implantation est rappelée dans tous les guides de sylviculture, qui intègrent les contraintes de circulation des engins forestiers.

Selon des études réalisées par le FCBA, s'il n'y a pas de cloisonnement dans une parcelle, la surface circulée peut atteindre 60 % de la surface totale au cours d'un même chantier ; et la presque totalité de la surface de la parcelle finit par être impactée au fur et à mesure des chantiers.

Cette fiche est un complément pédagogique à la note de service 09-T-297, à la fiche technique n°2 sur le diagnostic de la sensibilité des sols au tassement et au guide PROSOL. Elle explique comment mettre en place un réseau de cloisonnements.

Méthodes et savoir-faire



Concilier exploitation et préservation des sols : une priorité

La mise en place d'un réseau de cloisonnements d'exploitation (voir caractéristiques ci-contre) vise à concilier deux objectifs partiellement compatibles :

- minimiser la surface circulée par les engins forestiers ;
- optimiser le travail d'abattage, puis de débardage des bois.

Les engins doivent circuler exclusivement sur les cloisonnements. La pertinence de leur implantation est donc primordiale.

Les caractéristiques pédologiques sont les mêmes sur le cloisonnement et sur la parcelle. Aussi, dans le cas de sols fragiles, il convient de veiller :

Les caractéristiques essentielles des cloisonnements :

- **largeur : 4 m ;**
- **entre-axe : 15 m à 18 m, voire 24 m**, suivant le type de peuplement (se référer à la note de service 09-T-297) ;
- **orientation : dans le sens de la plus grande pente** (celui de l'écoulement des eaux), en tenant compte des zones humides, cours d'eau et éléments remarquables (patrimoine, paysage...) ;
- **imbrication : selon un angle de 30° à 45° par rapport à la piste**, en arêtes de poisson dirigées vers les dépôts de bois.

- à leur protection, en y déposant les rémanents ou en utilisant des machines ayant la plus faible pression possible au sol ;
- à leur praticabilité, en interrompant le chantier en cas de mauvaises conditions météorologiques (voir le RNEF § 3.2.2, ainsi que la fiche technique environnementale n°2 : action 3).



Concevoir et implanter un réseau : une méthode

1 - Analyser l'existant sur la parcelle et/ou le canton

L'utilisation du GPS et de Canopée est conseillée à ce stade de la démarche, pour :

- bien repérer et prendre en compte l'existant (voir éléments à relever ci-contre) ;
- introduire directement ces données sur carte ;
- les conserver dans le SIFOB pour être utilisées ultérieurement en interne (suivi de la politique environnementale) et en externe (envoi des cartes des coupes avec cloisonnements).

Les éléments à relever :

- **chemins existants**, avec sens de sortie des bois ;
- **lieux de stockage** des bois ou places de dépôt ;
- **zones de forte pente** ;
- **zones sensibles pour l'exploitation** (zones humides, fossés, sols peu portants, carrières...) ;
- **éléments linéaires** (fossés, talus, cours d'eau, murets, sentiers de randonnée...) avec les points de passage obligé ;
- **éléments ponctuels à protéger** (vestige, monument, arbre remarquable...).

2 - Cartographier les données

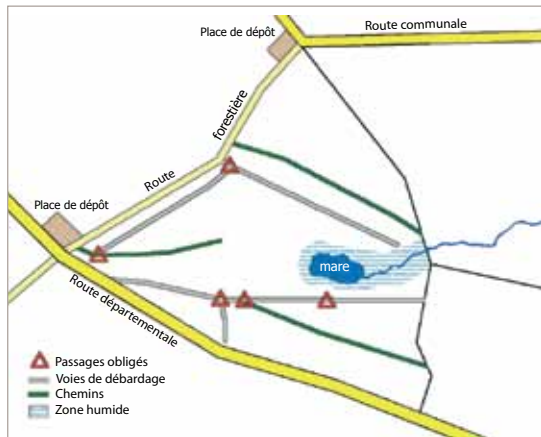
Que ce soit de manière informatique (sous Canopée) ou manuelle, les données de terrain doivent être positionnées sur carte.

Cette visualisation d'ensemble permet de proposer plusieurs solutions, puis de choisir celle qui répond le mieux à tous les objectifs.

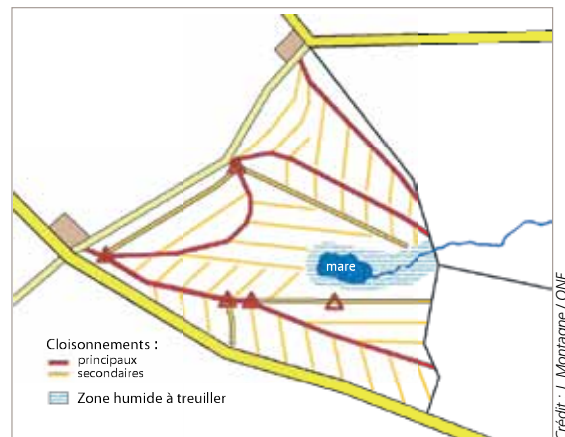
Méthodes et savoir-faire

3 - Choisir un réseau de cloisonnements

N.B. : Si un réseau de cloisonnements sylvicoles existe, il convient de sélectionner les cloisonnements d'exploitation dans ce réseau.



