sommaire

N° 204

Institut pour le développement forestier / Centre national de la propriété forestière
23, av. Bosquet, 75007 Paris
Tél. 01 40 62 22 80
foretentreprise@cnpf.fr

Directeur de la publication
Alain de Montgascon

Directeur de la rédaction
Thomas Formery

Rédactrice
Nathalie Maréchal

Conception graphique
Jean-Éric Ridonat (High'com)

Maquettiste
Sophie Saint-Jore

Responsable Édition-Diffusion
Samuel Six

Diffusion — abonnements
François Kuczynski

Publicité
Bois International
3 rue Claude Odde - BP. 50523
42000 Saint-Étienne
Tél. : 04 77 74 33 77

Impression
Centre Impression
BP 218 — 87220 Feytiat
Tél. 05 55 71 39 29

Numéro d'imprimeur 00123

Tous droits de reproduction ou de traduction réservés pour tous pays, sauf autorisation de l'éditeur.

Périodicité : 6 numéros par an
Abonnement 2012
France : 48 € - étranger : 62 €
édité par le CNPF-IDF

Commission paritaire des publications et agences de presse : n° 1014 B 08072
ISSN : 0752-5974
Siret : 180 092 355 00015

Les études présentées dans Forêt-entreprise ne donnent que des indications générales. Nous attirons l'attention du lecteur sur la nécessité d'un avis ou d'une étude émanant d'une personne ou d'un organisme compétent avant toute application à son cas particulier. En aucun cas le CNPF-IDF ne pourrait être tenu responsable des conséquences — quelles qu'elles soient — résultant de l'utilisation des méthodes ou matériels préconisés.

Cette publication peut être utilisée dans le cadre de la formation permanente.

Dépôt légal : mai 2012

Imprimé sur papier PEFC
PEFC/10-31-1146

foretpriveefrancaise.com le site de la forêt privée française

'Une forêt privée gérée et préservée par un réseau d'hommes compétents au service des générations futures

Forêt Privée Française

2 **agenda**

3 **édito**

4 **actualité**

5 **parutions**

6 **feuillus précieux**
Le projet européen POCTEFA PIRINOBLE
P. Van Lerberghe

9 **autécologie des feuillus**
Autécologie du Frêne commun et du Frêne oxyphylle
P. Marty, L. Larrieu, H. Claessens, P. Gonin, J. Coello

13 **chêne**
Conséquences du changement climatique en Midi-Pyrénées
J. Lemaire, N. Maréchal

17 **dossier**
Changement climatique : quelques outils pour comprendre et anticiper

46 **phytosanitaire**
Lutte contre la fougère aigle : l'Asulame disparaît… !
X. Auzuret, L. Wehrlen

50 **merisier**
Des plants de merisiers issus des vergers à graines disponibles !
J. Dufour, F. Santi, J. Migeot, M. Rondouin, H. Le Bouler

55 **économie**
Forinvest, un business angels *forestier ?*
J. Loutrel

59 **populiculture**
Vers de nouveaux critères de sélection pour la populiculture dans un contexte de climat changeant
F. Brignolas, É. Paillassa, R. Fichot

Photo de couverture : *Hêtre défeuillé (à cause de la sécheresse de 2003) Plateaux calcaires.*
© S. Gaudin, CRPF Champagne-Ardenne

Les Journées du Bois

Les journées du bois se dérouleront du **9 au 13 mai 2012** et remplacent la traditionnelle « Semaine du Bois ». Les Journées du Bois ont désormais une visibilité nationale, relayées régionalement. Quelques grandes manifestations mettent l'accent sur une communication à la découverte de la filière bois et des forêts.

Consulter le programme des manifestations auprès de votre interprofession régionale.

FOREXPO

Forexpo, le salon européen de la sylviculture et de l'exploitation forestière, se tiendra les **6, 7 et 8 juin** à l'aérodrome de Mimizan, au cœur du plus grand chantier de reboisement des Landes de Gascogne.

Le reboisement (plus de 200 000 ha), les itinéraires sylvicoles, la protection des forêts contre les incendies, la mécanisation forestière, la certification de gestion durable, le bois énergie sont quelques-unes des nombreuses thématiques exposées. Cette manifestation forestière rassemble près de 400 exposants européens, les dernières innovations de la sylviculture et de l'exploitation forestière sur un site de 70 hectares. Des expositions (un panorama des pratiques sylvicoles passées et à venir conçu par le CRPF Aquitaine), des démonstrations, des ateliers, des conférences (certification PEFC, la ressource en Aquitaine par l'IGN…), pour une vision générale de l'offre de la filière forêt/bois.

Site Internet :
http://forexpo.mediaforest.net/fr/
La librairie de l'IDF sera présente sur le stand du CRPF Aquitaine.

12e carrefour international du Bois

Le grand rendez-vous des acheteurs et vendeurs de bois, unique en Europe, aura lieu du **6 au 8 juin** à Nantes. Sur une surface de 17 000 m², plus de 500 exposants mettront en valeur le bois brut ou transformé, de la forêt à l'emballage, de la construction à l'aménagement intérieur, de l'isolation au chauffage. Les résultats de 2 études seront présentés en exclusivité : la construction bois et la distribution des sciages en France. Un cycle de conférences, un espace prescription pour le bois dans la construction, des expositions des nouveaux produits ou innovations, « Bois et lumière », des visites de réalisations en bois dont le « bâtiment B » future vitrine de la filière bois régionale : voilà le programme organisé par Atlanbois, interprofession pour la promotion du bois en région Pays de la Loire.

Informations sur le site Internet : www.timbershow.com/Nantes/France

Les producteurs et le bois énergie Quelle révolution ?

Le CRPF (Centre régional de la propriété forestière) Aquitaine et l'USSA (Union des syndicats de sylviculteurs d'Aquitaine) organisent le **5 juin 2012**, un séminaire d'information et de réflexion sur la biomasse forestière primaire, à l'Inra de Cestas-Pierroton (Gironde).

Contact : Henri Husson (CRPF Aquitaine). h.husson@crpfaquitaine.fr

Alliances au pays des racines

La Société Nationale d'Horticulture de France (SNHF) organise le **25 mai** à Paris un colloque scientifique sur les symbioses entre les racines et les mycorhizes, leur rôle central dans l'écologie et l'évolution des plantes, au travers de 8 communications.

Renseignements par téléphone : 01 44 39 78 78 ou sur le site Internet :
www.snhf.org

Arbo'Culture

Du **17 au 20 mai**, à l'Arboretum national des Barres (Nogent-sur-Vernisson, 45), la librairie de l'IDF sera présente au 1er salon Arbo'culture où l'arbre, la nature, l'environnement seront croqués par des illustrateurs, éditeurs, libraires, conteurs, sculpteurs…

www.arbofolia.com

La foire forestière KWF-Tagung

Elle se déroulera du **13 au 16 juin** à Ostalbkreis (Bopfingen, Allemagne). Euroforest, partenaire de KWF, propose du 15 et 16 juin, de découvrir cette foire forestière européenne avec, aussi la visite d'une scierie locale et la rencontre de professionnels et de forestiers allemands.

Contact : Natacha Carré, Euroforest C/o Aprovalbois, BP 23502, F-21035 DIJON Cedex ; Tél. +33 3 80 44 35 23,
www.euroforest.fr

3e Fête de la forêt du GDF Millevaches

La fête de la Forêt du Groupement de développement forestier du Plateau de Millevaches en Limousin aura lieu du **7 au 8 juillet 2012**, à Royère de Vassivière, lieu-dit Arfeuille.

Organisée par GDF Millevaches et la Communauté de communes Bourganeuf Royère de Vassivière, avec le soutien du CRPF et du Syndicat des forestiers privés du Limousin, un colloque sur le thème du réchauffement climatique ainsi qu'une vente de bois sur pied sont au programme.

Site Internet : http://3efetedelaforet1000vaches.over-blog.com

éditorial

Chaleur et sécheresse !

L'air de rien, l'année 2011 se révèle comme l'année la plus chaude jamais enregistrée en France depuis 1900 et l'une des plus sèches depuis 50 ans !

Face à cette illustration du changement climatique, le dossier central de ce numéro présente différents outils obtenus dans le cadre du réseau mixte technologique consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique (RMT Aforce).

Quelques explications sur ce réseau piloté par l'IDF.

Le RMT Aforce rassemble une douzaine d'organismes forestiers appartenant aux domaines de la recherche, du développement, de l'enseignement, de la formation et de la gestion. Il a été créé fin 2008, sous l'impulsion des forestiers conscients de la nécessité de constituer un lieu d'échange et de transfert de l'information afin de répondre à leurs préoccupations. Ce réseau fonctionne grâce à une forte mobilisation de ses partenaires et à leurs engagements financier et humain. Il est devenu le référent sur cette thématique. Il est soutenu par le ministère en charge de la forêt et, depuis peu, par l'interprofession nationale France Bois Forêt. Initié à l'origine pour trois ans, il vient d'obtenir une prolongation du label RMT, jusqu'en fin 2013.

Sa première finalité est la mise au point d'outils d'aide à la décision permettant au gestionnaire de réduire la vulnérabilité des peuplements face aux évolutions climatiques attendues.

Le réseau active par ailleurs le transfert des connaissances et la diffusion de l'information.

Le réseau doit maintenant utiliser ces résultats pour aller jusqu'au bout du transfert et formaliser des outils simples de gestion :
- diffusion de cartes de vulnérabilité validées,
- méthodes de prise en compte du risque dans les guides de sylviculture et dans les directives,
- formation au diagnostic de vulnérabilité…

L'enjeu est de taille : se préparer au changement climatique, connaître et intégrer le risque, opter pour une gestion préventive.

Thomas FORMERY

« Hêtre des Vosges »

Le Pôle d'excellence rural Bois Feuillus des Vosges lance la marque « Hêtre des Vosges ». Ce projet économique est structurant pour les Vosges et le bassin forestier d'Épinal. Le développement de la filière bois feuillus, du hêtre en particulier, est visé par 5 opérations en faveur de l'emploi, de l'innovation et la protection de l'environnement :
- optimisation de la gestion forestière par une charte forestière de territoire,
- promotion du hêtre des Vosges,
- création d'une plateforme de traitement technologique des bois feuillus,
- d'un incubateur « Créabois Inc. » en zone de revitalisation rurale,
- d'une maquette constructive prototype de systèmes constructifs à des fins pédagogiques.

Communiqué novembre 2011

« Les entrepreneurs des territoires s'engagent pour les jeunes »

La Fédération nationale Entrepreneurs des Territoires (FNEDT, organisation des entrepreneurs de travaux agricoles, forestiers et ruraux) s'engage pour les jeunes lors du 80e congrès national à Clermont-Ferrand. Les utilisations des techniques récentes de l'informatisation des machines peuvent attirer les jeunes dans les entreprises de travaux agricoles et forestiers. La promotion de ces métiers relève de l'action professionnelle et collective. « Nos entreprises et la fédération nationale doivent communiquer sur la diversité de nos activités et la modernité de nos métiers » souligne G. Napias, président de la FNEDT.

Communiqué 8 mars 2012,
www.e-d-t.org

Structure bois pour le théâtre éphémère de la Comédie Française

Un théâtre éphémère, entièrement en bois, occupe la cour du Palais Royal pendant la durée des travaux de la salle Richelieu voisine. Réalisé en ossature et panneaux contrecollés de bois massif de grandes dimensions, il a été assemblé in situ en 4 mois et offre 750 places.

http://www.arbocentre.asso.fr/Catalog/93/actualites/detail/p,3434/video__structure_bois_pour_le_theatre_ephemere_de_la_comedie-francaise.html

Les travaux d'André Granier récompensés

Les travaux d'André Granier, directeur de l'unité mixte Écologie et écophysiologie forestières de l'Inra de Nancy, ont été distingués par la médaille d'or de l'Académie d'agriculture de France. Ses recherches portent sur les **flux et bilans d'eau et de carbone dans l'arbre** isolé comme dans l'ensemble de l'écosystème forestier. Elles ont permis de révéler en quoi la contrainte hydrique conditionne le bilan de carbone et la croissance des forêts, et inversement de préciser le rôle des forêts dans le bilan hydrique et ses conséquences en termes de disponibilité de l'eau pour d'autres usages.

Communiqué de l'Inra du 10/11/2011

Premier bilan de l'état des sols de France

Après dix ans de travaux, le Groupement d'Intérêt Scientifique sur les sols, le Gis Sol, dresse le premier bilan scientifiquement quantifié de l'état des sols de France métropolitaine et d'Outre-mer.

Ce rapport établit un diagnostic de leur état chimique, biologique et physique. Il en souligne les points positifs et met en évidence les principales inquiétudes.

http://www.gissol.fr/actualite/evenements.php

La déforestation s'accélère depuis le début du XXIe siècle

Selon le dernier rapport de l'Organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation, le rythme de la déforestation progresse depuis l'an 2000. À partir d'images satellitaires, la FAO recense environ 4,1 millions d'hectares de forêts disparus chaque année entre 1990 et 2000. La moyenne a augmenté à 6,4 millions entre 2000 et 2005. La superficie totale des forêts du monde s'élève désormais 3,69 milliards d'hectares en 2005, soit 30 % de la superficie mondiale. La seule région à afficher des gains nets dans l'utilisation des terres forestières entre 1990 et 2005 est l'Asie. En Chine par exemple, des plantations ont dépassé le total des superficies boisées perdues.

« Les nouveaux chiffres obtenus grâce aux images satellitaires nous offrent une approche plus cohérente de l'évolution globale, au fil du temps, des forêts de la planète. En plus du large éventail d'informations fournies par les rapports des pays, ils offrent aux décideurs à tous les niveaux des informations plus précises, et soulignent la nécessité pour les pays et les organisations de traiter d'urgence le problème et de stopper la perte d'écosystèmes forestiers précieux », précise Edouardo Rojas-Briales, sous-directeur de la FAO en charge du département des forêts.

Rapport de la FAO : « L'évaluation des ressources forestières mondiales ».

Deux scientifiques de l'école polytechnique de Zurich ont mis au point un drone équipé de caméras, de capteurs et d'un GPS afin de surveiller les forêts, cartographier la déforestation ou recenser les espèces menacées.

Futurol

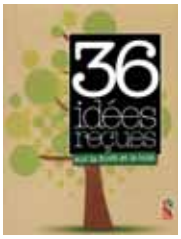
La première usine pilote française du projet Futurol est inaugurée à Pomacle, près de Reims. Le projet Futurol, soutenu par l'ONF, va permettre de valider à l'échelle préindustrielle, la production de bioéthanol de deuxième génération, à partir de la cellulose des plantes. Le procédé utilise des matières premières comme la pulpe de betterave, la paille, le son, le bois (taillis à courte rotation, résidus d'exploitation du bois…) et cherche à rendre la cellulose accessible aux levures pour opérer la fermentation.

www.projet-futurol.com

L'Iroko, l'arbre qui piège du CO_2 dans le sol

On sait que les arbres stockent du CO_2 dans le bois, mais celui-ci, en se décomposant, finit par le restituer à l'atmosphère. Chez l'Iroko, arbre tropical d'Afrique, le CO_2 piégé par photosynthèse est immobilisé sous forme de calcaire dans le sol pendant des centaines de milliers d'années.
L'équipe scientifique du professeur Eric Verrecchia a en effet découvert que l'Iroko produit de l'oxalate de calcium, le libère dans le sol sous forme de petits cailloux équivalant aux calculs rénaux humains, lesquels sont ensuite transformés par les bactéries en calcaire.

http://alinejaccottet.files.wordpress.com/2011/09/animan-lutte-contre-le-co2.pdf



NOUVEAUTÉ IDF

Le guide de l'expérimentation forestière

La mise en place d'une expérimentation nécessite de respecter des règles claires, pour obtenir des résultats fiables et rigoureux et éviter les erreurs. De nombreux exemples et modèles pratiques, des conseils concrets, les détails des calculs, les bases statistiques, les principes de base ainsi que la prise en compte du changement climatique dans l'expérimentation forestière sont abordés dans cet ouvrage à la fois synthétique et complet.

Guide de l'expérimentation forestière de Jérôme Rosa, Philippe Riou-Nivert, et Éric Paillassa. 224 pages illustrées en couleur, format 16 x 24 cm, 29 € + frais d'envoi. IDF, 23 avenue Bosquet, 75007 Paris.

Les feuillus dans la construction

Éditée par l'interprofession nationale France Bois Forêt et Atlanbois, cet ouvrage présente 39 belles réalisations utilisant des essences feuillues dans la construction, en structures, vêtures ou bardages, aménagement intérieurs et extérieurs.
25 000 exemplaires ont été adressés aux prescripteurs, bureaux d'études, architectes, lycées agricoles, maires et collectivités. Largement illustré de photographies magnifiques, une diversité de réalisations pour inspirer vos projets en bois.
Téléchargement sur :
www.bois-feuillus.com

Quelle forêt pour les hommes ?

Cet ouvrage collectif réunit les recherches menées, par le Cemagref devenu l'Irstea, sur la forêt française : de l'état des lieux, son rôle et usages à mieux connaître et à concilier, l'enjeu de gestion publique et collective, face aux changements globaux, aux risques plus prégnants. Une présentation largement illustrée des recherches pour préserver la qualité et la pérennité des écosystèmes forestiers français.
123 pages, format 21 x 15 cm. Téléchargement sur :
www.irstea.fr

Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines

Un numéro spécial, 4e édition du rapport national de la gestion durable des forêts métropolitaines, présente les 35 indicateurs quantitatifs répartis selon 6 critères de gestion durable. Résultat du travail de gestionnaires, écologues, chercheurs, statisticiens, administratifs, le rôle économique, environnemental, paysager et sociétal de la forêt est pris en compte.
Format A4, 200 pages, disponible sur le site Internet :
http://www.ifn.fr/spip/spip.php?article752

36 idées reçues sur la forêt et le bois

La forêt n'a pas besoin des hommes, couper du bois tue la forêt, la forêt appartient à tout le monde, la consommation de papier détruit la forêt…
Une nouvelle brochure intitulé « 36 idées reçues sur la forêt et le bois » a pour objectifs :
- établir ou rétablir quelques vérités sur la forêt et le bois en luttant contre les idées reçues,
- mieux faire comprendre l'action des forestiers.
Il permet de diffuser une information juste et attractive sous une forme ludique. Il peut être distribué largement aux élus ou au grand public.
Format : 145 x 185 mm, 44 pages, 5 € frais d'envoi compris ; Forestiers privés de France, 6 rue de la Tremoïlle, 75008 Paris ou par courriel : federation@foretpriveefrancaise.com

Mauvaises herbes des cultures

La 3e édition entièrement revue et enrichie regroupe les critères essentiels de reconnaissance de 220 mauvaises herbes du stade jeune plantule (2 feuilles) au stade fleuri, 4 clés de détermination et 16 grilles de discrimination.

570 pages, format 15 x 20,5 cm, 55 € plus 7 € de frais d'envoi à commander à ACTA, BP 90006, 59718 Lille cedex 9 ou sur le site
www.acta.asso.fr

Index phytosanitaire Acta 2012

L'index phytosanitaire 2012 est la référence en matière de connaissance et d'utilisation des produits phytopharmaceutiques, indispensable dans le cadre du plan ECOPHYTO 2018. Une version en logiciel sur CD-Rom « PhyActa 2012 » facilite la sélection des produits phytosanitaires. Les grands principes de la protection des plantes sont complétés par la totalité des substances actives homologuées et commercialisées en France.
900 pages, format 15,5 x 24 cm au prix de 40 € plus 7 € de frais d'envoi par lot à commander à ACTA, BP 90006, 59718 Lille cedex 9 ou sur le site
www.acta.asso.fr

Gérer la forêt des deux côtés de l'Atlantique

Divergence et convergence de la foresterie européenne et américaine. Les actes du colloque international de la foresterie en 2005 dressent le bilan des changements apparus avec le concept de développement durable, et de réfléchir à l'évolution de la gestion forestière. Cet ouvrage regroupe les versions françaises des 19 communications du colloque.

44 € + frais d'envoi ; Éditions AgroParisTech de Nancy, 14 rue Girardet, CS 14216, F-54042 Nancy cedex.

L'herbe dans tous ses états

Cet ouvrage collectif reprend les réflexions du colloque « l'herbe dans tous ses états », sous la direction de Jean Mottet. La place de l'herbe dans les espaces verts, les lieux touristiques, dans les modèles paysagers, montre l'importance de la réflexion sur les valeurs traditionnelles d'un beau paysage.
Disponible auprès des Éditions Champ Vallon, F-01420 Seyssel au prix de 18 €. Site Internet :
www.champ-vallon.com

Le projet européen POCTEFA PIRINOBLE

Philippe Van Lerberghe, ingénieur CNPF-IDF

Le projet PIRINOBLE est un projet transfrontalier franco-espagnol de coopération scientifique et technique visant à tester de nouveaux itinéraires techniques en plantation de feuillus précieux et à diffuser les résultats de la recherche. Cet article fait le point sur les objectifs spécifiques de ce programme, ses partenaires et les résultats attendus.

Une coopération bilatérale France - Espagne

« **Les feuillus précieux pour la restauration et la valorisation des espaces ruraux : innovation et transfert en matière de techniques écologiques de plantation** » est le thème du projet PIRINOBLE. Financé par le fonds européen FEDER [(1)] dans le cadre du Programme Opérationnel de Coopération Territoriale Espagne-France-Andorre, POCTEFA 2007-2013 (*voir encadré*), il a débuté en septembre 2009, pour une durée de 31 mois.

Ce programme vise à encourager la réalisation de plantations de feuillus précieux, producteurs de bois de qualité, sur des parcelles de l'espace pyrénéen abandonnées ou non par l'agriculture. Il s'agit de tester de **nouvelles techniques de boisement** alternatives aux plantations classiques, de comparer leur efficacité dans diverses situations stationnelles et de diffuser largement les résultats auprès des propriétaires forestiers privés et des gestionnaires agroforestiers. Ces systèmes innovants de production feuillue devront être respectueux de l'environnement, économes en eau et en temps de travail, seule façon de contribuer à la gestion durable des boisements et de remplir les conditions nécessaires à la certification forestière.