Carte de la parcelle avant exploitation avec repérage des passages obligés et des zones sensibles à éviter



Tracé des cloisonnements tenant compte des contraintes identifiées

Crédit : J. Montagne / ONF

> **Tracer sur la carte un ou plusieurs réseaux à partir de l'ensemble des données de terrain et en prenant en compte :**

• **l'environnement**

Proposer des cloisonnements aussi rectilignes que possible pour éviter les blessures aux arbres de part et d'autre, sauf s'ils doivent contourner les zones sensibles identifiées.

• **les usagers**

Veiller à la cohérence avec les autres plans de circulation en forêt, notamment ceux pour l'accueil du public (sentiers de randonnée, pistes cyclables...), pour concilier les différents usages de la forêt.

Vérifier que les places de dépôt desservies par les cloisonnements sont en retrait par rapport aux itinéraires très fréquentés par le public (routes, sentiers) et aux aires d'accueil, ainsi qu'aux espaces et aux éléments remarquables à protéger.

• **le paysage**

Pour améliorer la perception interne (ou rapprochée) des cloisonnements, éviter de les tracer trop rectilignes sur de longues distances.

Pour améliorer leur perception externe (ou éloignée) dans des situations très exposées aux regards, veiller à les décaler pour rompre l'impression de rectitude (voir illustrations du guide PROSOL sur la prise en compte du paysage : pages 47 à 49).

• **les contraintes des matériels**

Privilégier un réseau en arêtes de poissons, avec des angles de 30° à 45° d'un cloisonnement à l'autre et en arrivant sur la piste dans le sens de la place de dépôt.

> **Vérifier si nécessaire sur le terrain avec un professionnel (ETF ou exploitant)** que les options choisies sont bien opérationnelles et déterminer les limites potentielles d'utilisation.

> **Intégrer ce document dans le sommier et le SIG.** Veiller à ce que le plan final soit compréhensible et lisible par les intervenants.

Le temps nécessaire à ce travail de réflexion préalable est variable suivant les parcelles, la disponibilité du GPS et la maîtrise de Canopée (une demi-journée en général).

4 - Planter les cloisonnements sur le terrain

> Prendre en compte le paysage

Les cloisonnements doivent être **aussi discrets que possible** :

- ne pas tenter de les camoufler par des écrans hermétiques ;
- réaliser une intervention plus forte sur les lisières exposées aux regards : la perception de l'emprise des cloisonnements est alors atténuée par la mise à distance des arbres et la lumière arrivant au sol dans le peuplement ;
- les élargir sans exagération à leur extrémité, afin de faciliter les manœuvres des engins.

> Planter et marquer le réseau

L'implantation du réseau retenu doit être réalisée **avant la désignation de la coupe** conformément à l'instruction 09-T-69 :

- soit par marquage à la peinture blanche dans les peuplements non ouverts en régénération ;



Marquage du cloisonnement

Crédit : J. Montagne / ONF

- soit ouverture au gyrobroyeur dans les coupes de régénération avant le début de l'exploitation.

Dans tous les cas, le marquage doit être visible depuis la piste forestière et depuis la cabine d'un engin forestier.

Si le réseau est dense, on peut différencier les cloisonnements principaux des cloisonnements secondaires par des marquages différents (chevron, simple trait).

daires par des marquages différents (chevron, simple trait).

Suivant la complexité du réseau, la pénétrabilité de la parcelle et l'origine du peuplement (plantation), le temps d'implantation varie. Prévoir une journée pour 7 à 10 ha.

Suivre le déroulement de l'exploitation

Dans les forêts à enjeu d'accueil du public, il convient de :

- limiter l'exploitation en période de forte fréquentation ; à défaut, proposer la fermeture temporaire de certaines voies, en orientant le public vers des itinéraires de remplacement ;
- réduire la période de stockage des bois à proximité des aires d'accueil, pour des impératifs de sécurité et interdire tout dépôt sur ces aires.

La rencontre préalable

Elle est l'occasion de remettre à l'intervenant le plan du réseau de cloisonnements et de lui rappeler les prescriptions.

Les machines doivent circuler sur les cloisonnements. Seul peut être toléré localement un léger empiètement hors du cloisonnement.

Les prescriptions concernant les cloisonnements et la protection du milieu peuvent être rappelées, notamment celles du RNEF :

- diriger l'abattage pour éviter les blessures au peuplement restant, tout en facilitant la reprise par les engins de débardage ;

- repousser ou façonner les houp-piers pour ne pas entraver la circulation ;
- utiliser obligatoirement un câble quand les bois ne sont pas directement accessibles ;
- ne pas traverser et circuler dans les cours d'eau en dehors des équipements ou dispositifs appropriés permanents ; à défaut, obtenir l'autorisation administrative pour utiliser des dispositifs amovibles ou pour circuler de façon temporaire dans le cours d'eau ;
- empiler les bois courts à portée du grappin de la grue du porteur.