Contraintes économiques et écologiques actuelles

Même si plusieurs itinéraires de plantation de feuillus précieux sur anciennes terres agricoles sont d'ores et déjà vulgarisables, nos modes actuels de production doivent évoluer afin de s'adapter aux nouvelles contraintes écologiques et socio-économiques qui s'imposent progressivement aux sylviculteurs et aux agroforestiers :

➔ le changement climatique prévisible va se traduire par une forte modification du régime des précipitations, en particulier dans le sud-ouest de la France : allongement des périodes de végétation et des besoins en eau des arbres, assèchement des sols dès le printemps, accroissement des périodes de sécheresse estivale et des risques de mortalité des jeunes plantations ;

➔ la pression sociale croissante va dans le sens d'une demande de productions non polluantes : les herbicides chimiques pour le désherbage des jeunes plantations deviennent impopulaires parce que leur innocuité

POCTEFA, un programme européen au service du territoire transfrontalier

Sigle POCTEFA.

POCTEFA est l'acronyme du programme opérationnel de coopération territoriale Espagne-France-Andorre 2007-2013 (www.poctefa.eu). Ce programme constitue la 4e génération de soutien financier communautaire destiné à renforcer l'intégration économique et sociale de la zone frontalière Espagne- France-Andorre.

Le budget FEDER s'élève à 168 millions d'euros. Il concentre son aide sur le développement d'activités économiques, sociales et environnementales transfrontalières au moyen de stratégies conjointes en faveur du développement territorial durable.

En corollaire, ce programme doit favoriser la perception par les citoyens de la zone transfrontalière comme un espace unique et ainsi de diminuer l'effet frontière.

© Ph. Van Lerberghe, CNPF-IDF

Jeune plantation de noyers hybrides en terrain alluvial très fertile de grande vallée en remplacement de peupleraie (Tarn-et-Garonne, 82).

sanitaire (sur la santé humaine) et environnementale (protection des eaux et des sols) est de plus en plus souvent remise en question ;

➔ la pression croissante, difficilement contrôlable, de la faune sauvage met en danger la régénération naturelle et artificielle des systèmes de production de bois feuillus ;

➔ la hausse des prix de la main-d'œuvre et des matières premières nécessite de réduire les interventions humaines et de mettre au point des méthodes innovantes de plantation susceptibles de fournir les mêmes performances pour une rentabilité plus élevée et un effort de gestion beaucoup plus réduit.

Objectifs et résultats attendus

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet PIRINOBLE s'articulent autour de trois axes thématiques complémentaires.

Le 1er axe concerne « **l'amélioration des connaissances sur l'écologie et l'adaptation des essences de feuillus précieux** ».

Un des facteurs fondamentaux de réussite d'une plantation ligneuse est la bonne adaptation du matériel végétal aux conditions du milieu. Afin de mieux connaître les besoins et conditions de croissance des espèces de feuillus précieux en zone transpyrénéenne, un vaste travail d'analyses bibliographiques de publications scientifiques multilingues (français, anglais, espagnol et italien) est réalisé sur diverses essences : Merisier (*Prunus avium* L.), Alisier torminal (*Sorbus torminalis* L.), Cormier (*Sorbus domestica* L.) et autres sorbiers, Frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.) et oxyphylle (*Fraxinus angustifolia* Vahl.), Noyers (*Juglans* spp.), Poirier commun (*Pyrus pyraster* [L.] Du Roi), Pommier sauvage (*Malus sylvestris* Mill.) et Érables (*Acer* spp.). Les résultats sont publiés sous forme de fiches autécologiques par essence dans Forêt-entreprise.

Un réseau de huit nouveaux essais démonstratifs où les paramètres de survie et de croissance sont observés dans des conditions stationnelles très différentes permettra d'approfondir nos connaissances sur les exigences écologiques de ces espèces.

Le 2e axe porte sur « **le développement et l'évaluation de techniques d'entretien des arbres et de protection des plantations de feuillus précieux** ».

Outre l'inadéquation de l'essence à la station, les deux principales causes d'échec des plantations de feuillus précieux sur friches herbacées sont liées au manque ou à l'irrégularité des entretiens contre les adventices (en particulier, les graminées) et l'utilisation de dispositifs inappropriés ou sous-dimensionnés de protection des arbres contre les dégâts du gibier et du bétail, voire leur absence.

La lutte contre les « mauvaises herbes » s'effectue classiquement par désherbage chimique. Cette solution peu coûteuse permet d'intervenir efficacement et de manière localisée avant que la compétition herbe-arbre n'ait commencé. Face à la diminution programmée de la gamme d'herbicides utilisables en forêt et à leur impopularité croissante auprès du public, la technique du paillage au moyen de produits biodégradables est une alternative prometteuse[(2)] qui acquiert une grande popularité (en particulier, les paillis de copeaux de bois caulinaire ou raméal - Bois Raméal Fragmenté BRF) en raison de son innocuité environnementale et de sa capacité à limiter les pertes en eau du sol et à conserver le sol frais durant la période de croissance végétative des jeunes plants ligneux. Quantifier et hiérarchiser l'efficacité biologique des nouveaux paillis biodégradables sur la survie et la croissance aérienne et racinaire des jeunes feuillus précieux constitue l'un des objectifs expérimentaux de ce projet européen[(3)].

La protection des jeunes plants de feuillus précieux contre les attaques d'animaux au moyen de protections mécaniques individuelles telles que les tubes à effet de serre et les manchons

© Ph. Van Lerberghe, CNPF-IDF

Essai Inra de plantation mélangée (20 ans) de merisiers (6 x 7 m) et d'aulnes à densités variables (Haute-Garonne, 31).

grillagés à petites mailles plastiques (≤ 3 mm) est une pratique nécessaire et d'usage courant dans le secteur forestier, agroforestier et paysager. Ces dispositifs ne seraient pas aussi anodins qu'ils y paraissent pour le développement aérien et racinaire des arbres protégés dans la mesure où ils empêchent ou réduisent les sollicitations mécaniques naturelles exercées par le vent sur l'arbre protégé. L'absence de mouvements modifie la croissance des plants et, en particulier, déséquilibrerait la distribution de la biomasse entre partie aérienne et partie racinaire. Ce phénomène a été récemment démontré sur des arbres sous tubes abris-serre, mais il n'a pas été étudié pour les manchons grillagés à petites mailles très utilisés par les professionnels du boisement. Quantifier l'impact de ces gaines dites « brise-vent » sur la biomasse racinaire constitue un autre objectif de recherche du projet[3].

Le 3e axe concerne « **la mise au point et l'évaluation de plantations mélangées de feuillus précieux** ».
Le mélange d'essences avec des dynamiques différentes de croissance constitue un nouveau modèle de gestion sylvicole visant à augmenter la valeur productive et écologique [4] des peuplements ligneux. Ce type de boisement (par plantation ou semis) peut être un moyen de créer rapidement une ambiance forestière susceptible de favoriser la croissance et d'améliorer la forme des jeunes plants, de réduire les interventions de taille et d'élagage, de faciliter une différenciation naturelle de certaines tiges et de réduire l'impact des attaques de cervidés ou de parasites. En final, il s'agit de créer des peuplements plus durables, plus rémunérateurs et plus diversifiés. La mise au point de plantations mélangées de feuillus précieux, avec ou sans espèces d'accompagnement, et l'étude des effets de compétition entre espèces principales et secondaires sur deux essais constituent un des objectifs à long terme du projet.
En complément des recherches bibliographiques réalisées sur ces trois axes thématiques et la mise en place d'une quinzaine de dispositifs expérimentaux et démonstratifs, plusieurs documents techniques de vulgarisation synthétisant les résultats des travaux et incluant de nombreuses recommandations d'usage seront publiés dans Forêt-entreprise et mises en téléchargement gratuit sur le site internet du projet européen (www.pirinoble.eu).

Partenaires

Les travaux d'innovation [5] sont menés par le Centre technologique forestier de Catalogne CTFC et l'Institut pour le développement Forestier IDF. Ils permettent aux équipes de recherche spécialisées des deux pays de renforcer leurs liens scientifiques et techniques, de développer des méthodes d'expérimentation communes, de coordonner leurs actions après concertation et de mutualiser leurs connaissances avec les acteurs locaux chargés du développement forestier en Catalogne (Centre de la proprietat Forestal) et en Midi-Pyrénées (Centre régional de la propriété Forestière). ■

IDF - Maison de la Forêt, 7 Chemin de la Lacade 31320 Auzeville Tolosane.
Tél. : 05 61 75 45 00
Courriel : philippe.vanlerberghe@cnpf.fr

1) Le FEDER ou fonds européen de développement économique et régional est un fonds structurel européen qui vise à renforcer la cohésion économique et sociale au sein de l'Union européenne en réduisant les inégalités de développement entre les régions sur l'ensemble du territoire européen.
2) Voir en particulier les articles du dossier paillage du Forêt-entreprise n°157 (2004).
3) Pour en savoir plus, les comptes-rendus d'expérimentation sont téléchargeables à l'adresse suivante : www.pirinoble.eu/fr/red.htm sous la rubrique "Axe Thématique B".
4) Voir en particulier les articles du dossier paillage du Forêt-entreprise n°178 (2008).
5) Un appui est apporté par le Centre de recherche sur la biodiversité de la Faculté des Sciences de l'Université catholique de Louvain-la-Neuve (UCL - Belgique) et le laboratoire ECOLAB du Centre national de la recherche scientifique de Toulouse (CNRS - France).

Résumé

Le projet européen de coopération transfrontalière POCTEFA PIRINOBLE (www.pirinoble.eu) entre la France et l'Espagne vise à proposer aux propriétaires forestiers et aux gestionnaires agroforestiers des deux pays des nouvelles méthodes d'installation, d'entretien et de protection des jeunes plantations mélangées de feuillus précieux sur friches herbacées et des outils techniques leur permettant de choisir les essences les mieux adaptées aux stations à boiser.

Sigle du projet européen.

La mise en commun des enseignements tirés d'un vaste réseau transfrontalier d'expérimentations et la diffusion large des conclusions du projet sous forme de fiches de vulgarisation favoriseront la mise en pratique de nouvelles techniques de création de plantations de feuillus précieux, plus performantes et respectueuses de l'environnement.

Mots-clés : autécologie, feuillus précieux, paillage, protection contre le gibier, plantations mélangées, Poctefa, semis ligneux.

Autécologie du **Frêne commun**

Fraxinus excelsior L.

Angl. : Ash
All. : Esche
Esp. : Fresno común
It. : Frassino maggiore
Cat. : Freixe de fulla gran

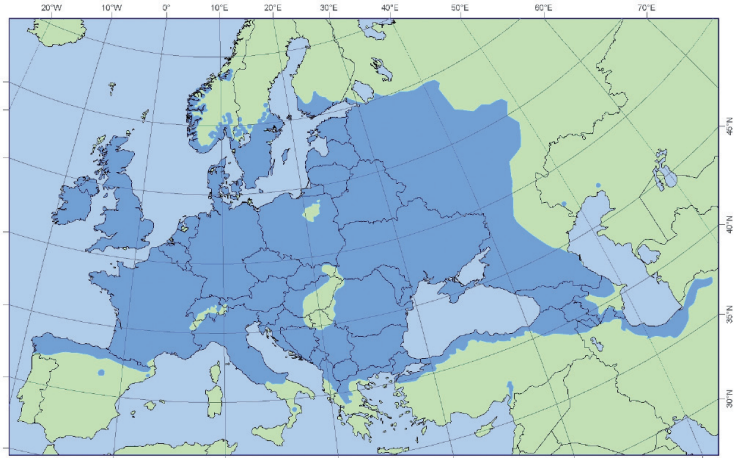
© P. Gonin, CNPF-IDF

Distribution géographique

- Essence **européenne à tendance subatlantique**.
- Présent **partout en France, mais plus rare en région méditerranéenne** ; présent en **Espagne** principalement dans le **nord** du pays.
- Surface des peuplements de production en France = **583 000 ha**

(données IFN, 2005 à 2009, essence principale Frêne, toutes espèces confondues, mais majoritairement Frêne commun).

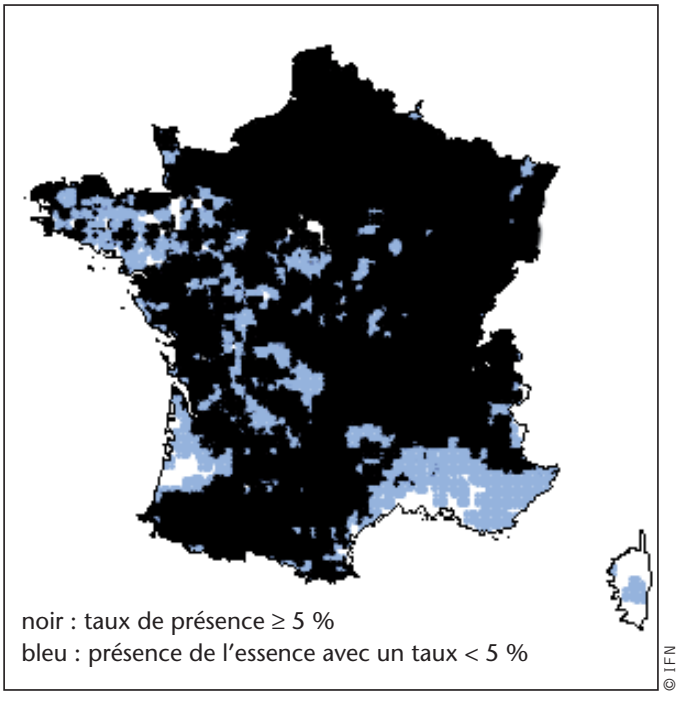
Aire naturelle de répartition du Frêne commun en Europe


© EUFORGEN 2009

Distribution du Frêne commun en Espagne

© DGMNPF – INIA

Distribution du Frêne commun en France


noir : taux de présence ≥ 5 %
bleu : présence de l'essence avec un taux < 5 %
© IFN

Climat et tempérament

Conditions bioclimatiques

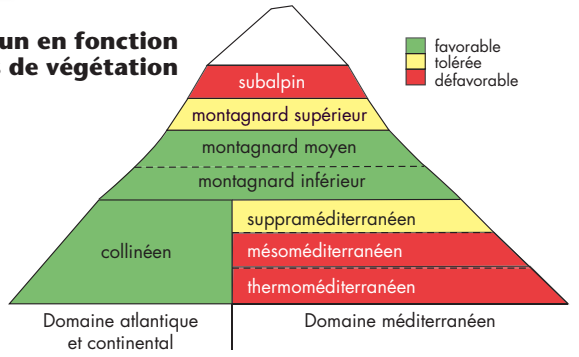
- Peu sensible au froid hivernal.
- En zone de montagne, des températures clémentes en début de saison de végétation influent positivement sur la croissance en grosseur.
- **Sensible aux gelées printanières** qui favorisent la fourchaison.
- Croissance très faible pour des températures annuelles moyennes < 5,6°C.
- **Exigeant en eau**, notamment en mai et juin et **sensible à la sécheresse atmosphérique**.
- **Sensible à l'action desséchante du vent**.
- Nécessite en **Espagne** des **précipitations annuelles moyennes > 700 mm**.

Synthèse des exigences et sensibilités du Frêne commun au niveau bioclimatique

Exigence en chaleur	Sensibilité					
	froid	gelées tardives	gelées précoces	neige collante	vent	sécheresse
Moyenne	Très faible	Très forte	Très faible	Très forte à forte	Forte	Très forte à forte

Autécologie du **Frêne commun**

Répartition du Frêne commun en fonction des étages de végétation



Étages de végétation

- Présent de l'étage **collinéen** à l'étage **montagnard supérieur** (400 à 1 800 m).

Tempérament

- **Héliophile**.
- Supporte l'ombrage les premières années.
- **Supporte mal la concurrence** à l'âge adulte.
- Signalé **sensible à une forte lumière latérale** qui semble pouvoir provoquer des nécroses de l'écorce.

Sensibilité à la concurrence vis-à-vis de la lumière	Phototrope
Forte	Moyen

Jeune âge Adulte

Sols

Eau et drainage

Alimentation en eau :

- Facteur primordial de croissance.
- **Nécessité d'un sol à bonne réserve** en eau pour une croissance soutenue (sol épais à forte Réserve Utile Maximale). Présent sur sol sec mais avec une taille et une productivité réduites.
- Une position **topographique** permettant un apport d'eau latéral ou la présence d'une **nappe permanente** augmente significativement la croissance.
- **Très sensible aux ruptures d'alimentation en eau** qui favorisent la fourchaison ; régule tardivement sa transpiration.

Engorgement :

- Préfère **les sols bien drainés**.
- Présent sur sol engorgé temporairement ou de façon permanente en zone de sources, mais un **engorgement très proche de la surface réduit fortement sa croissance** et peut même l'exclure dans les situations de marais.
- L'engorgement favorise l'apparition du cœur noir.

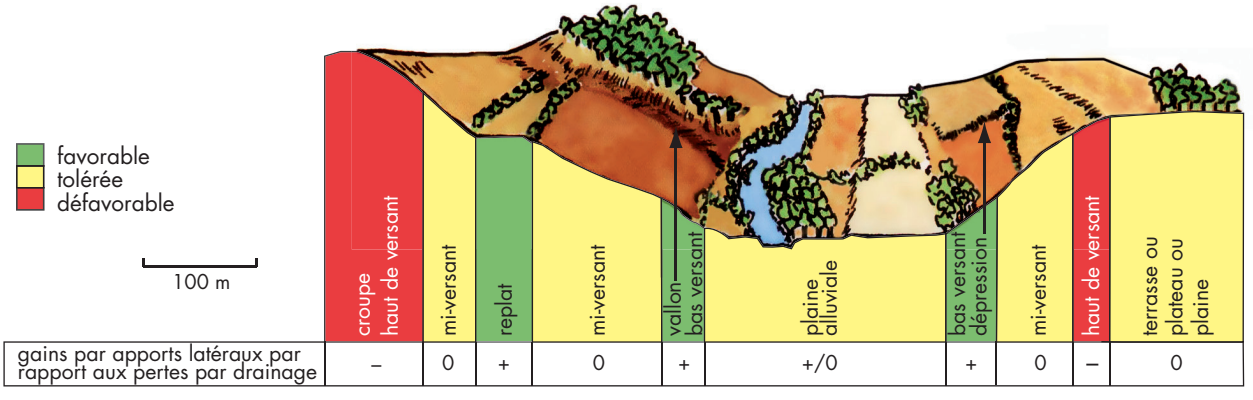
Drainage et excès d'eau

favorable
tolérée
défavorable

			a	b	c	d	h	i	e	f	g
drainage naturel			excessif	bon	modéré	imparfait	mauvais	très mauvais	partiel	quasi-inexistant	inexistant
nappe	temporaire	horizon rédoxique avec taches rouille	pas de nappe	absent ou > 90-125 cm	60-125 cm	40-80 cm	20-50 cm	0-30 cm	20-50 cm	0-30 cm	-
nappe	permanente	horizon réductique avec réduction	pas de nappe	-	-	-	-	-	> 80 cm	40-80 cm	< 40 cm

(*d'après le « Fichier écologique des essences », Ministère de la Région Wallonne, 1991, modifié*)

Situations topographiques favorables au Frêne commun du point de vue de l'alimentation en eau
(intervient dans les compensations morpho-pédologiques, à moduler en fonction du climat et du sol)



Autécologie du **Frêne commun**

Texture et matériaux

- Matériaux favorables : favorisant une **bonne rétention en eau** et pauvres en éléments grossiers.

Textures favorables au Frêne commun

(intervient dans les compensations morpho-pédologiques, à moduler en fonction des autres caractéristiques stationnelles)

très sableuse	grossière	limoneuse	intermédiaire	argileuse	très argileuse
S	SA, LS, SL	LmS, Lm, Ll, LIS	LAS, LSA, LA, AL	A, AS	Alo

favorable
tolérée
défavorable

Nutriments

Éléments nutritifs :

- Facteur de croissance secondaire par rapport à l'alimentation en eau.
- Présent sur une **large gamme de pH** de 3,8 à 7,8. Toutefois, **très faible croissance sur sols très acides** en raison d'une sensibilité à la toxicité aluminique qui provoque des nécroses racinaires.
- Croissance des arbres adultes limitée par la disponibilité en K. - Croissance juvénile dépendante de la disponibilité en Ca et Mg.

Azote et phosphore :

- Humus de forme **mull** ; la litière du Frêne a un faible C/N.
- Croissance principalement dépendante de la disponibilité en **Azote** associée au Phosphore.

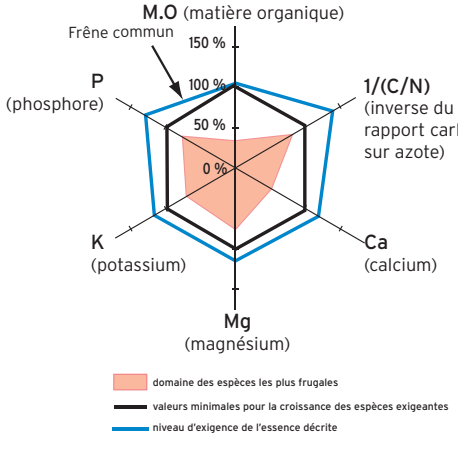
Calcaire dans la terre fine :

- Semble **indifférent**, sauf si en concentration très élevée.

Synthèse des besoins et sensibilité du Frêne commun pour l'eau et les nutriments

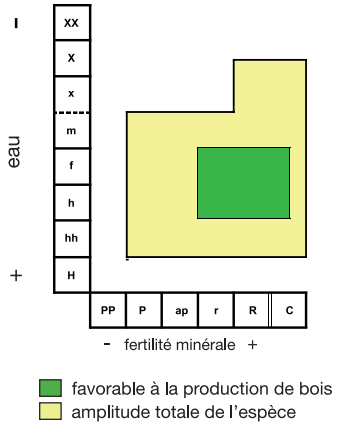
Besoins en eau	Très Forts
Sensibilité à l'engorgement temporaire	Moyenne
Besoins en éléments nutritifs (Ca, Mg, K)	Moyens
Besoins en azote (et phosphore)	Forts
Sensibilité au calcaire dans la terre fine	Faible à nulle

Nutrition minérale du Frêne commun



Écogramme du Frêne commun

(d'après Rameau *et al.*, 1989, modifié)



Comportement dynamique et particularités

- Espèce **nomade à tempérament pionnier**.
- Bonne aptitude à rejeter.
- Longévité de l'ordre de 150 à 200 ans. La production de bois en **moins de 60 ans** est conseillée pour **minimiser le cœur noir**. Sur les stations favorables à la production, on peut obtenir des arbres de 180 cm de circonférence en 60 ans.
- L'installation facile du Frêne peut être expliquée par la faculté qu'ont ses semis de développer un système racinaire puissant et colonisateur, même en condition de faible luminosité.
- Apparition en 2008 d'une nouvelle maladie dans le nord-est de la France, la chalarose ou « maladie du flétrissement du frêne », liée au champignon *Chalara fraxinea*. Il parasite les frênes dans les pays d'Europe nord-orientale causant des dessèchements de rameaux, puis des nécroses sur les branches qui s'accompagnent de flétrissements de feuillage, voire de descente de cime. Une attention particulière est à apporter à l'évolution de cette maladie encore mal connue.

Principaux facteurs limitant la production de bois de qualité

- Rupture d'alimentation en eau pendant la saison de végétation
- Engorgement permanent des horizons de surface
- Humus à minéralisation lente
- Présence d'aluminium échangeable
- Sol trop pauvre en éléments nutritifs
- Neige lourde
- Gelées tardives
- Sécheresse atmosphérique

Autécologie du **Frêne oxyphylle**

Angl. : Narrow-leaved Ash
Esp. : Fresno de hoja estrecha
Cat. : Freixe de fulla petita
All. : Schmalblättrige Esche
It. : Frassino meridionale

Fraxinus angustifolia Vahl

© M. Mouas, CNPF-IDF

Distribution géographique

- Essence **supraméditerranéenne**.

- Présent en **France jusqu'à 300 m** dans la région **méditerranéenne** et dans le **sud-ouest**, aux étages collinéen, supraméditerranéen et mésoméditerranéen, plus rare dans le Nord.

- Présent dans **toute la Péninsule Ibérique, excepté en montagne** et le long des hautes rivières du tiers nord, où il est remplacé par le Frêne commun.

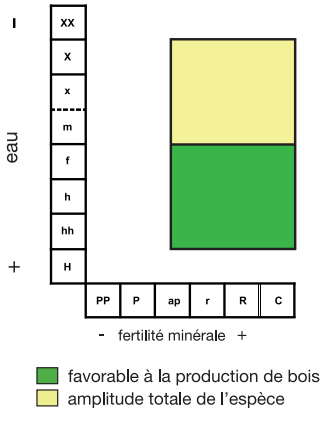
- Espèce **thermophile**, présente pour des précipitations moyennes > 450 mm/an ; **peu sensible à la sécheresse estivale**, à condition de bénéficier d'une **bonne réserve en eau** dans le sol ; **peu sensible au froid hivernal**.

- **Sensible à l'engorgement** ; préfère les sols à texture sableuse ; peu présent sur sol très acide.

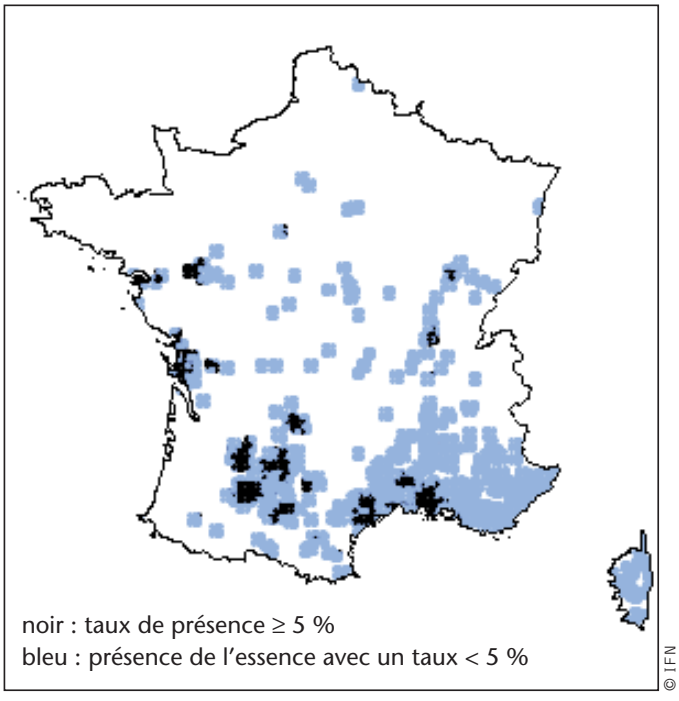
- Espèce pouvant être concernée par la chalarose ou « maladie du flétrissement du frêne », comme le Frêne commun.

Écogramme du Frêne oxyphylle

(d'après Rameau *et al.*, 1989, modifié)

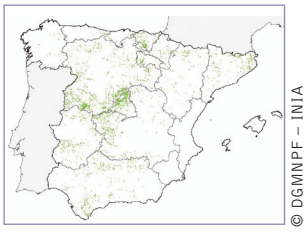


Distribution du Frêne oxyphylle en France



© IFN

Distribution du Frêne oxyphylle en Espagne



© DGMNPF – INIA

- Fiche réalisée dans le cadre du projet européen interreg 4a « Pirinoble » (www.pirinoble.eu) associant quatre partenaires français et espagnols : Institut pour le Développement Forestier (IDF), Centre Régional de la Propriété Forestière de Midi-Pyrénées (CRPF), Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC), Centre de la Propietat Forestal (CPF).

- Auteurs : **Pauline Marty (CRPF Midi-Pyrénées), Laurent Larrieu (CRPF Midi-Pyrénées/INRA Dynafor), Hugues Claessens (Université de Gembloux), Pierre Gonin (IDF), Jaime Coello (CTFC)**, avec la contribution d'Eric Bruno (IFN) pour les cartes de distribution française.

- Remerciements pour leur relecture à Miriam Piqué, Teresa Baiges Zapater, Jacques Becquey.

- Fiches autécologie avec références bibliographiques et Guide de lecture (Forêt-entreprise n° 203, 2012, p. 5-8) disponibles sur internet www.foretpriveefrancaise.com et www.pirinoble.eu.

- Référence de la fiche : **Marti P., Larrieu L., Claessens H., Gonin P., Coello J.**, 2012 - Autécologie du Frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.) et du Frêne oxyphylle (*Fraxinus angustifolia* Vahl). Forêt-entreprise n° 204, 2012, p. 9-12.

Conséquences du changement climatique en Midi-Pyrénées

Jean Lemaire, Nathalie Maréchal, CNPF-IDF

Les résultats et les avancées de l'étude inter-régionale « Chênaie atlantique 2009-2013 » sont présentés à Toulouse aux partenaires. Quelques outils d'aide à la décision (climatique, autécologie, de sylviculture…) sont déjà transférables aux gestionnaires.

Le comité de pilotage du projet « Chênaie atlantique » s'est rassemblé à Toulouse pour la présentation des avancées et résultats de l'année 2011 et définir le programme en 2012. L'amélioration de la résistance des forêts face aux changements climatiques mobilise les CRPF des 8 régions (Aquitaine, Bretagne, Île-de-France Centre, Midi-Pyrénées, Normandie, Pays de la Loire, Poitou-Charentes) et l'IDF sur une large façade atlantique.

© G. Sajdak, CNPF-IDF

L'observation de la direction des gourmands de chêne pour le diagnostic Archi.

Les acquis du projet en 2011

L'état des chênaies en Poitou-Charentes a fait émerger la nécessité de mieux distinguer les chênes blancs (pédonculé, sessile, pubescent). Les cartes de vulnérabilité des chênes pédonculés et sessiles sont validées, ainsi que la carte de présence potentielle du chêne pubescent. Des outils simples et performants assistent le gestionnaire dans l'estimation du risque climatique comme l'interprétation de données climatiques, le diagnostic de résilience des chênes avec la méthode ARCHI et les nouveaux itinéraires de sylviculture validés. Le chêne pubescent serait un bon candidat potentiel comme substitution d'essence par sa meilleure résistance aux sécheresses estivales. L'étude pour le séchage et la résistance mécanique du chêne pubescent se poursuit pour une meilleure valorisation de cette essence. Dans le cadre du programme Reinfforce, l'installation de marteloscopes [(1)] permettra le suivi de l'influence de la sylviculture sur la résilience d'un peuplement.

État sanitaire des chênaies en Midi-Pyrénées

Marine Bouvier, chargée d'étude à l'IDF, rappelle les objectifs de l'étude :
- définir les paramètres pédoclimatiques expliquant la répartition des espèces de chênes,
- quantifier l'état sanitaire des chênaies à partir de la méthode ARCHI.

La région Midi-Pyrénées, la plus au sud du transect [(2)] de l'étude, présente des influences climatiques variées : océanique, méditerranéenne, montagnarde. Les trois chênes indigènes (pédonculé, sessile, pubescent) représentent 53 % de la surface boisée. Un phénomène d'hybridation relativement faible est observé, avec peu de peuplements mélangés. La première essence régionale, principalement

© G. Sajdak, CNPF-IDF

L'application des critères de distinction des trois espèces de chênes.

dans les départements du Lot, l'Aveyron et l'Ariège (sous-sol calcaire) est le chêne pubescent, souvent reconnaissable par la face inférieure des feuilles, son rameau de l'année et son gland couvert en masse de petits poils blancs (pubescence). Une clef de détermination validée facilite la différenciation des trois espèces, par des critères de reconnaissance taxonomiques : port de l'arbre, feuillage, écorce, feuille…

Lors de la tournée sur le terrain dans le Tarn, la clé de détermination de distinction des trois chênes, ainsi que le protocole ARCHI ont été détaillés. À Lavaur, un exercice de désignation et de détourage a permis l'application des nouveaux outils d'aide à la décision, dans un peuplement d'environ 25 ans composé de franc-pieds et rejets de taillis de trois espèces de chênes d'environ 25 ans.

L'état sanitaire des chênaies est jugé satisfaisant en Midi-Pyrénées malgré un grand nombre d'arbres stressés. En employant le modèle ENGREF Hélios (modèle climatique prenant en compte la topographie au 50 m près), il s'est avéré que la répartition sur le terrain du chêne pédonculé, sessile et pubescent est en adéquation avec les exigences de chaque espèce.
Le « tri climatique » s'est déjà effectué en Midi-Pyrénées. Les trois espèces occupent aujourd'hui « leur niche pédoclimatique ».
Avec le changement climatique, ce tri s'opère progressivement dans des régions du Nord comme en Poitou-Charentes, Centre et Pays de la Loire. Le dépérissement du pédonculé est dans ces régions plus marqué et souvent lié au changement climatique constaté depuis 1989.

La réserve utile du sol

Pour comprendre si les dépérissements du chêne peuvent s'expliquer par le sol, la réserve utile comparée de chênes pédonculés dépérissants et non dépérissants situés dans la même zone climatique a été étudiée. Le système racinaire descend très en profondeur, au-delà de la fosse creusée par le tractopelle. Il n'y a pas de différences constatées en termes de profondeur prospectée par le système racinaire et de densité d'occupation du sol par les racines lors de l'analyse des fosses. Une nouvelle fois, ces résultats montrent l'énorme difficulté rencontrée pour estimer le réservoir prospecté et utilisé par le système racinaire.

Modèles climatiques

Deux modèles climatiques ont été testés durant l'étude : le modèle AURHELY et le modèle HELIOS.
AURHELY est le modèle numérique de terrain des données Météo-France. Les données pluviométrie et température sont géo-référencées au km près. Les données d'évapotranspiration (ETP) sont calculées selon la formule de Penman et géo-référencées au pas de 10 km. Le modèle HELIOS est un modèle numérique de terrain développé par l'AgroParisTech de Nancy. Les données climats précipitations, températures et évapotranspiration sont géo-référencées au 50 m près. Dans ce modèle, l'ETP est calculée à partir de la formule de Turc.

Il ressort que le modèle HELIOS est plus performant que le modèle AURHELY dans les zones à relief plus marqué (montagne et colline). Ceci est logique car le modèle HELIOS, intègre des données comme la pente et l'exposition. Il est donc plus fidèle à la réalité de terrain dans les zones au relief plus marqué. Toutefois, HELIOS présente une sous-estimation systématique des valeurs d'ETP durant la saison de végétation surtout en climat méditerranéen.

L'IDF a mis au point deux outils empiriques, très simples d'usage. Le premier permet de convertir l'ETP de Turc en ETP de Penman et vice et versa. Le second permet d'estimer le P-ETP [(3)] à partir de l'indice de de Martonne et de la latitude. Dans tous les cas, il faudra toujours que l'opérateur cite la formule de référence utilisée pour estimer le P-ETP : Penman, Turc ou de Martonne.

Autécologie des chênes

Les limites écologiques des trois chênes blancs (sessile, pubescent, pédonculé) sont aujourd'hui mieux cernées.

Le critère P-ETP est très performant pour définir les années climatiques à risque. La demande climatique en eau peut être facilement déduite par l'indice de de Martonne pondéré par la latitude. Les années climatiques à risques sont maintenant mieux prévisibles, ainsi que la récurrence de celles-ci suivant les régions climatiques. En fonction du risque de répétition de l'aléa climatique, il est donc, possible de prédire le risque de perte économique.
La méthode développée pourra être déclinée pour de nombreuses essences.
Des études similaires basées sur des mesures de terrain sont en cours pour d'autres essences comme le douglas, le sapin et le châtaignier. Des seuils de P-ETP critique sont définis pour de nombreuses essences, calculés sur l'aire de répartition.

Des marqueurs génétiques pour les chênes

Les changements climatiques annoncés vont entraîner un changement de répartition dans l'espace des espèces forestières. La diminution probable de l'aire des chênes pédonculés voire sessiles en France conduit à s'interroger sur des espèces pouvant lui être substituées, comme le chêne pubescent. Or, l'information manque concernant cette espèce aussi bien en matière de répartition fine sur le territoire, que de variabilité génétique et de connaissance des caractéristiques technologiques de son bois.

Il est donc important de pouvoir répertorier des individus purs de l'espèce, pour mieux connaître le phénomène d'hybridation. Des échantillons dans 12 peuplements purs de chêne pubescent ont été prélevés par les CRPF. En 2010, les 8 marqueurs génétiques testés avaient montré qu'il était très difficile de distinguer génétiquement le sessile du pubescent. En 2011, profitant des avancées des travaux de l'Inra, 20 nouveaux marqueurs ont été testés. Ils sont beaucoup plus fiables et permettent de mieux distinguer les deux espèces. Le taux d'hybridation entre les chênes estimé à l'aide de ces nouveaux marqueurs est plus faible. Les échantillons sont d'autant plus purs qu'on se situe dans le sud-est de la France, aire où le chêne pubescent est exclusif.

Caractéristiques technologiques du bois de chêne pubescent

Dans les zones où le dépérissement du pédonculé est plus marqué, la présence du chêne pubescent a souvent été observée. Cette essence plus thermophile résiste mieux au stress hydrique durant les mois les plus chauds.
Dans des taillis sous futaies, on peut ainsi trouver en mélange pied à pied des chênes pédonculés et pubescents de dimension importante (diamètre > 40 cm).
Pour étudier les caractéristiques mécaniques et organoleptiques du tannin du bois de chêne pubescent, 22 grumes de chêne pubescent et 13 de pédonculé ont été abattues, provenant de trois sites différents (2 dans l'Indre, 1 dans la Vienne). Les pubescents et pédonculés étaient situés dans des peuplements mélangés, ils ont été soumis au même traitement sylvicole, âge et dimension semblables (100 ans en moyenne et 42 cm de diamètre). Cette étude de l'École supérieure du Bois montrent que les caractéristiques mécaniques du pubescent sont supérieures à celles du pédonculé. En matière de teneur et de composition en tanin (analyses faites par l'Inra), il n'y

**Deux photos particulièrement intéressantes :
elles sont extraites d'un article de la revue forestière française de 1956 consacré au chêne pubescent du Bourbonnais dans l'Allier. Preuve que la question du chêne pubescent ne date pas d'aujourd'hui.**

© L. Guillot

Chêne pubescent de 292 cm de tour
Longueur de la grume 9 m. Volume de la grume 5,5 m³ - Allier.

Chêne pubescent en taillis sous futaie
Arbre de 278 cm de tour à 1,30 m.
Hauteur de grume : 10 m
Volume de la grume : 5 m³
(Besson, Allier).

© L. Guillot

a pas de différences entre les deux espèces. Les premiers tests en séchage ont démontré que le retrait exprimé par le pubescent est équivalent à celui du pédonculé. Le nombre de grumes testées en séchage est cependant trop faible et ces résultats doivent être confirmés par l'étude entreprise en 2012 en Midi-Pyrénées.

Planification du projet 2012-2018

Le chêne pubescent, si les résultats sur la qualité de son bois se confirment, est une essence particulièrement intéressante à favoriser dans le cadre du changement climatique. Son potentiel de croissance hors zone méditerranéenne est inconnu. Il est indispensable d'approfondir ces connaissances. Sept modules sont définis autour de deux axes de travail :

- outils SIG et sylviculture novatrice,
- chêne pubescent : repérage des peuplements remarquables, qualité technologique du bois, potentiel de croissance, plantations comparatives et arboretums de chêne du Sud.

Le transfert des outils d'aide à la décision est également une priorité : les données et les outils climatiques, l'estimation du risque climatique et économique.

Plusieurs points expliquent la force et la réussite de ce projet :

- une cohérence nationale grâce à l'IDF,
- un système modulaire adaptatif et donc progressif,
- une adaptation aux contextes régionaux,
- une ouverture à de multiples partenaires (scientifiques, financiers, …).

La suite du projet s'envisage en menant de front deux axes : la gestion de l'existant et une nouvelle sylviculture.

➔ Pour les 40 prochaines années, la gestion de l'existant prendra en compte les risques de dépérissement (plus ou moins grands selon les régions et les espèces). Des itinéraires de « sauvetage » de l'existant doivent être envisagés, testés et appliqués « à la carte » pour chaque peuplement grâce aux typologies des peuplements. Considérant l'ensemble des résultats obtenus au cours de ce projet, il n'est plus raisonnable de se contenter d'une attitude d'attente vis-à-vis du changement climatique annoncé. Il est indispensable de transférer les outils d'aide à la décision déjà acquis : l'estimation du risque, les outils climatiques, …

➔ Proposer de nouvelles sylvicultures est l'objectif du deuxième axe. Cette anticipation suppose un travail d'expérimentation. Ainsi, dans ce cadre, différentes régions du nord (Normandie, Poitou-Charentes, Pays de la Loire, Centre, …) envisagent de mettre en place des essais de plantations de pubescents. Les arboretums[4] existants ou en cours de création seront également très utiles pour tester de nouvelles espèces méditerranéennes de chênes à forte croissance. Le chêne pubescent, essence méconnue voire dénigrée, est un candidat potentiel intéressant dans le cadre du changement climatique. Il est indispensable d'entreprendre des études plus approfondies sur cette essence, afin de promouvoir sa sylviculture.

Marc Deconchat, directeur de l'unité Dynafor de l'Inra, constate que la productivité n'est plus l'unique maître mot des sylvicultures ; l'adaptabilité et la résilience sont désormais incontournables. À ce sujet, il nous fait part de trois idées :

- la diversité comme ressource majeure pour faire face au changement climatique. Il faut l'envisager non seulement au niveau végétal (il serait regrettable d'abandonner définitivement la sylviculture du chêne pédonculé), mais aussi au niveau animal ;
- l'échelle spatiale entre celle de la placette, bien connue par les forestiers, et l'échelle nationale, très prisée par les modélisateurs, il y a le paysage, échelle intermédiaire, pour laquelle on constate un déficit important de connaissances ;
- la dimension sociale de la forêt, chacun ayant sa propre perception. Il faut en tenir compte dans nos recommandations techniques et économiques. ■

1) Un marteloscope est un dispositif de terrain et informatique destiné à simuler le martelage.
2) Un transect est une ligne virtuelle ou physique que l'on met en place pour étudier un phénomène par exemple dans l'étude en Midi-Pyrénées, on a étudié la répartition des chênes le long d'un transect de risque de stress hydrique du climat établi à partir des données climatiques.
3) P-ETP VEG : demande climatique en eau exprimée par la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle durant la période de végétation d'avril à octobre inclus.
4) Programme européen REINFFORCE.

Résumé

L'étude inter-régionale « Chênaie atlantique » rassemble 8 régions pour comprendre, anticiper et s'adapter au changement climatique. Des outils d'aide à la décision validés sont transférables aux gestionnaires : carte de vulnérabilité climatique des chênes pédonculés et sessiles, carte de présence potentielle du chêne pubescent, définition et estimation du risque climatique, diagnostic de dépérissement grâce à la méthode ARCHI, itinéraires sylvicoles novateurs, étude technologique du chêne pubescent.

Mots-clés : Chênaies atlantiques, étude inter-régionale, résultats et programmation.

Retrouvez de nombreux compléments sur le site :
http://www.foretpriveefrancaise.com/chene

www.foretpriveefrancaise.com
À LIRE SUR LE WEB

sommaire

dossier

Changement climatique : quelques outils pour comprendre et anticiper

Dossier coordonné par Céline Perrier

18 Nouveaux objectifs pour Aforce. Le réseau évolue pour mieux répondre aux besoins

C. Perrier

22 Promouvoir les échanges et le transfert des connaissances

D. Afxantidis

26 Un guide simplifié pour le choix des essences intégrant le changement climatique

J.-B. Reboul, É. Sevrin

31 Cartographie de la contrainte hydrique des sols forestiers

Ch. Piedallu, J.-B. Richard, S. Gaudin, M. Legay

36 Quelles ressources génétiques pour le sapin face aux changements climatiques ?

H. Davi

41 Le cèdre en France face au changement climatique

F. Courbet, M. Lagacherie, P. Marty, J. Ladier, C. Ripert, L. Amandier, E. Paillassa, J. Guillemot

Réseau financé par :

AFORCE
RMT Adaptation des forêts au changement climatique

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'ALIMENTATION DE LA PÊCHE DE LA RURALITÉ ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

INSTITUT CDC POUR LA RECHERCHE

© C. Perrier, CNPF-IDF

Nouveaux objectifs pour Aforce Le réseau évolue pour mieux répondre aux besoins

Céline Perrier, CNPF-IDF

Les premiers projets réalisés dans le cadre des actions d'Aforce, réseau mixte technologique (RMT) consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique, ont été présentés dans le n°196 de Forêt-entreprise.
11 nouveaux projets ont été réalisés grâce à 2 nouveaux appels à projets. Les réalisations présentées dans ce dossier concernent les projets sélectionnés en 2010, aujourd'hui achevés ou en cours de finalisation.
Les projets soutenus portent chacun sur l'une des 5 thématiques de travail :
- Évolution des stations forestières,
- Vulnérabilité des peuplements,
- Gestion, valorisation et conservation des ressources génétiques,
- Croissance et sylviculture des peuplements,
- Évaluation économique des décisions de gestion.