Par ailleurs, tout intervenant doit respecter les éléments remarquables indiqués dans les prescriptions particulières (vestige, monument, arbre remarquable...) et prévoir les consignes nécessaires pour assurer leur protection.

Les règles d'interruption du chantier sont précisées lors de cette rencontre.

Le bon usage des cloisonnements

Les cloisonnements subissent un certain tassement au fil des exploitations et nécessitent les mesures de protection ci-dessous.



Porteur réalisant une première éclaircie feuillus sur un cloisonnement

Crédit : E. Ulrich / ONF

Mesures de protection des cloisonnements

- > **Sur sol sec**, aucune mesure particulière n'est à prendre, le réseau étant toujours praticable.
- > **Quand le sol est frais et dès que les marques de pneus deviennent continues**, les intervenants doivent mettre en œuvre les mesures suivantes à titre préventif, sans attendre l'apparition des impacts :
 - veiller à protéger le cloisonnement avec tous les rémanents à disposition ;
 - installer des tracks ou des chenilles forestières ;
 - réduire les charges au débardage.
- > **Si ces mesures ne sont pas suffisantes et que la circulation des machines entraîne la création répétée d'ornières**, l'intervenant doit suspendre son chantier sur les zones les plus sensibles, conformément au RNEF (voir ci-dessous).

La suspension de la coupe

Les intervenants sont liés contractuellement par le RNEF : « En cas d'intempéries de durée prolongée et susceptibles d'affecter l'état du parterre de la coupe, l'intervenant ou, à défaut, l'agent de l'ONF, suspend le débusquage et le débardage dans un souci de préservation du milieu forestier et, en particulier, de l'intégrité physique des sols ».

La suspension de la coupe est réalisée par l'intervenant ou, à défaut, par l'agent de l'ONF. Le RNEF précise au § 3.2.2 que : « Cette interruption est strictement limitée à la durée nécessaire pour permettre le ressuyage du sol. Elle donne lieu, si nécessaire, à une prorogation du délai d'exécution du contrat. Les modalités d'interruption, de reprise et de pro-

longations éventuelles du délai du contrat sont fixées par les prescriptions du contrat ».

Grâce à la contractualisation globale avec les entreprises (contrat de prestation pour plusieurs chantiers, voire contrat pluriannuel), l'ETF peut pendant cette période se déplacer vers un chantier de repli prévu à cet effet.

La remise en état

La prévention est la priorité. Mais, en cas de création d'ornières, leur nivellement fait partie de la remise en état prévue par le RNEF. A ce titre, elle fait donc partie intégrante de la prestation effectuée par l'intervenant.

Pour des impacts ponctuels, le passage d'une lame peut suffire.

Pour des ornières étendues, des engins équipés de godets ou des tracteurs avec cultivateur (canadien,

cover crop crabe...) sont nécessaires.

Plus d'informations

Sources externes

- > **Guide pratique PROSOL : Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt**
(FCBA-ONF. 2009)
- > **Guide de gestion environnementale des chantiers forestiers « Laissez une bonne impression ! »**
(FCBA, ONF, Entrepreneurs des Territoires, FNCOFOR et FNB. 2003)
- > **Enjeux et gestion du risque de tassement des sols en forêt.**
PISCHEDDA D., BRETHES A., RANGER J.
Colloque INRA : Le tassement, un risque majeur pour les sols ? (SIMA. 2009)

Ces documents sont téléchargeables sur [Intraforêt](#) page 1437e

Sources internes

- > **RNEF**
Règlement national d'exploitation forestière : 9200-08-RN-BOI-001 téléchargeable sur www.onf.fr (taper +ec3 dans le moteur de recherche en haut à droite)
- > **Instruction 10-P-3 :**
Politique environnementale de l'ONF
- > **Instruction 09-T-69 :**
Modalité de désignation des coupes et contrôle de l'exploitation
- > **Note de service 09-T-297 :**
Travaux sylvicoles ou d'exploitation et protection des sols
- > **Note de service 09-G-1624 :**
Adaptation de l'aménagement forestier aux enjeux
- > **Fiche technique n°2 - Sol :**
Diagnostiquer la sensibilité du sol au tassement (2009)
- > **LAMANDE M., RANGER J., LEFEVRE Y. Effets de l'exploitation forestière sur la qualité des sols.**
(Les dossiers forestiers de l'ONF, n° 15. 131 p., 2005)
- > **Dossier « Exploitation respectueuse des sols »** (Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 19, pp 23-54., 2008)
- > **Intraforêt :**
 - page 1437e : Sols - Eviter leur dégradation physique
 - page [ada0](#) : Politique environnementale de l'ONF

Contact

Aspects techniques :
didier.pischedda@onf.fr
alain.brethes@onf.fr
noemie.goutal@onf.fr

Aspects accueil et paysage :
christele.gernigon@onf.fr
anne-marie.granet@onf.fr

Cette fiche est éditée grâce au FEDD, conformément au plan d'action de la politique environnementale (SPE : action H10).

Direction de la publication

ONF – DERN/DTCB/DCOM

Rédaction
 Jean-Michel MOUREY
 Didier PISCHEDDA
 Laurence LEFEBVRE

Printemps 2012

Glossaire

Canopée : système de cartographie géolocalisée de l'ONF

Cloisonnement d'exploitation : voie de vidange ouverte dans un peuplement dont la largeur est adaptée à la circulation des machines d'exploitation

Consigne : traduction par l'intervenant de toute prescription en éléments opérationnels pour réaliser le chantier

ETF : entrepreneur de travaux forestiers

FCBA : Institut technologique chargé des secteurs Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement

GPS : (Global positioning system) : appareil permettant, grâce à des satellites, de se repérer géographiquement

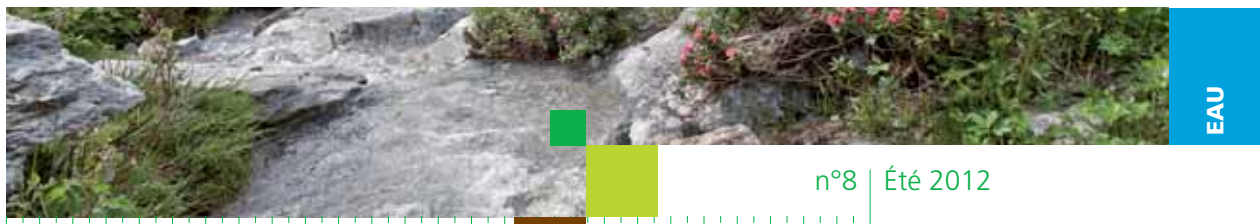
Prescription : toute mesure technique imposée par l'ONF à l'intervenant ; outre les aspects d'organisation du chantier et de sécurité, une prescription peut concerner notamment des exigences environnementales (protection réglementaire ou engagement volontaire) ou sylvicoles (guide de sylviculture, itinéraire technique de travaux sylvicoles, règle de l'art...)

RNEF : règlement national d'exploitation forestière

SIFOB : système d'information forêt bois de l'ONF



Direction Générale
 2, avenue de Saint-Mandé
 75570 Paris Cedex 12
 Tél. 01 40 19 58 00
www.onf.fr
 Certifié ISO 9001 et ISO 14001



n°8 | Été 2012

Fiche technique - Eau

Préserver les tourbières

Contexte général

Les tourbières sont des **zones humides** réglementées par les articles L211-1 et R211-108 et suivants du code de l'environnement. L'eau stagnante y crée un milieu dépourvu d'oxygène limitant les processus de décomposition des végétaux morts, provoquant l'accumulation de la tourbe. Cette véritable « roche végétale » contient 85 % d'eau et jusqu'à 50 % de son poids sec en carbone.

Les tourbières sont des **régulateurs** : elles filtrent ou stockent l'eau, ralentissent son écoulement et constituent des réservoirs naturels d'eau potable. Elles créent des microclimats frais, réduisent l'importance des crues et limitent l'érosion en montagne en stabilisant les sols.

Les tourbières ne couvrent que 3 % de la surface terrestre mais **stockent le carbone** presque autant que l'atmosphère terrestre et deux fois plus que les forêts, qui couvrent 30 % de la surface terrestre. La dégradation des tourbières est ainsi une source majeure et croissante d'émission de gaz à effet de serre.

Les tourbières abritent une **biodiversité rare**, avec de nombreuses espèces protégées. Elles offrent à la faune des espaces privilégiés pour s'alimenter, se reproduire ou se reposer.

Contexte pour l'ONF

Propriétaires et gestionnaires ont un rôle primordial pour préserver les tourbières, car les activités forestières sont susceptibles de les affecter. Des partenariats (notamment entre conservatoires d'espaces naturels et ONF) ont donné naissance à de nouvelles pratiques, permettant de conserver ces milieux fragiles.



Photo : J.-M. Mourey (ONF)

Les tourbières, milieux d'une richesse exceptionnelle, sont des zones humides protégées dont le gestionnaire doit tenir le plus grand compte. Ici, la tourbière de Frasné (Doubs).

Elles constituent souvent un **patrimoine** culturel et paysager remarquable, témoignant des usages d'antan. Leurs capacités de conservation leur confèrent un rôle d'archives naturelles depuis les dernières glaciations (palynologie, paléontologie, géochimie...).

Certaines peuvent servir de support à diverses **activités** (fauche, pâturage, chasse, pêche, tourisme...),

qui doivent alors être réglementées dans un souci de développement durable.