Ils répondent aux priorités d'action établies en concertation avec les partenaires du réseau et tiennent compte des questions et réponses échangées entre chercheurs et gestionnaires.

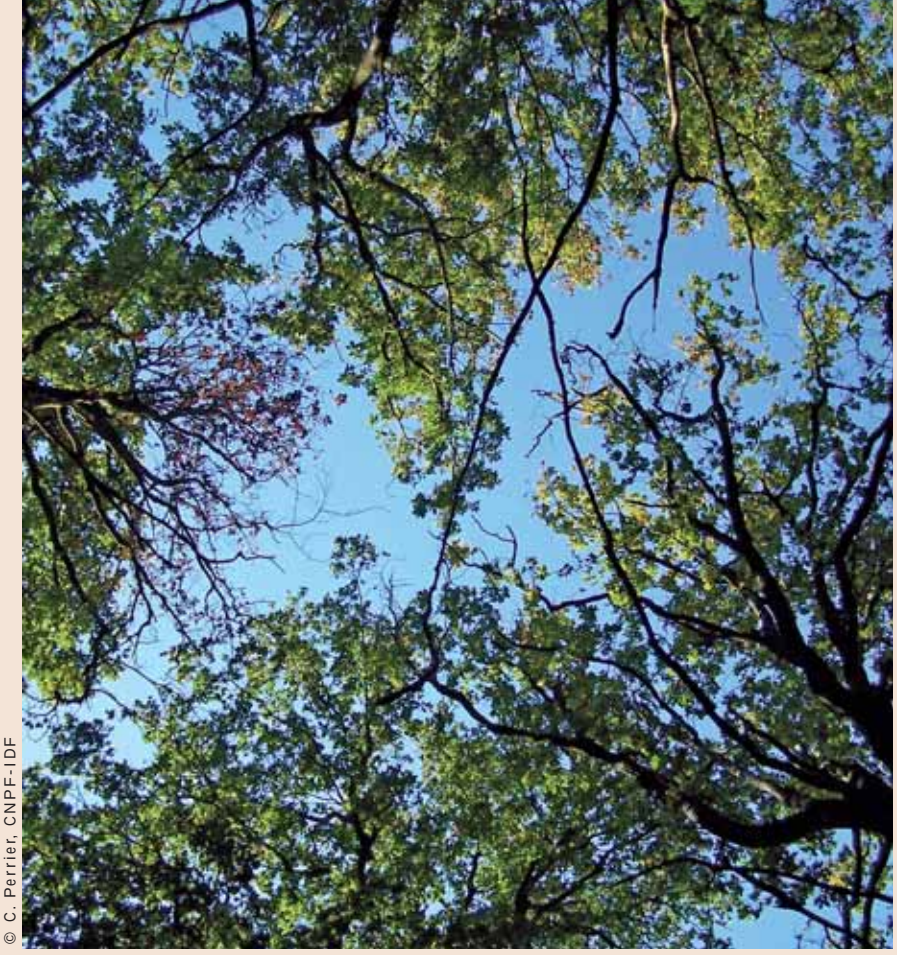
Des appels à projets annuels

Depuis sa création en 2008, les principaux objectifs d'Aforce sont de coordonner les initiatives dans le domaine de l'adaptation des forêts au changement climatique, et de favoriser l'émergence de projets communs pour produire des outils d'aide à la décision pour les gestionnaires. Le réseau a proposé pour cela des appels à projets annuels, financés sur ses fonds propres. Les délais de réalisation imposés aux projets permettent l'obtention d'outils opérationnels dans un délai court. La fréquence des appels à projets du réseau permet de réviser annuellement les priorités d'action en fonction de l'évolution des connaissances et des avancées de la recherche. Il est ainsi possible de concentrer les efforts sur des sujets prioritaires ou pour lesquels il existe un réel besoin d'aide à la décision.

De cette manière, en 2011 de nouvelles priorités d'action sont définies dans l'appel à projets : autécologie des essences, sylviculture et eau, socio-économie, gestion adaptative.
Parmi les propositions reçues, 6 ont été retenues (*voir tableau ci-dessous*). Ainsi, en 3 ans, 15 projets ont été initiés dans le cadre des actions du réseau. Parmi eux, se trouvent aussi des initiatives de mise en réseau interrégionales (Sud-est et Sud-ouest) favorisant la mise à disposition de la connaissance, les démarches partenariales et le croisement des expériences à une échelle locale.

Les projets sélectionnés en 2011	
Stations forestières	Traits de vie* et autécologie des espèces forestières – TRAITAUT (*Guy Landmann, GIP Ecofor ; Myriam Legay, ONF ; Sophie Gachet, Université Paul Cézanne-IMEP*)
Vulnérabilité des peuplements	Indicateurs architecturaux de la réponse des arbres aux modifications climatiques (*Sylvie Sabatier, Cirad*)
Ressources génétiques	NOuvelles Méhodes d'Acclimatation Des Essences forestières – NOMADES (*Hervé Le Bouler, CNBF*)
Croissance et sylviculture	- Quelles essences favoriser dans les peuplements mélangés réguliers pour augmenter la résistance et la résilience des arbres au climat et à ses aléas ? (*François Lebourgeois, AgroParisTech Nancy*) - Sylviculture adaptative pour le sapin pectiné dans l'arrière-pays méditerranéen – Constitution d'un réseau d'essais (*Jean Ladier, ONF*)
Économie	En quoi l'analyse économique permet-elle d'informer les choix de gestion sous incertitude climatique ? Étude pilote sur le cas du douglas (*Franck Lecocq et Marielle Brunette, AgroParisTech Nancy*).

* *Ensemble des caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques d'un organisme qui affectent sa performance individuelle via leurs effets sur la croissance, la reproduction et la survie.*



© C. Perrier, CNPF-IDF

Un transfert à finaliser

La plupart des projets du réseau étant encore en cours d'exécution, peu d'actions de valorisation (formation, …) ont encore été engagées. Les outils développés sont majoritairement adressés aux gestionnaires et agents du développement. La priorité est donnée à la production d'outils d'aide à la décision, pour sensibiliser les gestionnaires à travailler en avenir incertain mais en se posant les bonnes questions. En effet, l'incertitude, le niveau de risque, sont avec les changements climatiques, autant de nouveaux paramètres à intégrer dans la gestion dès aujourd'hui et ces outils ont vocation à y aider.

Si le réseau Aforce a mis l'accent pour sa première période de labellisation (1) sur la production de nouveaux outils, la priorité de la seconde période sera de s'assurer de l'appropriation et de l'utilisation de ces outils.

Bilan en fin de période

En 2011, fin de sa première période de labellisation, le réseau a établi un bilan de ses 3 années d'activités :

- mise en évidence des points forts et faibles du réseau,
- présentation du travail effectué et des outils produits,
- identification des améliorations possibles et du travail restant à effectuer.

Il a également été demandé au réseau de présenter un nouveau plan d'action sur 2 ans, dans le prolongement de sa première période d'activité.

Ce bilan met en évidence la nécessité de renforcer et d'étoffer le partenariat du réseau pour atteindre plus efficacement les gestionnaires et l'aval de la filière. De plus, bon nombre des axes de travail du réseau sont abordés au travers des projets et ateliers déjà réalisés, mais peu aboutissent jusqu'à la production de recommandations concrètes. Ils nécessitent pour la plupart, une étape supplémentaire de

Les ateliers organisés par le réseau Aforce

Le choix des thématiques abordées dans les ateliers a été guidé par le besoin de faire le point sur les connaissances et les outils à disposition des gestionnaires et agents de développement, public cible de ces manifestations.

(1) Acquisition et utilisation des données météorologiques par les forestiers (juin 2009)

(2) Quelle(s) méthode(s) utiliser pour améliorer la description des stations forestières et permettre ainsi de mieux comprendre et anticiper le changement climatique ? (mars 2010)

(3) Les méthodes de transfert et de communication des connaissances (déc 2010)

(4) La génétique, un élément clé pour l'adaptation des forêts au changement climatique (mai 2011)

(5) Télédétection et forêt dans le contexte des changements climatiques : apports, limites et perspectives (octobre 2011)

(**Pour voir les interventions de ces ateliers :** http://www.foretpriveefrancaise.com/atelier-donnees-meteo-480103.html).

vulgarisation. Les attentes sont donc encore nombreuses, mais la réalisation du programme du réseau reste dépendante de l'avancement des projets de recherche et de développement des partenaires.

La priorité a été donnée pendant la première période d'action du réseau à la production d'outils et à l'organisation de temps d'échanges. Le réseau a organisé en 3 ans :

- 2 séminaires de communication sur les actions et projets du réseau,
- 1 colloque visant à accélérer la diffusion des résultats de projets de recherche arrivant à leur terme [2],
- 5 ateliers ayant vocation d'informer sur les innovations, de faire progresser la réflexion sur les axes de travail du réseau et d'encourager l'incubation de nouveaux projets. (*voir encadré*)

Après cette première phase d'investissement, il reste un important travail de valorisation et de communication à mettre en œuvre pour faire connaître les outils produits et les bilans des colloques et ateliers. C'est l'enjeu de la deuxième période dans laquelle tous les partenaires initiaux souhaitent s'engager. Un nouveau programme sur 2 ans a été validé fin 2011 à la DGER [3], chargé de l'évaluation des RMT.

Objectifs 2012-2013

Le réseau conserve ses missions de transfert, d'évaluation et de diffusion des nouvelles connaissances. Il concentrera pour cela ses moyens sur :

➔ la mise en place de 3 groupes de travail multi-organismes pour produire des recommandations et initier la production de nouveaux outils pour les agents du développement :

- (GT1) - Diagnostic stationnel et choix des essences,
- (GT2) - Gestion de l'eau dans la sylviculture des peuplements existants,
- (GT3) - Conduite de la création et du renouvellement des peuplements.

L'objectif de ces groupes de travail sera d'accompagner la décision, de donner les ingrédients pour agir et surtout de donner les clés aux agents de développement, décideurs et gestionnaires pour éviter les principales erreurs à ne pas commettre.

➔ l'animation de nouveaux ateliers et séminaires, comme lieux d'échange et de synthèse des connaissances,

➔ la communication et la valorisation de ses précédents travaux,

➔ l'ouverture du réseau (extension du partenariat vers l'aval notamment et amélioration des liens avec la recherche et avec l'enseignement) et la consolidation de son positionnement sur la thématique de l'adaptation des forêts au changement climatique.

Pour réaliser ce nouveau projet, le réseau s'est associé 2 nouveaux partenaires : l'APCA [4] et la Bergerie nationale de Rambouillet (un des 5 établissements du Système National d'Appui [5] à l'enseignement agricole). Il bénéficie également depuis fin 2011 d'un nouveau soutien financier conséquent de la part de France Bois Forêt qui vient s'ajouter aux contributions des partenaires et aux subventions du ministère en charge de l'Agriculture et de la CDC [6] Recherche Climat.

Enfin, le réseau est retenu comme partenaire d'actions prévues dans le Plan National d'Adaptation au changement climatique, ce qui constitue une reconnaissance de son rôle et une garantie de sa pérennité.

Conclusion

Depuis son lancement en 2008, Aforce a mis en place diverses actions visant à aider les gestionnaires à préparer les forêts au changement climatique. Il s'est ainsi intégré peu à peu dans le paysage forestier et les premiers effets de ses actions sont visibles. Il contribue à créer de nouveaux réflexes autour de l'adaptation des forêts au changement climatique. L'action du réseau est collective et bénéficie d'une complémentarité Recherche & Développement. La souplesse de son cadre de travail lui permet d'être réactif et porteur d'initiatives nouvelles. C'est au travers des échanges nombreux et fructueux ayant lieu lors des ateliers et séminaires, entre les besoins des gestionnaires et l'offre de connaissance des chercheurs, que s'élabore le programme d'action du réseau. Ses appels à projets sont une nouvelle voie de transfert appréciée tant par les gestionnaires que par la recherche et qui ne trouvent pas d'équivalent ailleurs.

Le renouvellement de la labellisation du réseau pour une période de 2 ans est une opportunité pour le réseau de poursuivre ses actions. Des efforts particuliers vont être apportés pour finaliser le transfert, renforcer et ouvrir son partenariat, et produire pour le développement les recommandations et ingrédients nécessaires à guider la décision de gestion. Il continuera, par ailleurs, à produire de nouvelles connaissances et synthèses. Jusqu'à présent le réseau avait mis l'accent sur la première phase du transfert pour récupérer les enseignements des résultats de la recherche. Il doit à présent passer à la 2e phase pour réussir à guider plus efficacement le gestionnaire dans ses choix. ■

1) Le réseau AFORCE a obtenu en 2008 le label « RMT, réseau mixte technologique ». Il a été délivré par l'ACTA, pour une période de 3 ans.

2) Colloque "Que nous apprends la recherche sur la vulnérabilité des forêts au changement climatique" organisé le 17 novembre 2011 au FCBA à Paris.

3) Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche, relevant du ministère en charge de l'Agriculture.

4) Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture

5) « Le Système National d'Appui (SNA) peut être défini comme un ensemble de ressources et de personnes mises à disposition de l'enseignement agricole pour impulser son évolution et accompagner son adaptation aux changements éducatifs, sociaux, économiques ou techniques.[…] La direction générale de l'enseignement et de la recherche (DGER) définit les contours du SNA et lui fixe ses grandes orientations et objectifs de travail en tenant compte notamment des politiques mises en place par le Ministre de l'Agriculture et de la Pêche. » (Note de service du 17 mars 2009 - DGER/MSSI/N2009-2032)

6) Caisse des Dépôts et Consignations.

La Contribution Volontaire Obligatoire sert à financer les programmes stratégiques de la filière comme…

… l'adaptation des forêts au changement climatique, grâce au RMT AFORCE

France Bois Forêt est l'interprofession nationale au service de la filière forêt-bois, regroupant les propriétaires et gestionnaires forestiers publics et privés, les pépiniéristes, graniers et reboiseurs, les professionnels de la 1re transformation de la scierie au parquet et emballage en bois.
La cotisation volontaire obligatoire (CVO) permet de financer des actions collectives de promotion, de progrès techniques, d'éducation, de recherche et développement.

Parmi les nombreuses actions menées ou soutenues par FBF, rappelons les dernières les plus marquantes :

- l'observatoire économique de la production de bois français, consultable sur le site France Bois Forêt,
- soutien de nombreuses études et recherches en faveur de la valorisation du bois (qualité du bois de peuplier, chêne en structure, état des lieux sur le hêtre, relance des débouchés des bois feuillus…),
- des communications ciblées envers les jeunes pour les sensibiliser aux métiers de la filière forêt-bois,
- des communications vers le grand public, comme « Nature Capitale », la campagne multimédia 2011 (presse, télévision) durant l'année internationale des forêts.

merci la forêt

Jean Pierre Michel, président de France Bois Forêt

*« **Anticipation, recherche et innovation** sont les thèmes qui guident nos actions stratégiques pour les années à venir. L'adaptation des forêts au changement climatique est une préoccupation des gestionnaires et producteurs forestiers privés et publics. Les partenaires très impliqués du réseau AFORCE contribuent à renforcer les liens entre la recherche, le développement et l'enseignement technique. Dans le cadre du projet "Fonds Forestier Stratégique Carbone", France Bois Forêt a identifié le réseau RMT AFORCE comme un maillon essentiel et choisit de cofinancer ses travaux par un apport de cent milles euros.*
La production d'outils d'aide à la décision ou de recommandations concrètes de gestion sont essentielles et prioritaires dans le contexte actuel de la production forestière.
Les autres projets réalisés ou financés grâce à la CVO feront l'objet de communications à paraître régulièrement dans la presse nationale et régionale. »

Olivier Picard, coordinateur du réseau Aforce

*« **Économiquement et symboliquement, ce soutien est un encouragement fort** : il montre que la filière bois dans son ensemble est concernée et s'implique par les travaux du RMT AFORCE pour l'adaptation des forêts au changement climatique. Quelles espèces planter pour assurer demain une production forestière adaptée aux besoins ? Comment vont évoluer les écosystèmes forestiers ou leurs vulnérabilités face aux modifications climatiques ? Comment gérer les peuplements existants en maintenant production, rentabilité et pérennité ?*
Par cet apport conséquent, France Bois Forêt double le budget octroyé par le ministère de l'Agriculture, cela est significatif ! À noter, l'incitation importante pour la communication des résultats ou des recommandations produites : ainsi, avec cette contribution, nos actions de communication (ateliers du RMT, publications, site internet, formation aux outils de compréhension…) seront mieux valorisées et mieux ciblées vers les gestionnaires forestiers. »

Promouvoir les échanges et le transfert des connaissances

Denise Afxantidis, Forêt Méditerranéenne

En région méditerranéenne, les sylviculteurs observent le changement climatique. L'association Forêt Méditerranéenne soutient la création d'un réseau collaboratif de données partagées comme outil de communication entre chercheurs et gestionnaires.*

La région méditerranéenne est, sans doute plus qu'ailleurs, affectée par le changement climatique. Elle peut, à ce titre, mais aussi dans le cadre des changements globaux, être considérée comme annonciatrice de l'évolution de l'ensemble des forêts françaises.

Les propriétaires et gestionnaires d'espaces forestiers se posent de nombreuses questions et sont dans l'attente de conseils validés pour adapter leurs peuplements à l'évolution du climat. Dans ce contexte, il est primordial d'assurer une diffusion efficace des connaissances sur le sujet, entre chercheurs et gestionnaires.

Forte de son expérience d'échanges et de mise en relation des différentes catégories d'acteurs, et du succès d'une première série de journées organisées en 2007 sur le sujet, l'association Forêt Méditerranéenne s'est proposé (à la demande de plusieurs de ses partenaires) de mettre en place un réseau collaboratif sur ce thème, spécifique à la région méditerranéenne. Une étude préalable menée en 2009 a précisé la demande des partenaires : « *Le réseau devra être avant tout une base de connaissances reconnues et validées, puis un outil de communication entre, notamment, chercheurs et gestionnaires* ». Le thème prioritaire devant être couvert par le réseau est l'anticipation et l'adaptation des peuplements au changement climatique.

Éléments de conclusion du colloque

[…] « Peut-on faire autre chose qu'observer et expliquer ce qui se passe ? Des préconisations concrètes ont été indiquées par les gestionnaires avec l'aide des chercheurs, mais avec beaucoup plus de prudence qu'il y a trois ans.

Tout d'abord, des travaux sont entrepris pour mieux apprécier la vulnérabilité des essences et prendre rapidement des décisions dans les aménagements des forêts. Ainsi dans les Préalpes du Sud, l'Office national des forêts préconise de limiter le sapin aux stations les plus favorables. Inversement on peut envisager son extension sur certains secteurs, ou encore étendre la cédraie, mais avec prudence à cause des gelées tardives et favoriser les mélanges cèdre-sapin et cèdre-chêne pubescent.

La sylviculture a besoin d'être dynamisée pour prendre en compte la productivité qui s'accroît du fait d'une fixation plus importante du CO_2, mais aussi pour diminuer l'exposition aux vents forts (récolter plus tôt) et résister au stress hydrique (contrôle de la surface foliaire). Il convient de mieux gérer la distribution des âges, le vieillissement pouvant être un facteur de vulnérabilité au dépérissement. Il est souhaitable d'accélérer l'adaptation spontanée *in situ*, dans les régénérations naturelles, ou active, par changement d'essence.

Cependant, il convient d'être prudent en milieu méditerranéen. De fortes ouvertures du milieu limitant la surface foliaire peuvent provoquer l'explosion du sous-étage qui est un redoutable concurrent pour l'eau, accroître l'évaporation (ensoleillement fort, vent fréquent) et augmenter le risque d'incendie. Il faut aussi éviter d'enlever systématiquement les peuplements âgés dans une région où ils sont rares et pénaliser ainsi la biodiversité. Comme pour d'autres aléas, la gestion de peuplements mélangés semble favorable ; il est bon, par exemple, de maintenir du pin d'Alep dans les chênaies et donc d'inverser la tendance actuelle, ou de favoriser le chêne vert par rapport au chêne blanc, ou encore de faire plus de place aux petits arbres méditerranéens. Sur les mises en régénération, la prudence s'impose aussi car il reste beaucoup d'inconnues sur la capacité d'adaptation et la sensibilité des jeunes arbres aux conditions de sécheresse plus fortes. […] ».

Extrait de l'article de Louis-Michel Duhen publié à l'issue du colloque dans la revue *Le Bois International* et dans le bulletin la *feuille et l'aiguille* n°82, février 2011. Nous remercions la rédaction du *Bois International* pour son aimable autorisation de reproduction.

C'est dans ce cadre et pour répondre à cette demande, que, fin 2010, Forêt Méditerranéenne a organisé avec l'aide de divers partenaires dont le RMT AFORCE (appui technique et logistique), un 2e colloque interrégional sur le thème « Observer et s'adapter au changement climatique en forêt méditerranéenne ».

Ce colloque avait deux principaux objectifs : porter à la connaissance du public les nouveaux acquis de la recherche, depuis le 1er colloque organisé en 2007, et proposer une réflexion sur les questions de transfert, utile à la mise en place du réseau méditerranéen.

Associé au lancement du programme européen Med, For Climadapt, cet événement a rassemblé, en plus des professionnels français concernés par la thématique, des partenaires d'autres pays méditerranéens.

Connaissances sur l'observation et l'adaptation aux changements climatiques en forêt méditerranéenne

Le colloque s'est déroulé du 30 novembre au 3 décembre 2010, à Marseille pour trois jours de conférences, débats et ateliers, et dans les Alpes-Maritimes pour une tournée organisée par l'Office national des forêts. Il a rassemblé au total 200 participants. Cet événement a fait l'objet de diverses publications dont une synthèse des premières orientations de gestion évoquées lors de ces journées (*voir encadré, p. 22*). Les actes complets du colloque ont été publiés dans la revue *Forêt Méditerranéenne* [(1)].