La pérennité des tourbières est liée à leur bilan hydrique positif. Elles sont donc plus fréquentes sous des climats frais et humides. En France, elles couvrent environ 100 000 ha, soit 0,2 % du territoire. Toutes les régions en comportent, mais en nombre et surface très variables.

S'agissant d'un enjeu majeur, l'ONF, certifié ISO 14001, s'est fixé comme objectif 2.2 de sa **politique environnementale** d' "éviter les perturbations hydrauliques des cours d'eau et des zones humides répertoriées".

Des **prescriptions spécifiques** applicables à toutes les zones humides identifiées ont été intégrées au **RNTSF** et au **RNEF** : tout intervenant ne doit en aucun cas traverser ces zones avec des engins, abandonner ou entreposer de rémanent, effectuer de traitement phytopharmaceutique et stocker d'engins, de matériaux et de récipients à moins de 10 mètres de ces zones.



Méthodes et savoir-faire

Typologie des tourbières

Type et origine	Description	Menaces
Tourbières OMBROTROPES (alimentées exclusivement par les précipitations)		
Tourbières OMBROGÈNES Alimentées uniquement dès leur origine par les précipitations qui doivent être abondantes et régulières. Correspondant à l'image classique qu'on se fait des tourbières.	> Tourbières bombées 1 Milieux acides et oligotrophes (pauvres en éléments nutritifs). Fréquente domination des sphaignes. Présence d'espèces végétales et animales très spécialisées. Parfois appelées hauts marais.	- Précipitations azotées - Drainage - Création de plans d'eau - Plantation de résineux - Remblaiement
Tourbières MINÉROTROPES (alimentées par des eaux de surface ou souterraines)		
Selon la nature des roches sur lesquelles ou au travers desquelles passe l'eau qui les alimente, mais quelle que soit la géomorphologie, elles peuvent être acidiphiles (dominance de sphaignes) ou basophiles (dominance de carex et de graminées), oligotrophes (mais moins que les ombrotrophes) ou riches en éléments nutritifs. L'origine, le fonctionnement hydrologique et la géomorphologie déterminent les types suivants :		
Tourbières SOLIGÈNES Alimentées par l'eau circulant dans les nappes souterraines ou en surface	> Pentés et sources tourbeuses 2 Zones de faible surface souvent méconnues et non inventoriées.	- Destruction par passage d'engins - Perturbation en amont - Remblaiement
Tourbières TOPOGÈNES Liées à une nappe affleurante dans une dépression	> Marais tourbeux de plaine 3 Occupant souvent de vastes dépressions, à faible altitude. Riches en espèces animales et végétales.	- Drainage - Plantation - Remblaiement - Embroussaillage
Tourbières LIMNOGÈNES Se développant sur des plans d'eau, souvent en contexte post-glaciaire	> Lacs-tourbières 4 Localisés dans les massifs montagneux comportant souvent des tourbières de transition, pouvant évoluer vers des tourbières bombées.	- Perturbation en amont (pollution, prélèvement, détournement) - Ennoïement par édification de digue pour pêche et aménagements touristiques
Tourbières FLUVIOGÈNES Se formant dans les parties externes du lit d'une rivière	> Tourbières alluviales 5 Devenues rares, tant les grandes vallées où elles se développaient ont été modifiées. Substrat généralement plus riche que les autres tourbières.	- Equipement et urbanisation - Populiculture - Agriculture intensive - Remblaiement
Tourbières THALASSOGÈNES Se formant dans les dépressions arrière-dunaires	> Tourbières littorales 6 De faible surface et de faible épaisseur de tourbe. Concentration de cortèges spécifiques très originaux, là où elles ont pu subsister.	- Urbanisation - Modifications du littoral - Tourisme côtier
Cas particuliers (pouvant recouper les types précédents)		
Développement dans de simples mares forestières, à partir de feuilles et de branches mal décomposées	> Mares tourbeuses 7 De petite taille et peu profondes. Colonisation par saules, bouleaux, parfois aulnes, pins et sphaignes. Nécessité d'une micro-gestion	- Curage trop vigoureux - Mise en lumière trop radicale - Déboisement de la partie tourbeuse - Traversée d'engins - Remblaiement ou comblement
Faciès de dégradation ou de vieillissement de tourbières ou situation en bordure de tourbière	> Landes tourbeuses 8 Faible épaisseur de tourbe. Vastes surfaces planes à basse ou moyenne altitude, souvent en mosaïque.	- Embroussaillage - Drainage - Plantation - Remblaiement
Formations naturellement boisées ou liées aux activités humaines (suite au drainage)	> Bois tourbeux Pessières, pinèdes et boulaies se développant sur tourbe.	- Gestion forestière inadaptée ou intensive - Changement d'essences
Formations liées à l'activité récente ou ancienne des glaciers, dépendance de lacs, sources ou de torrents	> Milieux tourbeux de haute montagne Très variés et généralement oligotrophes, comportant des espèces intéressantes et rares dans le sud de l'Europe. Extrême fragilité.	- Aménagements touristiques - Remblaiement

Méthodes et savoir-faire



Photo : J.-M. Maurey (ONF)

1 Tourbière bombée (Doubs)



Photo : F. Müller (CEV - Pôle-relais Tourbières)

2 Pente et source tourbeuse (Loire)



Photo : F. Amabboldi (ONF)

3 Marais tourbeux de plaine (Yvelines)



Photo : J.-M. Maurey (ONF)

4 Lac-tourbière (Doubs)



Photo : J. Pihet (ONF)

5 Tourbière alluviale (Haut-Rhin)



Photo : F. Müller (CEV - Pôle-relais Tourbières)

6 Tourbière littorale (Somme)



Photo : F. Amabboldi (ONF)

7 Mare tourbeuse (Essonne)



Photo : F. Müller (CEV - Pôle-relais Tourbières)

8 Lande tourbeuse (Haute-Vienne)

Méthodes et savoir-faire

Les dix commandements pour les préserver

La moitié des tourbières françaises a disparu depuis 60 ans pour diverses raisons : drainage et assèchement, abandon de certaines pratiques traditionnelles, création de plans d'eau, reboisements ou exploitation industrielle de tourbe...

La gestion forestière, moyennant certaines précautions ou limites, est compatible avec la préservation de la plupart de ces milieux fragiles. Et le maintien d'espaces ouverts originaux au sein de massifs forestiers pour des raisons paysagères ou cynégétiques peut contribuer à en augmenter la valeur écologique. Par contre, certaines actions (plantation, drainage, remblaiement, création de pistes...) leur sont dommageables.

1 - Ne pas modifier leur alimentation en eau, ni en quantité, ni en qualité

Éviter tout drainage, recalibrage, remblaiement ou déviation d'écoulement pour ou par le passage d'engins. Utiliser des dispositifs de franchissement temporaire à cette fin. Ne pas procéder à des pompages dans leur zone d'alimentation.

2 - Ne pas y créer de plan d'eau et de digue

L'ennoisement les détruit.

3 - Exclure les milieux tourbeux des enjeux de production et proscrire leur boisement

Les potentialités de production y sont faibles. Les travaux préparatoires et les exploitations sont coûteux. Les risques de chablis sont importants.

4 - Conserver tout autour une bande de protection

Maintenir l'ourlet de ligneux qui s'y installe souvent naturellement, afin notamment de limiter les risques d'érosion.

5 - Ne pas utiliser de produits chimiques dans et à proximité immédiate de ces milieux

Les herbicides, fongicides et insecticides altèrent la qualité de l'eau et sont nuisibles à la flore et à la faune.

6 - Éviter toute source de pollution et tout apport extérieur

Le sol doit rester pauvre à l'intérieur et à proximité immédiate de ces milieux. Tout dépôt de débris végétaux ou de matériau risqué, en se décomposant, d'enrichir le sol.

7 - Interdire la circulation des engins dans ces milieux ; éloigner les aires de dépôt

Les sols gorgés d'eau offrent une faible portance aux engins qui risquent de s'y enliser, d'arracher la végétation de surface et de tasser les sols.

8 - Ne pas utiliser de feu dans et à proximité immédiate de ces milieux

La tourbe est inflammable ; les incendies sont difficiles à arrêter et peuvent causer des dégâts importants.

9 - Consulter des spécialistes avant toute intervention risquant de modifier leur hydraulique

A condition de bien étudier au préalable leur impact sur le milieu, ces interventions (reprofilage de fossés, étrépage...), associées à d'autres travaux forestiers nécessitant le déplacement d'une pelle mécanique, peuvent être bénéfiques à la biodiversité.

10 - Éviter toute intervention de mars à juin dans ces milieux

La réalisation tardive des travaux (dégauchements, débroussaillage, fauche...) permet de ne pas nuire à la reproduction de certaines espèces inféodées à ces milieux.

Toute intervention éventuelle doit respecter les dispositions des articles L211-1 et R211-108 et suivants du code de l'environnement.

Rappel de certaines prescriptions du RNTSF et du RNEF

Ces prescriptions figurent aux § 2.3 et 2.7 du RNTSF et aux § 1.1.3, 1.1.5 et 3.6 du RNEF.

Prescriptions générales

Tout intervenant doit prendre toutes précautions utiles et dispositions nécessaires pour respecter la qualité de l'écoulement des eaux, en veillant notamment à empêcher toute fuite de lubrifiant ou de carburant.

Il doit utiliser systématiquement, pour les huiles de scies à chaîne (tronçonneuses et abatteuses), des lubrifiants biodégradables satisfai-

sant aux critères et exigences de l'éco-label européen, conformément aux engagements pris par l'ONF dans le cadre de sa politique environnementale.

Prescriptions spécifiques « Zone humide »

En aucun cas, l'intervenant ne doit :

- abandonner ou entreposer de résiduels dans toute zone humide ;

- effectuer de traitement phytomédicamentaire à moins de 10 mètres de toute zone humide ;

- stocker d'engins, de matériaux, de récipients à moins de 10 mètres de toute zone humide.