Une organisation pensée pour faciliter le transfert

Forêt Méditerranéenne a une forte capacité de mobilisation d'acteurs variés. Si rassembler un large public de chercheurs d'une part, et de gestionnaires d'autre part, était une évidence pour assurer une diffusion utile de connaissances validées sur le sujet (du monde de la recherche au monde de la gestion), elle n'a pas été le seul fil conducteur de l'organisation de ce colloque. En effet, il nous a semblé essentiel, non seulement d'apporter des éléments de réponses aux gestionnaires à la question : que fait-on maintenant ? mais aussi à une seconde question, essentielle, qui en découle : les décideurs et élus sont-ils prêts à soutenir les actions à mettre en œuvre ?

C'est en effet une question clef : il ne sert à rien de préconiser des solutions techniques si, d'une part la société et, d'autre part, les élus et décideurs ne sont pas convaincus du risque et de la nécessité d'agir.

Ce sont les raisons pour lesquelles les deux premiers jours du colloque ont été organisés, à la fois autour de questions sociétales et de perception du changement climatique et de questions techniques.

Sur ce dernier point, les quatre questions « techniques » concernaient les systèmes d'observation, la conservation des espèces, l'adaptation de la forêt et le risque d'incendie accru. Nous avons laissé répondre, à tour de rôle, les chercheurs, les gestionnaires et les élus. Les chercheurs ont présenté leurs résultats les plus récents. Les gestionnaires ont, quant à eux, expliqué comment ils traduisaient en actes de gestion les différentes préconisations. Les élus étaient invités à donner leur sentiment sur la "faisabilité sociale" des actions envisagées au regard du risque.

La troisième journée était consacrée à une visite sur le terrain. L'Office national des forêts (partenaire du projet For Climadapt) nous a présenté son site pilote d'étude de la forêt domaniale de Nans dans les Alpes-Maritimes où un dispositif expérimental a été mis en place afin d'étudier la compétition entre les arbres pour la ressource en eau.

La dernière journée a été consacrée à un atelier sur le thème des méthodes de transfert et de communication des connaissances.

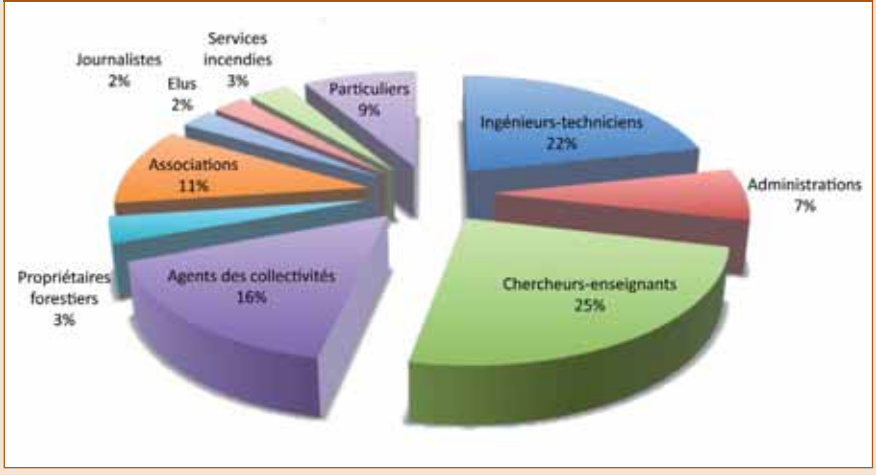
Quels résultats en matière de transfert ?

Un public varié …

mais encore peu d'élus

La majorité des participants était composée d'acteurs de la gestion et de la recherche. Le colloque a cependant permis de mobiliser d'autres catégories d'acteurs, dont le milieu associatif, les administrations, les collectivités locales, des particuliers, quelques élus… (*voir figure, ci-dessous*).

Figure 1 : répartition des participants du colloque



© D. Gasc / AIFM

Sur la piste des Lices (commune de St-Vallier-de-Thiey dans les Alpes-Maritimes), les cèdres plantés dans les années 1950 présentent une régénération vigoureuse, alors que le pin noir et les chênes montrent quelques marques de dépérissement

Une prise de conscience des risques … mais jusqu'où ?

La première journée du colloque, ouverte sur les questions de société, a rassemblé le public le plus varié. Les échanges ont permis de confirmer les prévisions les plus alarmistes des modèles climatiques, mettant ainsi fin aux doutes que les dernières années pluvieuses et les polémiques médiatiques autour de la réalité du changement climatique avaient semés dans les esprits. Ils ont aussi montré l'importance d'intégrer l'ensemble de la société à ces questions. Nous avons pu constater que de nombreux décideurs sont conscients des risques, à différents niveaux (international, national et local), ce qui est encourageant. Cependant la traduction en actions étant encore inexistante dans certains secteurs, voire très récente dans d'autres, il est difficile de juger si l'ensemble des décideurs et élus sont prêts à mettre les moyens nécessaires pour pouvoir mener à bien et sur le long terme, l'ensemble des recommandations ou pistes d'actions envisagées.

Des résultats techniques, peu de recommandations concrètes

Les interventions scientifiques et techniques du colloque ont été extrêmement variées et appréciées [2]. Elles ont montré la diversité des champs étudiés dans le cadre des changements climatiques et ont permis d'exposer les résultats disponibles à ce jour.

Il faut noter tout particulièrement les progrès faits en matière de modélisations climatiques et de systèmes d'observation des impacts du changement climatique sur les forêts méditerranéennes.

Il reste évidemment de nombreux sujets à approfondir : évolution du bilan hydrique, intérêt de l'éclaircie en contexte méditerranéen, essences de « remplacement » à privilégier, modalités de gestion à appliquer aux peuplements, résultats des études génétiques et des expérimentations en arboretums…

Malgré ces nombreux travaux et résultats, il ressort de ces rencontres que le sentiment d'isolement des gestionnaires et des propriétaires forestiers face au risque climatique est bien réel. Ils estiment que les recommandations concrètes disponibles à ce jour sont insuffisantes pour répondre à toutes leurs interrogations. Ils déplorent, par ailleurs, une distance entre recherche et gestion qui persiste malgré les différentes rencontres organisées sur ce thème. Ils auraient aimé qu'à l'issue de chaque intervention d'un chercheur, soient proposées par ce dernier en guise de conclusion, quelques recommandations concrètes.

Mais, est-ce aux chercheurs de formuler des recommandations pratiques ? Rien n'est moins sûr au regard de l'atelier organisé le dernier jour sur les questions de transfert des connaissances.

Les apports de l'atelier sur le transfert

Tout le monde s'accorde à dire que la communication vers le public en général et les acteurs forestiers en particulier est un élément clé de la réussite des projets d'adaptation des forêts au changement climatique et du transfert des connaissances et des bonnes pratiques.

Mais la demande de recettes et solutions immédiates de la part de ces catégories d'acteurs se heurte à plusieurs obstacles. Non seulement le temps de la recherche (très long) n'est pas celui des gestionnaires ou des propriétaires, et encore moins celui des élus (comme cela a été soulevé maintes fois lors des multiples rencontres entre chercheurs et gestionnaires), elle n'est donc pas souvent en mesure de donner des préconisations immédiates et précises. Mais en outre, cette demande se heurte à une des règles de la transmission des connaissances qui est « *d'éduquer au choix et non d'enseigner des choix* » (P. Clément). Dans son intervention, Pierre Clément [3] nous a expliqué que « *celui qui souhaite*

transmettre des connaissances a pour principale fonction de créer les situations didactiques les plus favorables à l'apprentissage ».

Chaque catégorie d'acteurs, chaque personne a une vision différente d'un même objet : ici, il s'agit de la forêt méditerranéenne. Ainsi la conception que l'on se fait de la forêt est le résultat de l'interaction complexe entre nos propres connaissances scientifiques, nos valeurs et nos pratiques sociales.
Ainsi, donner aux gestionnaires des recettes toutes prêtes n'est peut-être pas la solution, car elles ne conviendront pas forcément aux conceptions de chacun.
L'enjeu d'un transfert réussi est donc, avant tout, de s'appuyer sur des valeurs et des concepts **partagés**.

Perspectives

Il nous semble donc primordial de continuer dans la voie de la mise en réseau des acteurs et des connaissances pour, d'une part, créer cette plateforme de valeurs et de concepts partagés et, d'autre part, porter à la connaissance de chacun la palette d'outils adaptatifs disponibles, dans laquelle chacun puisera en fonction de ses conceptions et de ses besoins.
Le partage d'expériences est essentiel, avec des approches territoriales variées (internationale, nationale, régionale et locale).

Cette plateforme doit pouvoir être accessible à chacun et non pas uniquement aux chercheurs et gestionnaires. Public, décideurs et élus doivent également pouvoir trouver des éléments à leur portée.

On peut s'appuyer sur des rencontres comme ce colloque ou sur les nouvelles technologies de l'information pour améliorer encore cette communication. Forêt Méditerranéenne prévoit de poursuivre son projet par une proposition de prototype de site internet sur la question. Mais, là aussi, c'est un dispositif qui, s'il voit le jour, n'aura d'intérêt que s'il peut être pérennisé. ■

denise.afxantidis@foret-mediterraneenne.org

** L'association Forêt Méditerranéenne, créée en 1978, a pour objectif de favoriser la diffusion des connaissances et les échanges d'information sur les espaces naturels et forestiers méditerranéens. Elle organise des rencontres : séminaires, colloques, journées d'étude, visites… et publie deux périodiques. Elle rassemble un public varié : du scientifique au simple amateur, en passant par les professionnels de la forêt…*
1) Forêt Méditerranéenne - Tome XXXII, n°2, juin 2011 - Spécial « Observer et s'adapter au changement climatique en forêt méditerranéenne - Actes du colloque » - 172 pages.
2) Source : « Bilan de l'évaluation du colloque » réalisé par l'AIFM dans le cadre du projet For Climadapt.
3) Professeur de didactique de la biologie et de l'environnement à l'Université de Lyon.

Résumé

L'association Forêt Méditerranéenne a organisé un colloque interrégional « Observer et s'adapter au changement climatique en forêt méditerranéenne » pour faire connaître les derniers acquis de la recherche, et proposer une réflexion sur le transfert, utile à la mise en place d'un réseau méditerranéen. La demande de solutions immédiates de la part des gestionnaires se heurte au temps de la recherche et au besoin de construire auparavant un socle de valeurs et de concepts partagés, condition pour que chacun puise dans les outils adaptatifs proposés, en fonction de ses conceptions et besoins.

Mots-clés : réseau méditerranéen, transfert des connaissances, coopération, changement climatique.

Le projet européen For Climadapt

Présentation

Le programme MED est un programme transnational de coopération territoriale européenne (Interreg IV C), financé par l'Union européenne.

L'objectif du projet For Climadapt est d'améliorer les capacités d'adaptation des espaces naturels méditerranéens au changement climatique, en particulier aux risques d'érosion, d'incendies et de dépérissement à travers :

– le développement d'observations et du suivi des changements dans les écosystèmes,

– le développement d'une nouvelle sylviculture favorisant la biodiversité tout en maintenant la valeur économique,

– le développement de méthodes de restauration écologique de terrains dégradés,

– l'information, la sensibilisation de la société et l'amélioration de la gouvernance.

Partenariat

Ce projet triennal réunit un partenariat élargi à six territoires issus de cinq pays :

– le Parc national du Vésuve (Italie) : risques d'érosion et de perte de biodiversité,

– la Région Ombrie (Italie) : risque croissant d'incendies,

– l'Office national des forêts (France) : dépérissements de peuplements,

– la Région Nord-Egée (Grèce) : érosion côtière et risque d'incendies,

– l'Association de protection de l'environnement de Mértola (Portugal) : désertification rurale,

– le Centre technique forestier de Catalogne (Espagne) : résistance des forêts et changement climatique.

L'association Forêt Méditerranéenne et l'AIFM (France) complètent le partenariat pour des actions d'échanges, de communication, d'animation et de capitalisation du projet.

Actions pilotes

Une première étape consistera à faire un état des lieux des effets des changements climatiques sur les sites pilotes des partenaires, en harmonisant les critères d'observation et de suivi.

L'ONF propose des expérimentations favorisant la variabilité, aux niveaux de la génétique, des essences, de l'âge des arbres.

Le Parc du Vésuve s'engage à améliorer ses techniques de génie biologique pour maintenir les sols du volcan, puis favoriser le reboisement avec des essences autochtones. Nord-Egée et ADPM se focalisent sur l'amélioration des techniques de reboisement de terrains incendiés ou érodés en favorisant notamment les essences locales.

La Région Ombrie envisage d'appliquer une stratégie de consultation et d'implication des acteurs pour améliorer la stratégie de prévention contre les incendies. L'ADPM souhaite former et sensibiliser d'autres acteurs en milieu rural afin de permettre à la société de s'adapter et de pouvoir anticiper les changements de gestion des espaces naturels.

Projet For Climadapt - www.forclimadapt.eu
email : forclimadapt@epnv.it

Projet cofinancé par le fonds Européen de développement Régional
Project cofinanced by the European Regional Development Fund

Des erreurs de gestion avec la non prise en compte de la station sont fréquemment observées ; des coupes trop intenses sur sol à nappe temporaire ont, par exemple, pour conséquence une stagnation prolongée de la nappe d'eau et l'explosion de la molinie, bloquant le développement de la régénération.

© CRPF Centre

Un guide simplifié pour le choix des essences intégrant le changement climatique

Jean-Baptiste Reboul*, Éric Sevrin**

Le CRPF Centre Île-de-France a établi un guide spécifique intégrant le changement climatique sur l'ensemble de la région Centre avec l'IDF. Il constitue une innovation dans le domaine de la typologie des stations par une approche nouvelle de construction pour mieux conseiller les gestionnaires dans leurs choix d'essences.

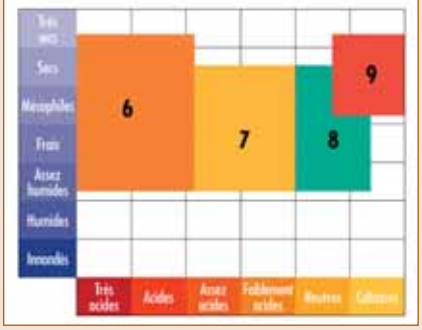
Pourquoi réaliser une synthèse des catalogues de station en région Centre ?

Les catalogues de stations existants couvrent une grande partie de la région Centre. Ils renferment de nombreux renseignements pratiques sur le sol et la flore. Leur utilisation est malheureusement restreinte car certains sont trop scientifiques et ils manquent d'harmonisation entre eux. Les conseils et définitions des types de stations qu'ils dispensent sont à climat constant et n'intègrent pas les conséquences des évolutions observées et à venir du climat.

Un guide unique et simple est proposé pour l'ensemble de la région, permettant aux propriétaires et gestionnaires forestiers d'éviter les erreurs importantes dans le choix des essences et dans les itinéraires sylvicoles. Ce document :

- permet d'avoir un langage commun sur l'ensemble de la région,
- positionne un peuplement et une station donnés dans un habitat naturel forestier,
- précise si les essences en place sont adaptées aux conditions rencontrées, en intégrant les risques liés aux changements climatiques (problèmes d'exposition, de bilan hydrique, d'engorgement…),
- propose les précautions à prendre pour les opérations sylvicoles (risques liés au tassement du sol, intensité des

Fig. 1 : exemple de la répartition des habitats de la hêtraie de la région Centre dans un écogramme



On associe facilement une grande contrainte à un habitat comme une réserve en eau limitée pour les hêtraies calcicoles (9) ou une pauvreté minérale pour la hêtraie acidiphile atlantique à houx (6).

coupes …) dans un esprit multifonctionnel (environnement, chasse…).

Regroupement des stations en fonction des habitats forestiers

Les habitats forestiers ont été choisis comme unités de base pour la construction de cette synthèse car ils :
- sont déjà décrits au niveau régional (Gauberville, 2003) ce qui permet l'extension de ce guide aux zones non couvertes par les ouvrages de typologie des stations,
- intègrent des variables climatiques (hêtraie/ chênaie) et des données sols (niveau hydrique, richesse minérale…),
- prennent en compte la dynamique forestière,
- permettent l'utilisation d'une clé d'entrée relativement facile fondée sur la topographie et les espèces indicatrices,
- indiquent des grandes contraintes par habitat pour le choix des essences et le type de sylviculture à mener.

Les 336 stations définies dans les catalogues de la région Centre ont d'abord été classées dans 26 habitats. Parmi eux, les plus proches (même contrainte pour le choix des essences et la sylviculture à mener) ont ensuite été regroupés : c'est le cas, par exemple, de tous les habitats des formations marécageuses. Au final, les 336 stations figurent dans **15 grands ensembles stationnels** (habitats ou regroupements d'habitats).

Ce premier classement a été confirmé par la lecture des fiches synthétiques des stations et en le confrontant notamment aux données descriptives du sol et de la flore du Cahier des habitats forestiers de la France tempérée (Gegout *et al.*, 2008). (*voir figure 1*)

Prise en compte du changement climatique

Les catalogues de station sont statiques face au changement climatique observé. Des questions se posent sur la validité des types de station dans un climat changeant. En effet, les régimes hydriques des sols vont être modifiés à court ou moyen terme, à cause des évolutions des précipitations et des températures.

Les sols à engorgement temporaire, avec une hydromorphie marquée dans les 30 premiers centimètres, seront-ils moins contraignants avec une baisse annuelle des précipitations ou plus contraignants avec des hivers plus pluvieux et des étés plus secs ?

Les sols à réserve en eau moyenne actuellement seront-ils contraignants si le climat devient plus sec ?

Le niveau trophique est susceptible d'évoluer à long terme, mais dans quel sens ? L'élévation des températures au niveau du sol sera favorable à l'activité biologique mais en même temps certains décomposeurs ou des mycorhizes y seront sensibles.

Malgré ces nombreuses incertitudes des conséquences à moyen et long-terme du changement climatique sur les caractéristiques stationnelles, ce guide a privilégié une approche dynamique en intégrant les connaissances actuelles sur le changement climatique au niveau des habitats de leurs variantes présentées dans le chapitre suivant et du sol (choix des essences). Les enveloppes climatiques des habitats sont caractérisées dans le Cahier des habitats forestiers de la France tempérée (Gegout *et al.*, 2008). Leur aire actuelle est modélisable, de même que les évolutions possibles de

© CRPF Centre

Variante engorgée (6 e) de la hêtraie-chênaie atlantique acidiphile à houx. Contrainte : nappe d'eau temporaire et sols à faible réserve minérale.

© CRPF Centre

Variante modale (6 m) de la hêtraie-chênaie atlantique acidiphile à houx. Contrainte : faible réserve minérale.

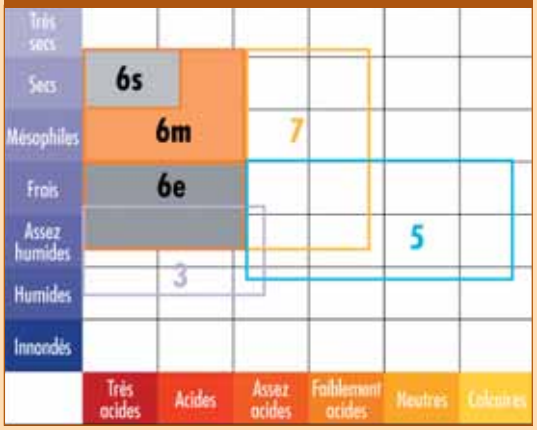
© CRPF Centre

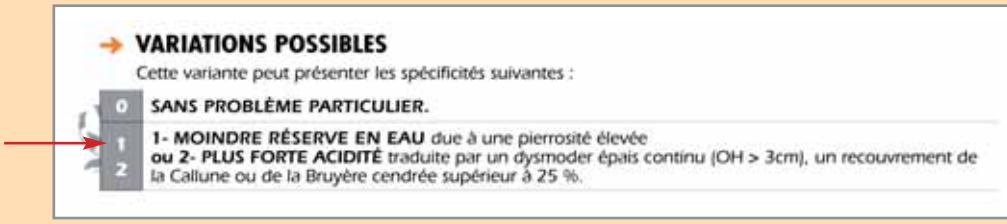
Variante sèche (6 s) de la hêtraie-chênaie atlantique acidiphile à houx. Contrainte : sols à faible réserve en eau et à très faible réserve minérale.

Exemple détaillé

La station X3 (stations pauvres sur sol limoneux très caillouteux) est décrite de la façon suivante dans le catalogue des stations du Pays Fort : **humus de type moder**, (présence des espèces « acidiphiles à large amplitude »), sol développé dans un matériau très chargé en silex (blocage de la tarière dans les 40 premiers cm), des **précipitations supérieures à 750 mm : station présente dans le Sud du Pays Fort sur des pentes faibles**.
Les caractéristiques figurant en gras ont permis de classer cette station dans l'habitat de la hêtraie acidiphile atlantique à houx habitat n°6. L'absence d'essences des milieux engorgés et la présence d'un humus de type moder la classe dans la variante modale (**6 m**).

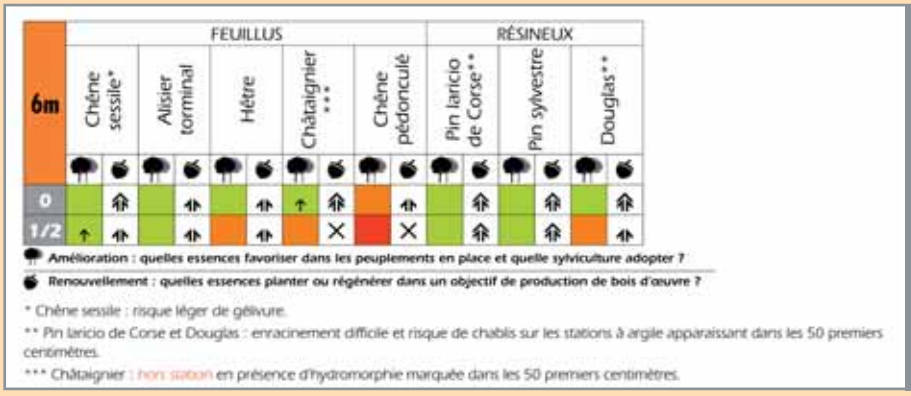
Fig. 2 : Hêtraie-chênaie atlantique acidiphile à Houx divisée en variantes correspondant chacune à une contrainte particulière, impliquant un changement dans le type de sylviculture et le choix des essences.





La station X3 correspond à la variation 1 « moindre réserve en eau due à une pierrosité ».

On se reporte à la 2e ligne du tableau pour connaître l'adéquation des essences à cette station.



**Ici, le chêne sessile est en station mais nécessite une gestion dynamique dans un peuplement constitué ; le châtaignier est en limite de station.
Le chêne pédonculé est hors station.
Les pins sont adaptés.
Le chêne sessile peut être renouvelé mais plutôt en mélange pour ne pas prendre de risque ; il est déconseillé de repartir sur le châtaignier.**

Des informations complémentaires peuvent être données sur la gestion.

Des préconisations à respecter sont indiquées dans le tableau suivant, notamment celles indiquées dans les première et troisième lignes lors du renouvellement du peuplement.

GRANDES CONTRAINTES / RISQUES	Variations	→ Préconisations sylvicoles et environnementales
APPAUVRISSEMENT DU SOL	2, 0, 1	- Laisser les rémanents au sol (houppiers démantelés, écorces). - Conserver un sous-étage feuillu, surtout dans un peuplement résineux.
TASSEMENT DU SOL	toutes	- Ouverture de cloisonnements d'exploitation. - Utiliser du matériel et des techniques de débardage respectueux du sol. - Travailler avec des engins sur sol ressuyé.
VÉGÉTATION CONCURRENTE : Callune, Bruyère cendrée, Fougère aigle, Ajoncs et Genêts, Bouleaux...	toutes	Dégagements soignés, bâtonnage de la Fougère.
DOSAGE DU MÉLANGE	toutes	Limiter fortement le nombre de semenciers de Hêtre quelques années avant de lancer l'ensemencement si le Chêne sessile est l'essence objectif.

Variante calcicole à bonne réserve en eau de la chênaie sessiliflore ligérienne à Fragon (pas de blocage de la tarière dans les 40 premiers centimètres par une forte charge en éléments grossiers). Le chêne pédonculé est en limite de station. Le chêne sessile est en station.

Variante calcicole sèche de la chênaie sessiliflore ligérienne à Fragon (blocage de la tarière dans les 40 premiers centimètres par une forte charge en éléments grossiers). Le chêne pédonculé est hors station. Le chêne sessile est en limite de station.

© CRPF Centre

leur répartition en fonction des scénarii climatiques. Une carte bioclimatique est proposée dans la clé de reconnaissance des habitats pour distinguer l'aire de la hêtraie de celle de la chênaie sessiliflore. La sensibilité au changement climatique n'est pas la même dans ces deux grandes enveloppes climatiques. Les différencier est un premier gage de sécurité dans le conseil pour le choix des essences et le type de sylviculture à mener. Par ailleurs, en fonction des évolutions climatiques observées, cette carte pourra être revue lors des révisions du guide.

Divisions de certains habitats en variantes

Les habitats à large amplitude sont décomposés en variantes. Ces dernières sont définies par des analyses statistiques réalisées à partir des variables pédologiques ou floristiques. (*Voir photos ci-dessus*).

Une variante n'est maintenue que si elle diffère par l'existence d'une contrainte particulière impliquant un changement dans les conseils de sylviculture ou de choix d'essence. Ces variantes forment les « unités stationnelles » du guide qui s'organise par conséquent en deux parties : détermination de l'habitat (fiche synthétique sur l'habitat) puis de la variante, si l'habitat a une large amplitude (fiche synthétique sur la variante).

Le changement climatique est pris en compte lors de la distinction des variantes. La démarche s'appuie notamment sur une approche de l'économie en eau par station, en retenant les seuils à partir desquels la production d'essences exigeantes comme le chêne pédonculé n'est plus possible (*voir l'exemple page 28*).

La création des variantes a donc permis de définir des ensembles plus précis, dans lesquels la sensibilité au changement climatique à court-moyen terme (30 ans) diffère et les conseils pour le choix des essences sont à adapter.

Choix des essences

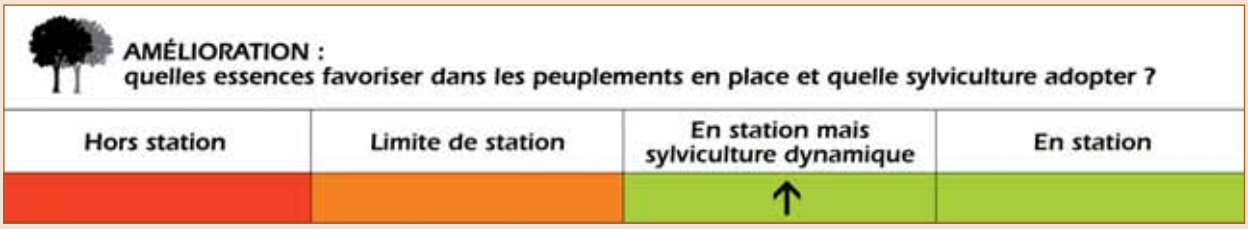
Les variantes ont une large amplitude stationnelle (*voir fig. 2*). Les variations au niveau du sol peuvent avoir un impact sur l'adéquation de l'essence à la station et sur sa sensibilité aux évolutions climatiques. Ces variations sont présentées et prises en compte dans le tableau du choix des essences, dans les fiches synthétiques des variantes.

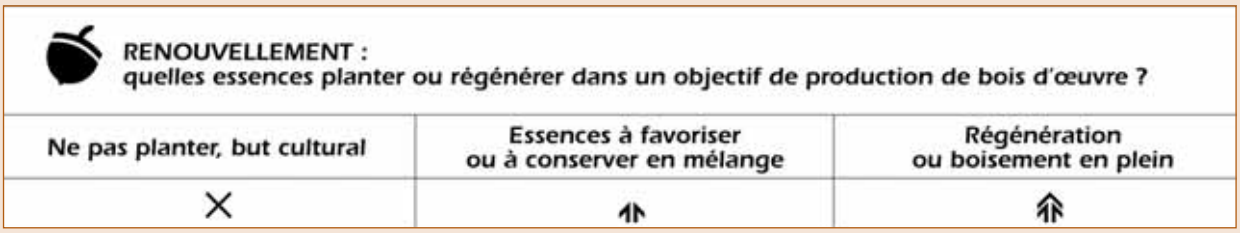
Le guide différencie la gestion des peuplements en amélioration de ceux en renouvellement, car la problématique peut ne pas être la même. Les conseils portent sur le contexte climatique actuel et intègrent les risques à venir. Cela concerne tous les modes de traitement (régulier, irrégulier).

Les peuplements actuellement en amélioration peuvent être :

→ en **station** : très faible risque de dépérissement, gestion classique, production de bois d'œuvre de qualité ;

→ **en station mais on préconise une sylviculture plus dynamique** pour diminuer la rotation : le risque de





dépérissement est faible aujourd'hui mais attention au changement climatique ;

➔ **en limite de station** : la croissance est déjà ralentie ou on observe quelques arbres dépérissants, une gestion dynamique est conseillée si c'est encore possible ; sinon éclaircies prudentes pour ne pas déstabiliser le peuplement ;

➔ **hors station** : fort risque de dépérissement ou croissance très limitée ; faire évoluer le peuplement le plus rapidement possible sans le déstabiliser, pour récolter le bois dès qu'il sera commercialisable.

La gestion actuelle peut orienter la composition du peuplement **en privilégiant les essences à renouveler dans le futur** : il est possible de **doser le mélange d'essences avant la phase de renouvellement** pour s'adapter au changement climatique si on souhaite s'orienter vers une régénération naturelle.

Le propriétaire doit tenir compte des conditions stationnelles s'il souhaite renouveler son peuplement par plantation (en plein, par parquets ou par bouquets) mais il n'a pas besoin de s'occuper de l'ensemencement futur. Les essences peuvent être :

➔ « **À favoriser en plein** » : elles ont un caractère social, sont en station et résisteront vraisemblablement au changement climatique d'après les connaissances actuelles. Elles peuvent également être favorisées en mélange avec d'autres espèces ;

➔ « **À conserver en mélange** » pour deux raisons possibles :

1) essence asociale ; les fruitiers forestiers (merisier, cormier ou alisier torminal) même s'ils sont en station, ne peuvent pas être conduits en plein,

2) changement climatique : certaines essences actuellement en station (ou limites) sont prédominantes dans des peuplements mais elles souffriront du changement climatique (hêtre ou chêne pédonculé). On ne pourra pas toujours transformer ces peuplements par plantation en plein. Les essences seront alors conservées en mélange, en introduisant ou en favorisant d'autres plus résistantes, comme le chêne sessile.

➔ « **Ne pas planter, but cultural** » : une essence y est classée pour trois raisons distinctes :

1) essence hors station : pas de plantation ni de dégagement à son profit ;

2) essence en limite de station, disséminée : elle n'est pas favorisée lors du renouvellement (pas de plantation) car on estime qu'elle souffrira du changement climatique,

3) essence en limite de station, sans objectif de production de bois d'œuvre : elle ne sera pas favorisée pour donner du bois de qualité mais pour un objectif bois énergie car elle souffrira du changement climatique (objectif cultural).

En conclusion

Le guide de reconnaissance et de gestion pour la région Centre a été conçu pour être évolutif : les conseils de sylviculture et de choix des essences pourront en effet être révisés en fonction des évolutions climatiques et des dernières avancées de la recherche. Il reste un outil d'aide à la décision, apportant au gestionnaire tous les éléments de connaissance et de compréhension du milieu et de son évolution pour lui permettre de faire les meilleurs choix de gestion possible et d'envisager objectivement l'avenir. ■

** Jean-Baptiste Reboul, ingénieur CRPF Normandie.*
*** Éric Sevrin, directeur-adjoint CRPF Île de France - Centre.*

Le guide a été financé par l'Europe (FEADER), l'État, la Région Centre et par le RMT AFORCE. Il est le fruit d'un partenariat entre les équipes de recherche d'AgroParisTech Engref, du CEMAGREF, de l'IFN, le CNPF et les acteurs locaux de la gestion (ONF, experts forestiers...).

Pour commander le guide au CRPF Île-de-France Centre, 43 rue du Bœuf saint-Paterne 45000 Orléans : 24 x 18 cm, 165 pages, 10 € + 5 € frais de port.

Résumé

Le CRPF a réalisé un guide simplifié de choix des essences en région Centre intégrant le changement climatique. Les 336 stations définies dans les catalogues de la région sont regroupés en 15 grands ensembles stationnels. Le guide différencie la gestion en amélioration ou en renouvellement, et précise si les essences en place seront adaptées. Des conseils de choix d'essences tiennent compte du contexte climatique actuel et de l'évolution probable du climat.

Mots-clés : guide simplifié, choix d'essences, changement climatique, région Centre.

Cartographie de la contrainte hydrique des sols forestiers

Exemple sur les plateaux calcaires du Nord-Est de la France

Christian Piedallu, Jean-Baptiste Richard*, Sylvain Gaudin, Myriam Legay*****

Les catalogues de station forestière ont été conçus dans un contexte où le climat était considéré comme stable, et il est aujourd'hui difficile de prendre en compte les effets potentiels du changement climatique dans le choix des essences. Le renouveau des méthodes de spatialisation en lien avec l'utilisation des systèmes d'informations géographiques a permis de réaliser une carte numérique représentant la contrainte hydrique pour les plantes en tout point de l'espace. Combinée avec des scénarios d'évolution du climat et connaissant les exigences écologiques des espèces, cette carte pourra être utilisée pour améliorer le découpage des stations, déterminer les zones potentiellement vulnérables et affiner les recommandations des essences.

Ce projet a été mené en partenariat entre le Lerfob[a] du centre AgroParistech-Engref de Nancy, les CRPF Champagne Ardenne et Lorraine, le pôle recherche et développement de l'ONF ainsi que les directions territoriales Lorraine et Bourgogne-Champagne-Ardenne de l'ONF. Son objectif était de créer, de valider et de déterminer l'utilisation possible pour le forestier de cartes numériques décrivant la variabilité spatiale de l'eau du sol. Reconnue à la fois comme étant un des facteurs les plus importants vis-à-vis de la ressource forestière, elle est probablement l'un des plus affectés par le changement climatique.

Cependant, son estimation, qui se fait traditionnellement à l'échelle de la placette, nécessite de relever de nombreux paramètres, rendant cette approche impossible sur de vastes échelles. La caractérisation de la contrainte hydrique à l'échelle de la région naturelle est aujourd'hui très difficile à réaliser pour le gestionnaire et se fait là où des catalogues où des guides de stations existent, de façon qualitative à travers l'utilisation de quelques critères simples à relever. Le développement depuis une quinzaine d'années des systèmes d'informations géographiques et des méthodes de cartographie numérique des facteurs écologiques ouvre de nouveaux horizons.

Cependant, la contrainte hydrique est le plus souvent caractérisée à l'aide de données climatiques qui ne prennent pas en compte la capacité du sol à stocker l'eau.

Nous avons calculé au cours de ce projet une carte numérique décrivant les variations spatiales de la ressource en eau des sols à l'échelle d'une région naturelle de taille importante. Nous faisons le point sur la nature de l'information produite, les avantages et les inconvénients liés à leur utilisation, ainsi qu'à leur intérêt pour des besoins pratiques. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur l'exemple du Guide pour le choix des essences des Plateaux calcaires de Champagne-Ardenne, du nord et de l'est de la Bourgogne[1].

Réalisation de la carte de la contrainte hydrique

Le principe du calcul du bilan hydrique a été utilisé dans une forme simplifiée, permettant d'évaluer mensuellement la contrainte en eau, dans la limite de la réserve utile maximale des sols, disponible en tout point de la zone étudiée (RUM[b][2]) Chaque mois, les apports sont matérialisés par les précipitations estimées à la surface de la canopée qui s'ajoutent au stock d'eau présent à la fin du mois précédent. Les départs sont matérialisés par l'évapotranspiration potentielle (ETP), qui est conditionnée par les températures et le rayonnement solaire. Lorsque les départs sont supérieurs aux apports, la réserve utile (RU [c]) diminue.

Lorsque la quantité d'eau disponible dans le sol n'est plus en quantité suffisante pour satisfaire l'ETP, on parle alors d'évapotranspiration réelle (ETR), dont la valeur est inférieure à celle de l'ETP. Les quatre intrants nécessaires à ce calcul (pluie, température, rayonnement solaire et RUM des sols) existent sous forme de cartes numériques réalisées par le Lerfob. La carte des RUM (réserve utile maximale) a été construite à partir d'estimations de terrain concernant le premier mètre de sol. Elle se base sur plus de 100 000 placettes de l'IFN pour lesquelles la RUM a été évaluée selon les classes de pédotransfert d'Al Majou [(d)], donnant lieu à une cartographie par cellules de 500 m de côté qui prend en compte la variabilité des grandes unités géologiques et de la topographie [(3)].

Pour les données climatiques, nous avons utilisé des cartes produites par le Lerfob indiquant des valeurs moyennes mensuelles pour la période 1961-1990, par pixels de 50 m de côté pour le rayonnement solaire et la température et par pixel de 1 km de côté pour les précipitations. Le calcul du bilan en eau permet de produire différents indices pour chaque mois de l'année, comme la réserve utile (RU), qui représente l'eau disponible pour les plantes, ou le déficit d'évaporation (DE), qui permet de caractériser la demande évaporative non satisfaite par l'eau disponible (différence entre l'ETP et l'ETR).

Dans le cadre du projet, nous avons choisi d'utiliser le déficit d'évaporation estival pour caractériser la contrainte hydrique des sols, cet indice permettant une bonne discrimination des aires de distribution des principales essences françaises [(4)]. La carte réalisée couvre la zone des plateaux calcaires du Nord-est de la France, par pixels de 50 m de côté.

Figure 1 : principe du bilan en eau des sols simplifié utilisé pour calculer les cartes mensuelles de contrainte hydrique

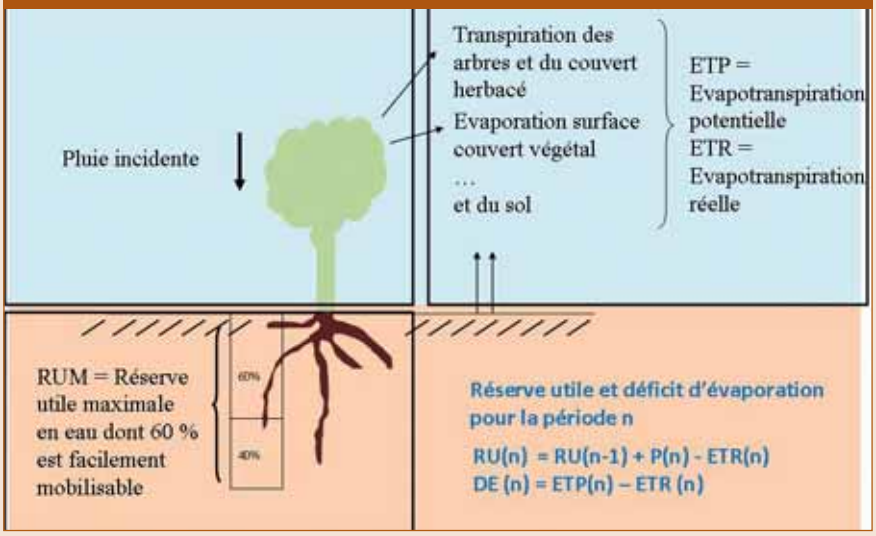


Figure 2 : cartographie du déficit d'évaporation estival (cumul de juin, juillet et août) sur la zone des plateaux calcaires de Lorraine, Bourgogne et Champagne-Ardenne et zoom au 1/50 000e sur un vallon au sud-est de Troyes. Une valeur de déficit d'évaporation élevée (couleur rouge) indique une plus forte contrainte hydrique.

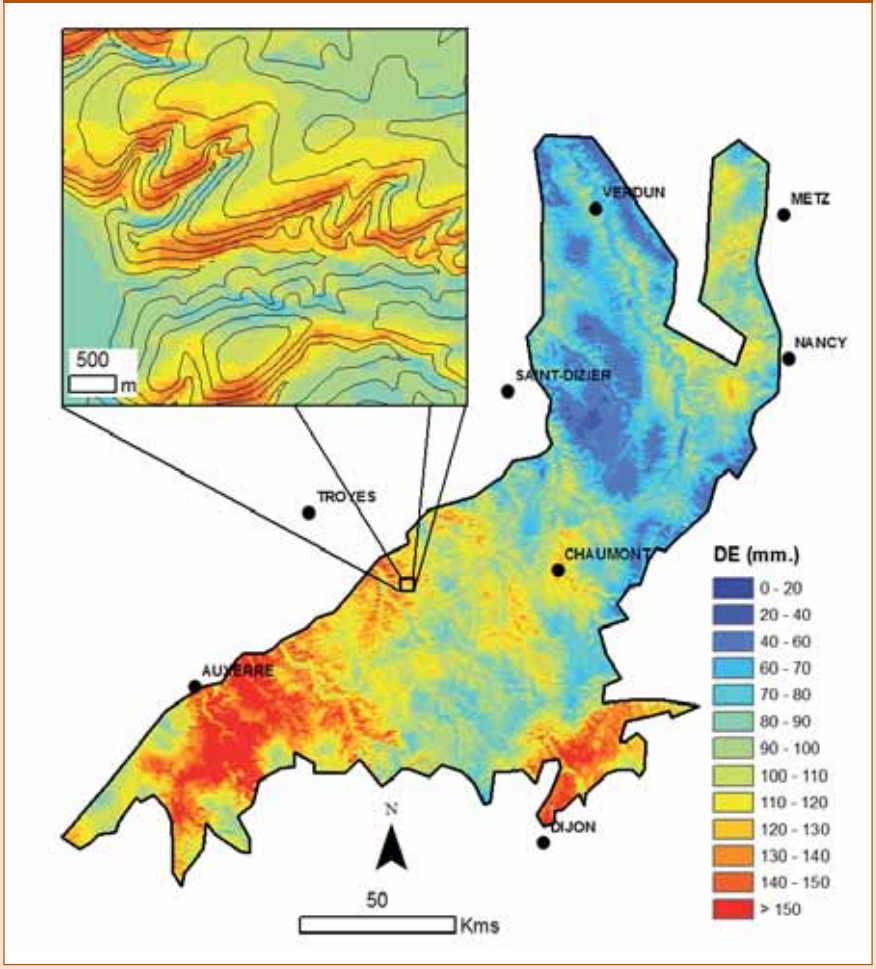
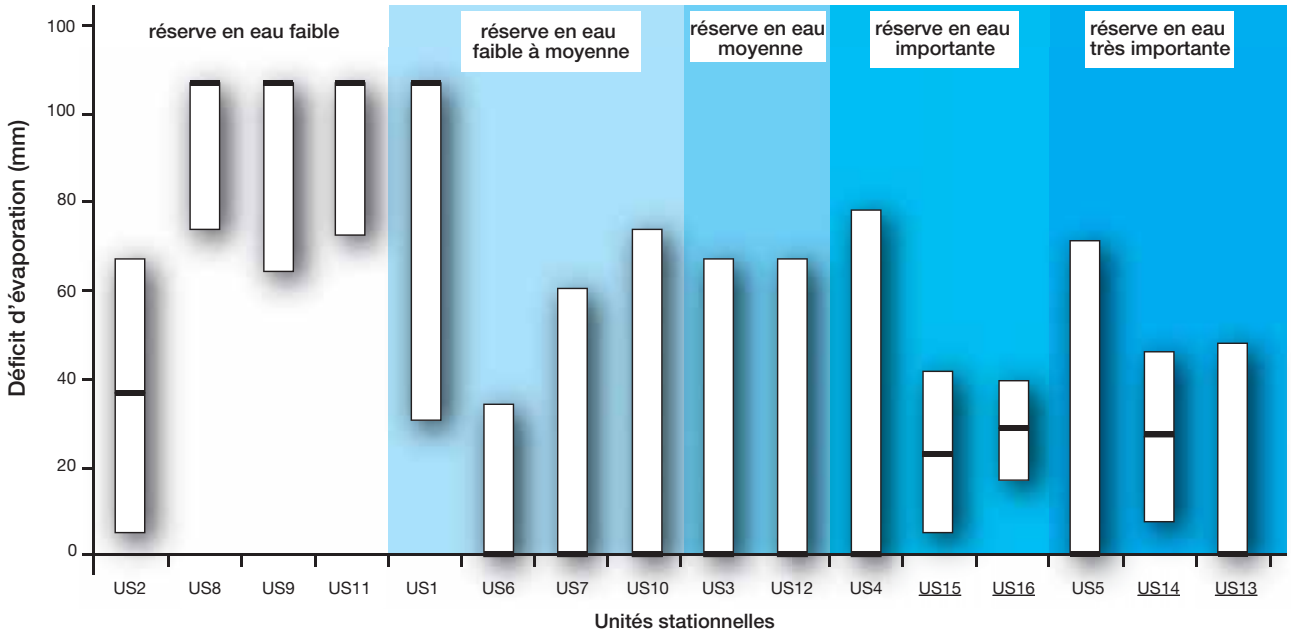


Figure 3 : réserve en eau pour les plantes estimée pour chaque unité stationnelle (US) selon les indications fournies dans le guide pour le choix des essences des Plateaux calcaires de Champagne-Ardenne, du nord et de l'est de la Bourgogne et extraites de la carte des déficits d'évaporation estivale (une valeur élevée correspond à un stress hydrique plus élevé).
La barre blanche correspond à la gamme des déficits d'évaporation majoritairement rencontrée au sein d'une unité stationnelle.
Le trait noir correspond aux valeurs de déficit d'évaporation les plus fréquemment rencontrées pour chaque unité stationnelle.