La mention « Zone humide » doit figurer dans les documents remis à l'intervenant et la zone humide doit être localisée sur le plan.

Des actions en faveur des tourbières réalisées par l'ONF

Restauration d'une tourbière en Réserve naturelle nationale du lac Luitel (Isère)

La tourbière ombrotrophe du col Luitel a fait l'objet dans les années 1950 d'un drainage périphérique et de plantations d'épicéa, simultanément au reboisement des versants situés sur sa bordure. Leur exploitation, inscrite dans le plan de gestion de la réserve, a été réalisée en 2004-2005.

Les épicéas ont été extraits entiers depuis la route qui longe la tourbière et ébranchés en amont, pour ne laisser aucun rémanent sur la tourbière. Les plus gros ont été dé-

busqués depuis la périphérie, les plus petits extraits manuellement. Une partie a été utilisée, après broyage, pour matérialiser un sentier en mulch. Certains gros individus plantés au cœur de la tourbière ont été annelés et laissés sur pied.

Dans deux secteurs expérimentaux, quelques souches ont été arrachées et la litière d'épicéas accumulée a été décapée et évacuée pour laisser place à la lande tourbeuse et favoriser le dévelop-



Photos : C. Desplaque (ONF)

pement de ses espèces typiques, notamment la Callune vulgaire et le Pin à crochets (voir l'évolution ci-dessus juste après les travaux, puis 1 an et 4 ans après).

Gestion forestière des tourbières en forêt communale de Frasne (Doubs)

En 1952, après création de fossés de drainage, un hectare de tourbière a été planté en Pin Weymouth dans la forêt communale de Frasne, relevant du régime forestier, qui fait partie du site Natura 2000 « Bassin du Drugeon » et de la Réserve naturelle régionale de Frasne.

Pour restaurer la dynamique naturelle de la pineraie-pessière sur tourbe (habitat d'intérêt communautaire), le Pin Weymouth a été éliminé, dans le cadre d'un contrat forestier Natura 2000 (chantier d'éli-

mination ou de limitation d'une espèce indésirable).

Afin d'éviter toute pénétration d'engin, la technique d'exploitation par câble-mat a été retenue : un câble est fixé d'un côté sur un mât installé sur la route forestière et de l'autre sur un arbre de la forêt, permettant le déplacement d'un chariot motorisé ramenant à la route jusqu'à trois arbres par manœuvre.

L'évolution de cette tourbière va maintenant être suivie, notamment



Photo : B. Bertrin (ONF)

le développement de ses espèces typiques, comme le Pin à crochets et les Ericacées (Airelle des marais, Airelle rouge, Canneberge).

Gestion de zones paratourbeuses en forêt domaniale de Rambouillet (Yvelines)

La forêt de Rambouillet est parsemée de zones humides : landes, prairies, boisements tourbeux, suintements, mares tourbeuses, rus, fossés...

Vingt réserves biologiques dirigées y ont été instaurées avec :

- ouverture de landes tourbeuses, par éradication de ligneux (bouleaux, résineux) ;
- création de carrés d'étrépage et reprofilage de fossés au profit de plantes remarquables (*Drosera intermedia*, *Rhynchospora alba*, *Lycopodiella inundata*) ;
- fauchage, recépage ou pâturage de prairies humides pour *Brenthis ino*, lépidoptère des magnocaricaies ;
- débroussaillage partiel des rives de rus tourbeux au profit de *Coenagrion mercuriale* (odonate protégé au niveau national) et de coléoptères aquatiques ;
- micro-gestion de mares tourbeuses favorisant les odonates (notamment *Sympetrum danae*) ;



Photo : M. Bonaforte (ONF)

- conservation des vieux boisements tourbeux (nécromasse importante, forts enjeux entomologiques).

Plus d'informations

Sources externes

- > **Le monde des tourbières et des marais**
Guide Delachaux et Niestlé, 2006
- > **Tourbières et marais alcalins des vallées alluviales de France septentrionale**
Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, 2007
- > **Tourbières des montagnes françaises**
Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, 2010
- > **Tourbières - Le point pour leur gestion**
Espaces Naturels n°11, 2005
- > **L'écho des tourbières**
Revue du Pôle-Relais Tourbières
- > **Pôle-Relais tourbières**
<http://www.pole-tourbieres.org>
contact@pole-tourbieres.org
- > **Agences de l'Eau**
<http://www.lesagencesdeleau.fr>
- > **DREAL**
<http://www.ecologie.gouv.fr>
Rubrique « services déconcentrés »
- > **Portail national sur les zones humides**
<http://www.zones-humides.eafrance.fr>

La plupart des publications ci-dessus sont téléchargeables sur <http://www.pole-tourbieres.org/en-action/les-publications-du-pole-relais/>