Caractéristiques de la carte produite

La carte réalisée met en évidence aussi bien des variations à large échelle dues aux changements de RUM des sols ou du climat, que des variations locales induites par la topographie. Par exemple, on observe des différences entre les versants nord ou les zones confinées plus humides, et les versants sud plus secs, d'autant plus que la pente est forte. La cohérence des données produites a été vérifiée par comparaison avec des estimations réalisées à l'aide de relevés de terrain, montrant la pertinence de la carte pour une gamme d'échelle allant de l'ensemble de la zone d'étude jusqu'à quelques parcelles forestières [4, 5]. La principale difficulté rencontrée lors de son élaboration provient de la difficulté à quantifier la RUM des sols sur le terrain. La répétition de cinq estimations de RUM dans un rayon de 25 m a montré une variabilité importante, avec des valeurs de RUM pouvant varier du simple au double [4]. Ces différences s'expliquent par les imprécisions liées aux données relevées sur le terrain et aux méthodes utilisées pour le calcul de la RUM, et surtout par une forte variabilité locale dans un contexte de plateaux calcaires.

Comparativement à une estimation ponctuelle, la carte restitue une tendance moyenne permettant de lisser les valeurs prédites, ce qui permet de minimiser l'effet d'erreurs d'observation ou de relevés non représentatifs de la zone inventoriée. Par contre, du fait de ce lissage, la carte ne permet pas de restituer finement les effets liés aux changements brusques de nature du sol ou la présence de très petites unités. Des travaux menés en parallèle ont cependant montré qu'il était possible d'améliorer la qualité des estimations des RUM aux échelles les plus locales, en prenant en compte les informations des cartes géologiques numériques du BRGM[e] au 1/50 000e pour affiner les prédictions[5]. Il existe donc un potentiel d'amélioration non négligeable de la prise en compte de la variabilité locale des RUM par rapport à la carte qui est présentée ici. Malgré la difficulté d'évaluation de la capacité de stockage du sol, **il a également été démontré que les cartes de bilan hydrique des sols ainsi produites étaient plus efficaces pour discriminer la distribution des essences comparativement aux cartes de pluies ou de bilans hydriques climatiques calculées par différence entre la pluie et l'ETP et traditionnellement utilisées** [6].

Mise en relation de la carte avec le guide pour le choix des essences

La comparaison de la contrainte hydrique déterminée pour chaque unité stationnelle (US) selon les indications

© B. Jabiol, AgroParisTech

Évaluation sur le terrain de la réserve en eau maximale disponible pour les arbres afin de valider les modèles réalisés.

du guide pour le choix des essences locales, avec celle indiquée par la carte, montre globalement une **faible concordance entre les deux approches**. Pour une même unité stationnelle, on observe que la gamme des déficits d'évaporation prédite par la carte peut être conséquente. Cela s'explique principalement par la combinaison des variables de rayonnement solaire, de température, de précipitation et de RUM qui permet d'identifier une forte hétérogénéité spatiale des déficits d'évaporation, qui n'est pas bien restituée par la carte des stations. Plus l'emprise géographique concernée est importante, plus les différences sont fortes, les documents de gestion donnant des estimations de réserve en eau uniques au sein de chaque unité stationnelle et supposant le climat relativement homogène à l'échelle de la région naturelle. Par exemple, une faible réserve en eau est attribuée aux situations de plateau avec un sol caillouteux, alors qu'on observe des variations relativement importantes de la pluviométrie estivale sur de faibles distances, qui permettent de fortement limiter le déficit en certains endroits.

Utilisation et limites de la carte produite

La réserve en eau n'est en général pas explicitement évaluée lors de la cartographie des stations sur le terrain, elle est le plus souvent estimée indirectement à travers des indices topographiques (pente, exposition, position topographique), la flore indicatrice ou des informations faciles à relever concernant le substrat (texture, charge en cailloux, ...).

La carte des déficits d'évaporation permet de fournir une information synthétique intégrant les effets du climat et du sol en tout point de la zone étudiée et à moindre coût. Elle peut être utilisée à l'échelle d'un ou de plusieurs catalogues ou guides des stations pour affiner la détermination des unités stationnelles ou redécouper celles existantes selon des critères hydriques plus fins. En lien avec les exigences écologiques des espèces, elle peut également servir à affiner les recommandations des essences en fonction de leur capacité à résister aux sécheresses. L'utilisation d'une approche quantitative permet d'évaluer la contrainte hydrique de façon similaire quelle que soit la zone étudiée, et ainsi de pouvoir effectuer des comparaisons entre différents secteurs, pouvant appartenir à des régions naturelles éloignées.

Il est ainsi possible d'évaluer les seuils de contrainte hydrique supportés par les essences en examinant leur comportement dans les régions plus méridionales.

La carte produite peut également être couplée avec les scénarios de changement climatique produits par le GIEC afin d'estimer l'évolution de la contrainte hydrique à diverses échéances de temps. **Elle constitue ainsi un moyen de quantifier l'impact potentiel des changements prévus de températures et de précipitations sur la ressource en eau disponible selon la zone étudiée**.

La carte produite comporte aussi un certain nombre de limites qui doivent être considérées lors de son utilisation. Tout d'abord, les données utilisées sont issues de modèles mathématiques qui restituent dans l'ensemble correctement la distribution spatiale des phénomènes observés à l'échelle globale, mais qui peuvent présenter localement des imprécisions ou des erreurs.

D'autre part, la RUM des sols est probablement sous estimée sur l'ensemble du site d'étude. Les racines profondes des arbres peuvent descendre à une profondeur plus importante que celle prise en compte pour son estimation (1 m maximum), et ce particulièrement dans un contexte de plateaux calcaires fortement fragmenté. Or, l'effet des racines profondes est reconnu pour son importance lors d'épisodes de stress hydriques marqués. De plus, la carte des déficits d'évaporation ne prend pas en compte les apports latéraux en eau dus à la topographie ou aux nappes. La disponibilité en eau est ainsi probablement particulièrement sous estimée en zone de bas de versant et à proximité des cours d'eau ou des nappes phréatiques proches de la surface. Des travaux complémentaires sont envisagés afin de permettre la prise en compte d'une part de ces effets. Enfin, elle n'est pas valide dans certaines zones particulières que sont les éboulis, les tourbières et les zones humides, dont les spécificités ne peuvent être restituées par les modèles.

Conclusions

Le développement des cartes numériques touchant aux propriétés des sols permet de mettre à disposition des

gestionnaires un nouvel outil, pour affiner le choix des espèces et contribuer à l'adaptation des forêts vis-à-vis des effets du changement climatique. La carte produite lors de cette étude sera mise à disposition sur le site web de l'équipe écologie forestière du Lerfob (https://www2.nancy.inra.fr/unites/lerfob/ecologie-forestiere/).

La méthode de cartographie mise en œuvre peut être facilement appliquée à différentes régions naturelles situées en France. Elle présente l'avantage de fournir une information en tout point de l'espace, y compris dans les zones où il n'existe pas de catalogues ou de cartographies de terrain. Les modèles utilisés peuvent présenter localement des imprécisions, particulièrement pour ce qui concerne la RUM des sols lorsqu'il y a d'importantes variations locales de substrats. Pour un usage opérationnel, il est donc conseillé de vérifier la pertinence de la carte au regard des connaissances de terrain, et de réaliser quelques sondages ciblés afin de valider localement la variabilité prédite. En cas d'erreurs constatées, des mesures de terrain sur la zone incriminée peuvent permettre de corriger les problèmes liés à la prise en compte du sol. Les descriptions existantes qui peuvent refléter des conditions locales particulières à travers l'usage de la flore indicatrice par exemple, peuvent également être utilisées pour corriger ou affiner localement la carte des déficits d'évaporation. L'amélioration, la diffusion et l'utilisation de ces données doivent être favorisées par une collaboration entre organismes de recherche et gestionnaires forestiers, telle que celle qui a été initiée lors de ce projet financé par le réseau Aforce et le GIP Écofor. ■

Christian Piedallu, Jean-Baptiste Richard, AgroParisTech-Engref Nancy.
Sylvain Gaudin, CRPF de Champagne Ardenne.
Myriam Legay, ONF pôle recherche et développement de Nancy.

a) Laboratoire d'Étude de la Ressource Forêt-Bois

b) La réserve utile maximale ou RUM représente la quantité maximale d'eau disponible pour les plantes qu'un sol peut contenir.

c) La RU représente la quantité d'eau réellement disponible pour les plantes, elle est égale à la RUM lorsque les pluies ont permis de reconstituer la réserve, et tend vers 0 pendant les périodes de sécheresse.

d) Les classes de pédotransfert permettent de convertir les classes de texture relevées sur le terrain en teneur en eau pour un volume de sol donné. Les classes développées par Al Majou, plus efficaces que celles de Jamagne qui sont plus connues des forestiers, ont été utilisées pour ce travail dont la méthodologie a été décrite dans un article scientifique publié dans une revue internationale (3).

e) Le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) est l'établissement public de référence dans les applications des sciences de la terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol.

Résumé

L'eau disponible pour les plantes est évaluée dans les guides ou catalogues de stations à l'aide de données topographiques, de la flore indicatrice, ou de paramètres du sol faciles à relever. Cette méthode ne permet pas de rendre compte de la variabilité du climat et des effets des changements en cours. Une nouvelle approche est basée sur la réalisation de cartes numériques de la contrainte hydrique permettant d'évaluer en tout point de l'espace la ressource disponible pour les plantes, dans un contexte climatique actuel ou selon différentes hypothèses de réchauffement climatique.

Mots-clés : cartographie, bilan en eau des sols, catalogues de stations.

Bibliographie

■ **(1) Milard, L., 2004**. *Les Plateaux calcaires de Champagne-Ardenne et du nord et de l'est de la Bourgogne*. Guide pour l'identification des stations et le choix des essences. CFPPA de Crocgny, 76 p.

■ **(2) Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1955**. *The water balance. Laboratory of Climatology, Publication in Climatology*. n°8.

■ **(3) Piedallu, C., Gégout, J.C., Bruand, A., Seynave, I., 2011**. *Mapping soil water holding capacity over large areas to predict potential production of forest stands*. Geoderma 160, pp. 355-366.

■ **(4) Richard, J., 2011**. *Caractérisation de la contrainte hydrique des sols à l'aide de cartes numériques pour prendre en compte les effets potentiels du changement climatique dans les catalogues de stations forestières - Applications aux plateaux calcaires de Lorraine et de Bourgogne* - Rapport de stage FIF 3e année, Agroparistech-Engref, Nancy, France, p. 135.

■ **(5) Villiers, T., 2011**. *Cartographie prédictive à haute résolution spatiale de la réserve utile maximale du sol dans le Nord-Est de la France*. Rapport de stage FIF 3e année, Agroparistech-Engref, Nancy, France, p. 69.

■ **(6) Piedallu, C., 2012**. *Spatialisation du bilan hydrique des sols pour caractériser la distribution et la croissance des espèces forestières dans un contexte de changement climatique*. Thèse, spécialité sciences forestières et du bois. AgroParisTech, Nancy, France, p. 281.

Quelles ressources génétiques pour le sapin face aux changements climatiques ?

© H. Davi, INRA

Hendrik Davi, chargé de recherches à l'Inra d'Avignon

Les dépérissements du sapin pectiné dans son aire méridionale préfigurent peut-être un risque accru pour cette espèce sur le reste du territoire dans le cadre des changements climatiques. Ce projet, financé par le réseau Aforce issu d'une collaboration entre l'Inra, l'IDF et l'ONF, étudie les potentialités d'adaptation aux changements climatiques à partir des ressources génétiques existantes au sein du genre Abies.

Le sapin, une essence menacée

Les changements climatiques prévus par les modèles climatiques seront considérables et se font déjà sentir. Dans ce contexte, les forêts risquent d'être fortement impactées en ce qui concerne la production, l'état sanitaire ou la régénération. Les simulations sur le long terme semblent indiquer que les changements climatiques induiront, dans un premier temps, une augmentation de la productivité des forêts françaises, notamment à cause de la fertilisation par le CO_2. Cependant, il est probable que la tendance s'inverse ensuite si la fréquence et l'intensité des canicules et des sécheresses s'accentuent. D'ailleurs, une augmentation des taux de mortalité et des signalements de dépérissement sont constatés ces dernières années (Vilalta et *al.*, 2011).

Or le sapin pectiné est une essence très sensible à la sécheresse atmosphérique et édaphique. Face à une sécheresse même modérée, il cesse rapidement sa croissance (Cailleret, 2011) et régule très fortement sa transpiration (Nourtier, 2011). Après une sécheresse prolongée, il perd des aiguilles et son état sanitaire global peut se détériorer. Si les mauvaises années se succèdent, une spirale infernale incluant une plus grande vulnérabilité aux insectes sous corticaux (Gillmann, 2010) peut conduire à la mort de l'arbre, plusieurs années après l'événement déclenchant le processus de dépérissement.

Les simulations d'évolution des aires potentielles sont par ailleurs très inquiétantes pour le sapin. Des baisses de productivité sont déjà observées en Méditerranée où la succession des sécheresses a impacté sa croissance (Cailleret, 2011). Cette vulnérabilité du sapin en limite d'aire de répartition, là où les sécheresses sont les plus intenses, a déjà eu des conséquences sur l'état sanitaire et la mortalité, comme l'a montré le projet Dryade (ANR- 487 06-VULN-004). Des dépérissements ont en effet été observés notamment depuis 2003 dans les sapinières françaises de l'arrière pays méditerranéen ou en Espagne. De tels épisodes de dépérissement avaient déjà été enregistrés suite à la sécheresse prononcée de 1976 (Lévy et Becker, 1987). Ces dépérissements du sapin dans son aire méridionale posent dès aujourd'hui des questions pour la gestion forestière de ces zones, mais aussi dans l'avenir sur la place de cette essence dans le reste de la France, le climat méditerranéen d'aujourd'hui pouvant préfigurer le climat de demain dans des zones beaucoup plus septentrionales de France.

Les différentes solutions

Les résultats du projet Dryade indiquent d'abord que la vulnérabilité aux changements climatiques dépend fortement du climat local mais aussi des conditions édaphiques et de la croissance passée. Si les peuplements de basse altitude sont les premiers touchés car ils sont soumis aux stress les plus longs et les plus intenses, nous avons aussi montré par analyse de sensibilité d'un modèle, simulant explicitement la réponse physiologique des arbres aux conditions environnementales (CASTANEA), que la probabilité de mortalité dépendait de la réserve utile des sols et de la biomasse du peuplement. Nous avons aussi observé sur certains sites, que les arbres morts sont en moyenne, paradoxalement, ceux qui ont eu la meilleure croissance juvénile. Enfin, il faut prendre sérieusement en compte l'impact des insectes sous corticaux (scolytes) dont le rôle semble prépondérant dans la transition entre un état sanitaire défavorable et la mort (Gillmann 2010). En termes de gestion cela implique à court terme, qu'il est possible de maintenir le sapin dans certaines zones, dans lesquelles les sols ou le microclimat sont favorables, moyennant des conduites sylvicoles appropriées :
- diminution de la compétition,
- conduite en peuplement mélangé ou
- exploitation des arbres morts pour éviter l'explosion de populations de scolytes. Mais la complexité des mécanismes conduisant à la mortalité des peuplements (Vilalta et *al.*, 2011) recommande la prudence et la recherche d'une adaptation de la gestion sylvicole au cas par cas.

© H. Davi, INRA

Cependant, à long terme, les caractéristiques écophysiologiques du sapin pectiné le rendent très vulnérable aux sécheresses et aux fortes températures attendues sur tout le territoire. Il est donc aussi nécessaire de réfléchir à l'évolution de nos sapinières vers des forêts plus adaptées aux nouvelles conditions climatiques. Dans cette perspective, trois voies s'offrent à nous :
- favoriser l'adaptation génétique des ressources locales de sapin pectiné, utiliser des provenances moins vulnérables à la sécheresse,
- utiliser d'autres espèces du même genre comme les sapins méditerranéens notoirement plus résistants (Aussenac et *al.*, 2002),
- trouver des essences de remplacement en dehors du genre *Abies*.

L'objectif du projet financé par le réseau Aforce, à l'issue de son appel à projets 2010, était d'avancer sur les voies deux et trois, qui correspondent toutes deux à des méthodes qui s'apparentent à de la migration assistée.

Quels dispositifs pour évaluer ces ressources génétiques ?

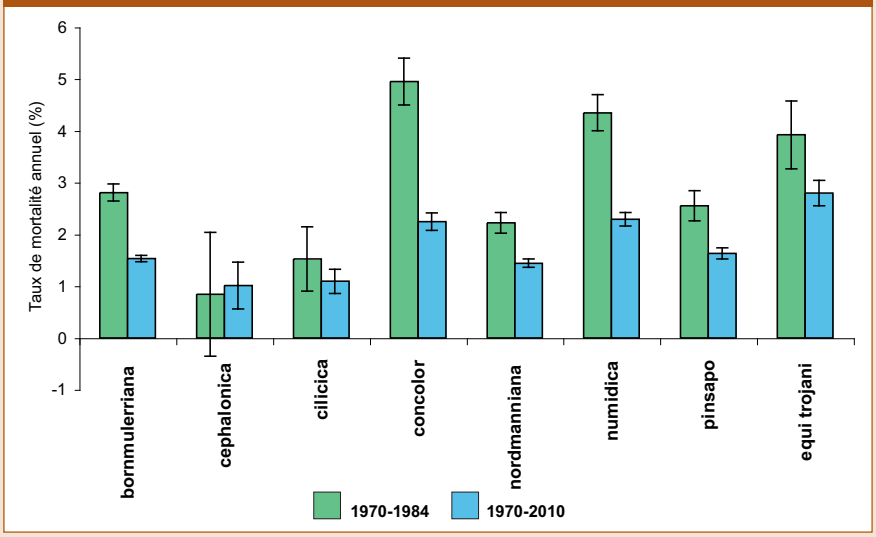
Nous disposons pour répondre à cette question des plantations de l'Inra et de l'ONF comparant différentes ressources génétiques (espèces, provenances et descendances) du sapin.

À l'Inra, ces plantations comparatives ont été mises en place à la fin des années 1960, avec pour objectif d'apprécier la variabilité et la base génétique de certaines caractéristiques des principales essences forestières d'intérêt, en vue de sélectionner des variétés pour le reboisement. Mais nous sommes confrontés à un certain nombre de difficultés quant à la réutilisation de ces dispositifs. Tout d'abord, la fréquence des mesures qui y ont été prises et leur gestion varient, et la traçabilité précise de l'origine des provenances manque souvent. De plus, ils ont été pensés pour améliorer la production forestière en quantité et en qualité. Or nos résultats récents sur le dépérissement montrent qu'il n'y a pas toujours un lien évident entre production et résistance à la sécheresse. Enfin, le matériel végétal a souvent été sélectionné dans les parties les plus fertiles et productives des aires de répartition, et les zones marginales, présentant des adaptations locales singulières, mais une vigueur moindre, ne sont souvent pas représentées dans les réseaux expérimentaux. Utiliser des dispositifs pour répondre à une question différente de celle qui a prévalu à leur mise en place n'est donc pas évident.

Objectifs et méthodologie du projet

Notre intention est d'utiliser le sapin comme cas d'étude permettant d'affiner une méthodologie générique de recherche de ressources génétiques adaptées au changement climatique. La première étape de notre travail a consisté à faire un bilan des dispositifs existants avec une caractérisation des sites de plantation, une liste des ressources génétiques testées et des mesures effectuées. La seconde étape était de réaliser des inventaires en 2010 de dispositifs mesurés dans la fin des années 90. Notre objectif était de voir si un signal de surmortalité, due à la succession de sécheresses était visible et s'il variait significativement selon les provenances testées. Enfin une dernière étape a été, sur un sous échantillon de dispositifs et de ressources génétiques (espèces et provenances), de réaliser des mesures complémentaires de largeur de cernes et de hauteur pour rechercher des indicateurs fiables de la vulnérabilité aux changements climatiques. D'autres mesures comme l'état sanitaire ou la production de cônes, caractère essentiel pour la régénération, avaient été envisagées. Mais *in fine* elles n'ont pas été possibles ou jugées pertinentes.

Figure 1: taux de mortalité annuel (%) sur le site du Treps pour différentes espèces du genre *Abies* : *bormuelleriana, cephalonica, cilicica, concolor, nordmaniana, numidica, pinsapo, equi trojani.*



Résultats préliminaires

Nous avons synthétisé l'ensemble des dispositifs sapin existants dans un tableau comportant trois parties (dispositif, unité génétique, liste de mesures) en se basant sur les travaux déjà réalisés dans le cadre du réseau PlantaComp[(1)].

56 dispositifs de comparaison d'espèces et de provenances Inra et 36 dispositifs IDF ont été recensés, rassemblant pour les provenances 557 unités génétiques appartenant à une dizaine d'espèces. Un total de 33 % de ces dispositifs sont toujours en place alors que 18 % ne le sont plus et nous ne disposons pas d'information pour près de 48 % d'entre eux. 42 % des unités génétiques correspondent à *Abies alba* (près de la moitié originaire de France) et 52 % à 10 autres espèces de sapin, essentiellement *nordmanniana* (15 %), *cephalonica* (11 %) et *bornmulleriana* (11 %). Le principal problème que nous avons mis en lumière lors de ce travail est la difficulté de récupérer des données précises quant à l'origine exacte des provenances.