Sources internes

- > **La gestion des mares forestières de plaine**
8500-07-GUI-ETU-001 (F. Arnaboldi, N. Alban / DT IDF-NO, 2007)
- > **Pour une exploitation respectueuse des sols**
(Bartoli M., Pischedda D., Chagnon JL., 2006).
- > **RNTSF**
Règlement national des travaux et services forestiers : 9200-10-RN-SAM-001
- > **RNEF**
Règlement national d'exploitation forestière : 9200-08-RN-BOI-001
- > **Guide juridique sur l'eau :**
9200-10-GUI-JUR-002
- > **Note de service 09-G-1624 :**
Adaptation de l'aménagement forestier aux enjeux
- > **Mode opératoire 9200-09-MOP-EAM-001 :**
Plan type et cahier des charges de l'aménagement forestier standard
- > **Dossier « Exploitation respectueuse des sols »** (Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 19, pp 23-54, 2008)
- > **Intraforêt :**
 - page 1c20b : Tourbières - Conservation des milieux
 - page 1278a : Réglementation - Protection de l'eau et des zones humides
 - page 153e6 : Prescriptions et consignes
 - page ada0 : Politique environnementale de l'ONF

Contact

Au Siège

nicolas.drapier@onf.fr (DERN)
jean-michel.mourey@onf.fr (DERN)
emmanuel.moitry@onf.fr (Campus)

Dans les territoires

carole.desplanque@onf.fr
(DT Rhône-Alpes)
francoise.vagneur@onf.fr
(DT Franche-Comté)
elisabeth.royer@onf.fr
frederic.arnaboldi@onf.fr
(DT Île-de-France - Nord-Ouest)

Cette fiche est éditée grâce au FEDD, conformément au plan d'action de la politique environnementale (SPE : action H10).

Direction de la publication

ONF – DERN/DTCB/DCOM

Rédaction

Jean-Michel MOUREY
Francis MULLER (FCEN/Pôle-Relais Tourbières)

Été 2012

Glossaire

RNEF : Règlement national d'exploitation forestière téléchargeable sur le site Internet de l'ONF en tapant +ec3 dans le moteur de recherche

RNTSF : Règlement national des travaux et services forestiers téléchargeable sur le site Internet de l'ONF en tapant +1147 dans le moteur de recherche

Cette fiche a été réalisée en partenariat avec le Pôle-Relais Tourbières :
MEFC, 7 rue Voirin, 25000 Besançon - Tél. : 03 81 81 78 64



Direction Générale
2, avenue de Saint-Mandé
75570 Paris Cedex 12
Tél. 01 40 19 58 00
www.onf.fr

Certifié ISO 9001 et ISO 14001



à suivre

Prochain numéro

Le numéro de l'automne 2012 sera entièrement consacré au colloque interne ONF des 19-20 juin 2012 à Paris : « Changement climatique et évolution des usages du bois, quelles incidences sur nos orientations sylvicoles ? ».

Retrouvez RenDez-Vous techniques en ligne

Sur intraforêt : pour les personnels ONF, tous les articles sont accessibles au format pdf dans le portail de la direction technique et commerciale bois (Recherche et développement / La documentation technique) ; pour un article particulier, utiliser le moteur de recherche de la base documentaire.

Sur internet : [http://www.onf.fr/\(rubrique Lire, voir, écouter / Publications ONF / Périodiques\)](http://www.onf.fr/(rubrique Lire, voir, écouter / Publications ONF / Périodiques))

La revue **RenDez-Vous techniques** est destinée au personnel technique de l'ONF, quoique ouverte à d'autres lecteurs (étudiants, établissements de recherche forestière, etc.). Revue R&D et de progrès technique, elle vise à étoffer la culture technique au-delà des outils ordinaires que sont les guides et autres instructions de gestion. Son esprit est celui de la gestion durable et multifonctionnelle qui, face aux défis des changements globaux, a abouti à l'accord conclu en 2007 avec France nature environnement : « Produire plus de bois tout en préservant mieux la biodiversité ». Son contenu : état de l'art et résultats de la recherche dans les domaines de R&D prioritaires, mais aussi porté à connaissance de méthodes et savoir-faire, émergents ou éprouvés, clairement situés vis-à-vis des enjeux de l'établissement ; le progrès technique concerne toutes les activités de l'ONF en milieu naturel et forestier, en relation avec le cadre juridique.

Sous l'autorité du directeur de publication assisté d'un comité directeur ad hoc, la rédaction commande des articles, suscite des projets, collecte les propositions, organise la sélection des textes et assure la relation avec les auteurs. N.B. : certaines propositions, parfaitement légitimes en soi, ne se justifient pas forcément dans RDV techniques et méritent d'être orientées vers d'autres revues forestières. Enfin le comité éditorial, siégeant une fois par an, est informé de cette activité et émet ses avis, critiques ou suggestions.

**Si vous désirez nous soumettre des articles
prenez contact avec :**

ONF - Département recherche
Christine Micheneau
Tél. : 01 60 74 92 47
Courriel : rdvt@onf.fr