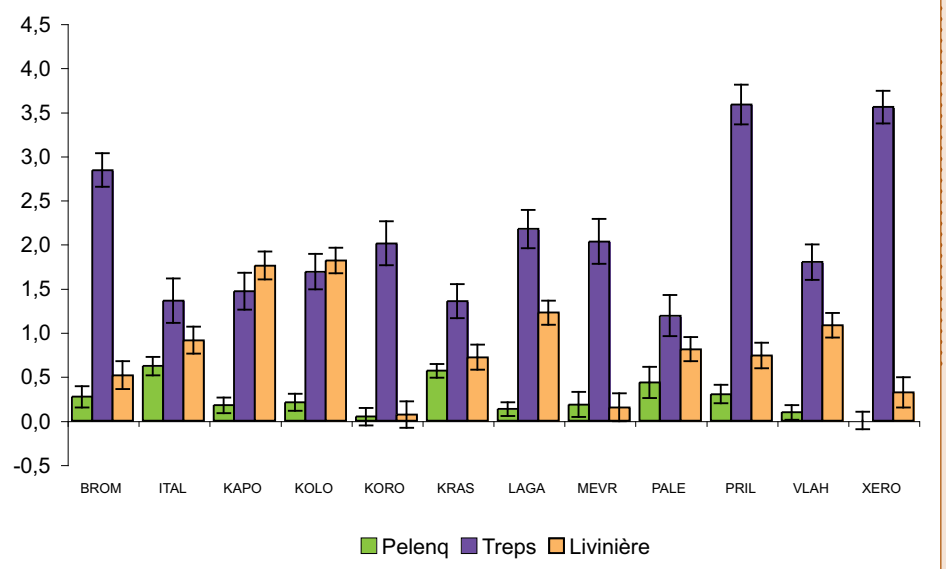
Nous avons effectué des remesures d'inventaire sur 6 dispositifs du sud-est de la France : trois dispositifs de comparaisons de provenances d'*Abies cephalonica*, un dispositif de comparaison des différentes espèces du genre *Abies*, deux dispositifs de comparaison de provenances d'*Abies alba* dont l'un pour des provenances européennes et l'autre pour des provenances françaises.

L'analyse du dispositif de comparaison d'espèces montre que les taux de mortalité due à la compétition au jeune âge (entre 1970 et 1984 [2]) étaient plus forts (2,9 % par an) que le taux récent entre 1984 et 2010 (0,74 % par an). Cela illustre la difficulté de trouver un signal concernant la mortalité récente quand les inventaires sont trop espacés. Par contre, les différentes espèces présentent des taux de mortalité très contrastés (*Figure 1, p. 38*), *Abies Cephalonica* étant l'essence qui présente le moins de mortalité.

La comparaison de trois dispositifs d'*Abies cephalonica* a permis de mettre en lumière le fort effet dispositif : les taux de mortalité annuelles étant depuis 1991 de 2,1 %, 0,25 % et 0,84 % respectivement au Treps, à Pelenq et à La Livinière (*Figure 2*). Le classement exact des provenances selon leur vulnérabilité change entre les sites.

Concernant les comparaisons de provenance d'*Abies alba*, de fortes variations de mortalité ont aussi été trouvées, par exemple sur le site de Sagnassols (*Figure 3, p. 40*), et le taux de mortalité a augmenté fortement depuis 1995. Mais comme une forte coupe est intervenue en 1997, l'analyse des causes de la mortalité doit incorporer les effets de compétition. De plus, une analyse spatiale révèle que ce dispositif présente un gradient croissant de fertilité d'Ouest en Est. Nous avons aussi montré un effet négatif de la circonférence sur la probabilité de mortalité. Mais cet effet taille de l'arbre est due à la compétition car il disparaît quand un indice de compétition est aussi pris en compte dans le modèle de régression. Néanmoins, une fois corrigé des effets compétition et fertilité locale, il existe encore un effet provenance significatif. Cet exemple montre donc qu'il est possible d'utiliser les inventaires pour inférer un classement de vulnérabilité entre provenances. Mais les effets spatiaux et l'impact de la compétition doivent impérativement être pris en compte.

Figure 2: taux de mortalité annuelle (entre 1991 et 2010) pour différentes provenances d'*Abies cephalonica* aux sites du Treps, de Pelenq et de la Livinière



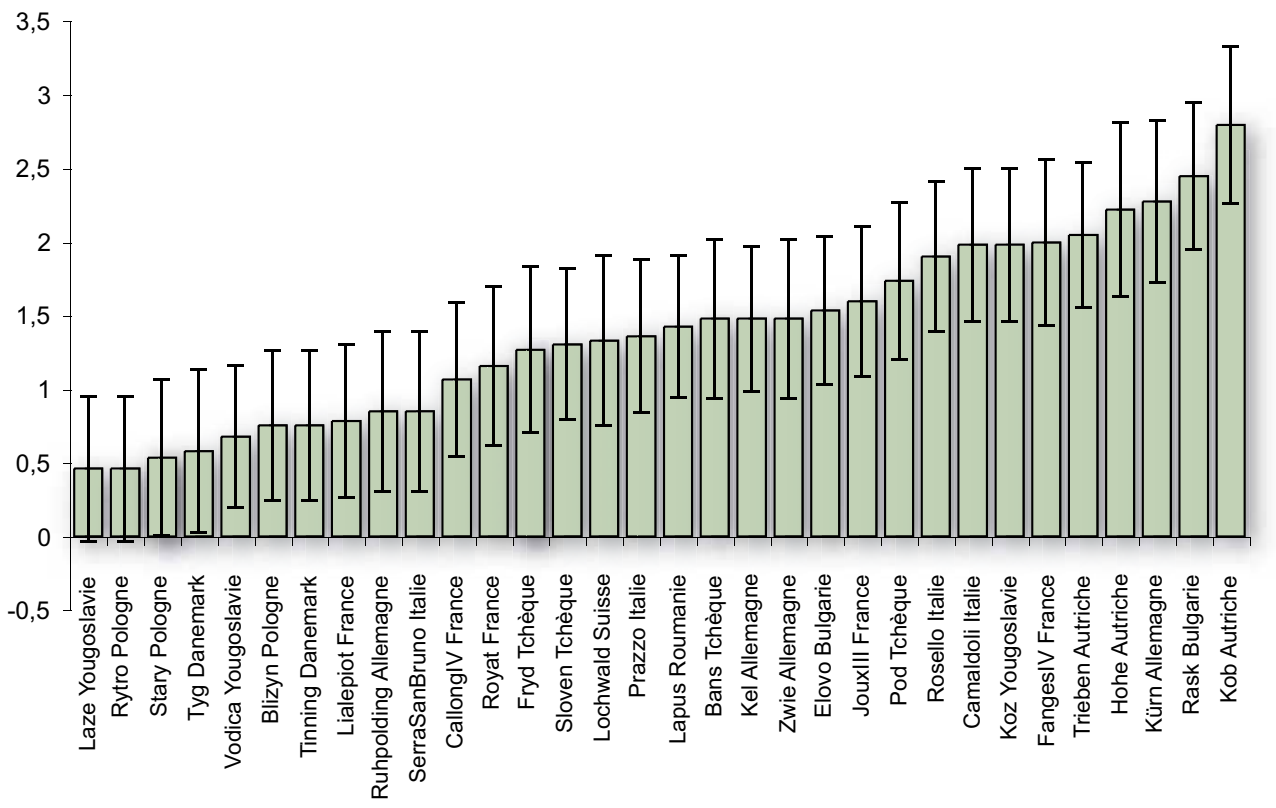
À Sagnassols, les dynamiques de croissance passée estimées à partir des largeurs de cernes sont très proches entre provenances. Néanmoins, nous avons montré que certaines provenances étaient plus résistantes à la sécheresse (moindre diminution des largeurs de cernes en 2004), et que d'autres présentent globalement une sensibilité au climat plus faible. Lorsque l'on compare la mortalité des différentes provenances et ces indicateurs dendrométriques, on trouve que plus la largeur moyenne des cernes est forte, plus la probabilité de mortalité est faible.

Quels outils pour la gestion ?

Au terme de ce projet, nous aurons trois types de résultats transférables aux gestionnaires et agents de développement. D'abord, sur la base des études faites sur les 6 sites, nous pourrons donner un classement de vulnérabilité des différentes provenances à la sécheresse. Néanmoins, ces résultats seront à prendre avec précaution, sachant qu'il faudra les confirmer par des mesures sur d'autres sites expérimentaux où ces mêmes provenances sont aussi testées et par le renouvellement de ces mesures dans le temps. Les résultats sur le sapin de Céphalonie nous incitent d'ailleurs à la prudence. Selon le climat du site de plantation, la vulnérabilité de certaines provenances peut changer. Ensuite, nous essaierons de fournir une liste d'indicateurs basés sur les mesures de cernes qui permettraient de connaître à moindre coût la vulnérabilité des peuplements.

Enfin, la ré-analyse des dispositifs devrait conduire à émettre des recommandations sur la mise en place de nouveaux dispositifs de comparaison de provenances qui prennent mieux en compte la variabilité stationnelle, les effets de compétition, et qui prévoient une meilleure traçabilité du matériel génétique. ■

Figure 3 : taux de mortalité annuel (1995-2010) de différentes provenances d'*Abies alba* sur le site de Sagnassols



Hendrik Davi, chargé de recherches à l'Inra d'Avignon
Denis Vauthier, technicien
Nicolas Mariotte, technicien
Céline Emberger, stagiaire
Maxime Cailleret, docteur
Christian Pichot, chargé de recherches
Bruno Fady, directeur de recherches.

1) http://www.orleans.inra.fr/les_unites/ue_gbfor/action_plantacomp.

2) 1984 est la date du dernier inventaire avant 2010 sur ce site.

Résumé

Les caractéristiques écophysiologiques du sapin pectiné le rendent vulnérable aux sécheresses et aux fortes températures attendues par le changement climatique. L'objet de ce projet est d'examiner les ressources génétiques disponibles pour adapter nos forêts aux changements climatiques. Les plantations comparatives du genre *Abies* sont recensées et analysées. De nouveaux indicateurs évaluent leur vulnérabilité aux sécheresses. L'étude complète des ressources génétiques aboutira au classement de vulnérabilité des différentes provenances et espèces. Au sein du groupe des sapins euro-méditerranéens, le sapin de Céphalonie présente la meilleure survie au cours de la période étudiée. En plus des inventaires réguliers, les mesures de largeur de cernes semblent être un indicateur intéressant pour analyser la vulnérabilité des peuplements.

Mots-clés : sapin pectiné, dépérissements, ressources génétiques, changement climatique.

Bibliographie

Aussenac, G., 2002. *Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate change.* Annals of Forest Science, 59(8), 823-832.

Cailleret M., 2011. *Causes fonctionnelles du dépérissement et de la mortalité du sapin pectiné en Provence.* Thèse de Doctorat de l'Université Paul Cézanne. Ecole Doctorale Sciences de l'environnement.

Nourtier M., 2011. *La vulnérabilité du sapin pectiné (*Abies alba Mill.*) à la sécheresse selon les propriétés hydriques du sol en milieu méditerranéen.* Université d'Avignon Pays du Vaucluse. Ecole Doctorale Sibaghe. 258 p.

Gillmann M., 2010. *Influence et rôle de deux facteurs biotiques (*Viscum album *L. et* Scolytidae*) impliqués dans le processus de dépérissement et de mortalité du Sapin pectiné (*Abies alba Mill.*).* Master 2 Écologie Fonctionnelle, comportementale et évolutive. Université de Rennes 1.

Levy G, Becker M., 1987. *Le dépérissement du sapin dans les Vosges : rôle primordial de déficits d'alimentation en eau.* Ann Sci For, 44, 403-416.

Vilalta, J.M., Lloret, F., Breshears, D., 2011. *Drought-induced forest decline: causes, scope and implications. Biol. Lett.* published online 14 December 2011 doi: 10.1098/rsbl.2011.1059.

Le cèdre en France face au changement climatique : un projet pour un bilan et un transfert des connaissances

F. Courbet, M. Lagacherie, P. Marty, J. Ladier, C. Ripert, L. Amandier, E. Paillassa, J. Guillemot

Quelles sont les connaissances actuelles sur les capacités du cèdre à résister au changement climatique ? Peut-on installer le cèdre sans risque hors région méditerranéenne et quelle sylviculture lui appliquer ? Une plaquette de recommandations synthétisera les connaissances et les retours d'expériences.

Le changement climatique modifiera radicalement les conditions de croissance des arbres forestiers. Les épisodes de sécheresse tels que celui lié à la canicule de 2003 risquent fort de se multiplier. Or, celle-ci a révélé la sensibilité d'un certain nombre d'espèces résineuses importantes comme le sapin pectiné, l'épicéa commun ou même le pin sylvestre. Le cèdre est réputé tolérer un certain niveau de sécheresse. Il est doté d'une bonne croissance, et peut donner des produits de qualité. Dans ce contexte, il est donc souvent cité comme candidat majeur à la substitution de ces espèces plus sensibles que lui. Cet engouement est-il justifié ? Que peut-on dire sur les capacités du cèdre à relever le défi du changement climatique ? Peut-on installer le cèdre sans risque en dehors de la région méditerranéenne où il a fait ses preuves ? Quelle stratégie adopter pour les futurs peuplements mais aussi pour les peuplements existants ?

Les modèles climatiques prédisent une évolution rapide et forte du climat en quelques décennies, soit la durée de vie d'un peuplement. Le cèdre est-il assez plastique pour supporter en fin de révolution des conditions très différentes de celles de son installation ? Après 2003, des dépérissements ont été constatés sur les cèdres des arboretums au nord de la Loire à Amance (54) et aux Barres (45) jusqu'alors considérés comme bien adaptés à leur milieu d'accueil. Dans son aire d'origine, le cèdre peut aussi être menacé. Ainsi, une sécheresse récente a causé des dépérissements importants dans les cédraies algériennes les plus méridionales des Aurès et du Maroc. Y a-t-il lieu de s'inquiéter pour les nombreux peuplements de la région méditerranéenne française qui risquent d'être eux aussi très exposés ? Quelle sylviculture leur appliquer ?

Objectifs du projet

Pour avancer sur ces questions, le projet « Installation et conduite des peuplements de cèdre face au changement climatique » a été soumis à l'appel d'offres 2010 du réseau Aforce et accepté. L'expérience des réussites et des échecs et l'analyse de leurs causes possibles sont des éléments précieux d'aide aux praticiens, qui doivent cependant être présentés sous une forme synthétique et accessible. Le projet doit rassembler les connaissances disponibles, destinées à aider les gestionnaires dans leur décision d'installer ou non du cèdre. Focalisé sur le cèdre de l'Atlas qui constitue la quasi

© INRA

Figure 1 : expérimentation sylvicole dans un peuplement de cèdre de 43 ans. Modalité : 400 tiges à l'hectare élaguées à 6 m. Le diamètre moyen est de 30 cm.

Figure 2 : localisation des 196 peuplements de cèdre de l'enquête

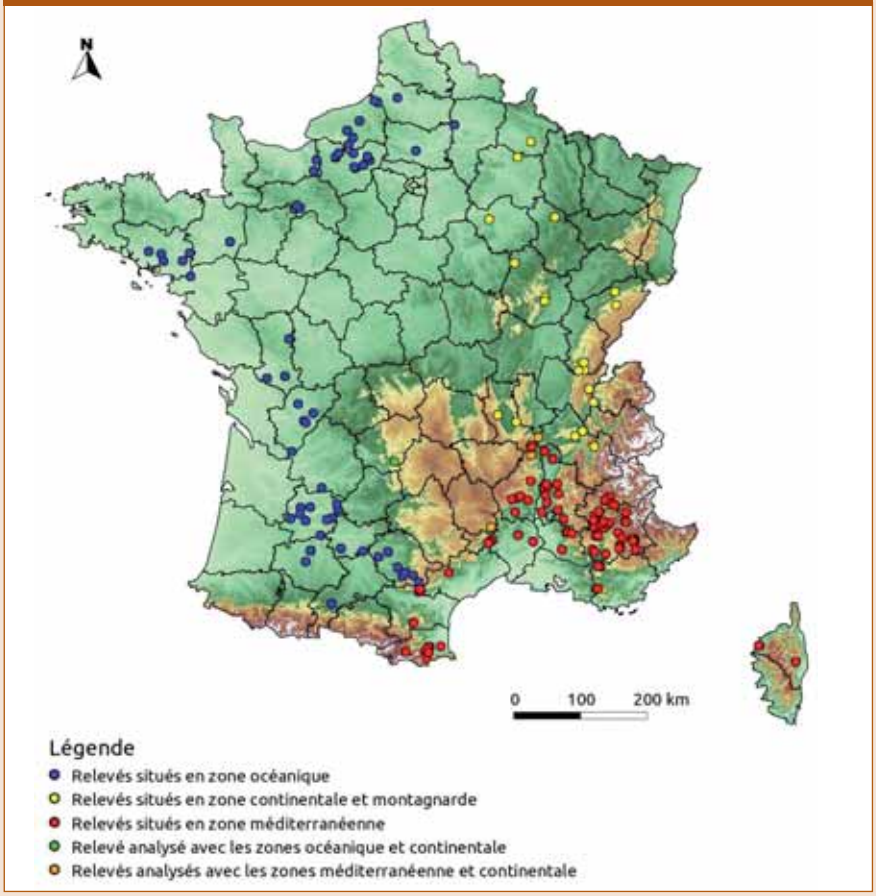


Fig. 3 : reboisement en cèdre sur le versant sud du Mont Ventoux, sur calcaire à silex.

totalité des cédraies françaises, il propose d'appliquer aux peuplements existants et à venir les itinéraires techniques les plus adaptés pour minimiser les risques.

Ce projet a été construit selon les trois principes du réseau Aforce :

1. Une association de partenaires forestiers issus de la recherche et du développement

Le projet initialement prévu pour 18 mois a été étendu sur 24 mois, jusqu'au 30 juin 2012. Il rassemble des acteurs de la recherche (Inra, IRSTEA ex. Cemagref) et du développement (plusieurs CRPF, ONF, CNPF-IDF) ayant une bonne connaissance du cèdre de l'Atlas, de son autécologie, des techniques de reboisement et de sylviculture dans les régions où il est le plus présent (Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon).

2. Un transfert de connaissances et de résultats de la recherche vers les praticiens

Le projet comprend deux volets :

- le volet « recherche » est centré sur la sylviculture, seul facteur sur lequel le praticien peut jouer pour rendre les peuplements déjà en place moins sensibles au risque climatique ;
- le volet « développement » rassemble et synthétise le plus largement possible les connaissances disponibles sur l'autécologie du cèdre en utilisant deux sources :

➔ la bibliographie sur les conditions d'existence du cèdre et les grands facteurs du milieu qui influencent sa productivité dans son aire d'origine et en France,

➔ des données sur les peuplements français existants, non publiées mais objectives, recueillies par une large enquête auprès des organismes de gestion et développement de la forêt publique et privée.

3. Le développement d'un outil opérationnel d'aide à la décision, synthétique et pratique, pour anticiper le changement climatique

S'appuyant sur les connaissances disponibles dans la bibliographie et sur les réponses à l'enquête, une plaquette regroupera les informations et les recommandations permettant d'éviter les erreurs et de minimiser les risques.

L'analyse de données issues de dispositifs expérimentaux de sylviculture

Pour déterminer dans quelle mesure la sensibilité du cèdre au climat dépend de la sylviculture, les données de deux dispositifs expérimentaux, comparant des itinéraires sylvicoles contrôlés et très contrastés, sont analysées (*Tableau 1, page 43*).

Tableau 1 : caractéristiques des deux dispositifs expérimentaux étudiés

Commune - Situation Altitude - Âge fin 2010	SAULT (84) - Ventoux versant sud 1 150 m - 46 ans				Valliguières (30) - Garrigues du Gard plateau 250 m - 43 ans			
Traitements	4 intensités d'éclaircie (4 placettes)				4 intensités d'éclaircie x 4 intensités d'élagages (16 placettes)			
Éclaircies	témoin	éclaircie faible	éclaircie moyenne	éclaircie forte	témoin	éclaircie faible	éclaircie moyenne	éclaircie forte
Densité de plantation	2700/ha	2700/ha	2700/ha	2700/ha	1200/ha	1200/ha	1200/ha	1200/ha
Densité après la 1re éclaircie	2700/ha	1800/ha	1200/ha	550/ha	1200/ha	800/ha	600/ha	400/ha
Densité après la 2e éclaircie	2700/ha	1200/ha	550/ha	250/ha	sans			
Élagages	sans				témoin	élagage faible	élagage moyen	élagage fort
1er élagage	sans				sans	400/ha à 2 m	tous à 2 m	tous à 2 m + 400/ha à 4 m
2e élagage	sans				sans	sans	400/ha à 4 m	400/ha à 6 m
Données disponibles	inventaire en plein annuel + suivi sanitaire pendant 20 ans				inventaire en plein + suivi sanitaire annuels pendant 10 ans puis tous les 4 ans			

Ces données récentes intègrent la canicule de 2003. Le premier dispositif, situé au mont Ventoux, bénéficie de données annuelles d'accroissement sur la période 1989-2010. On tentera de faire la part respective du climat, de la sylviculture et de leur interaction sur la croissance en surface terrière. Le second dispositif, moins arrosé, combine intensités d'éclaircie et d'élagage (*Figure 1*). Les cèdres y manifestent des symptômes alarmants et récurrents liés à la sécheresse (écoulements de résine) dont on analysera la fréquence en fonction de la sylviculture pratiquée. Les résultats seront interprétés en terme d'influence des facteurs sylvicoles sur le bilan hydrique des arbres et du peuplement. Ils déboucheront sur des préconisations de conduite des peuplements.

Une enquête pour rassembler l'information de terrain

L'introduction du cèdre s'est étendue depuis quelques décennies aux départements non méditerranéens. Des essais et des placettes de suivi et d'observation ont été installés par les organismes de recherche, de développement et de gestion afin de préciser l'intérêt de l'essence avec parfois des premières synthèses locales, notamment en Midi-Pyrénées, Dordogne, Lot-et-Garonne, et Bretagne (*voir références bibliographiques*). Une enquête nationale a permis de rassembler l'information disponible, utile pour les régions où les conditions d'adaptation du cèdre restent à préciser.

Compte tenu des moyens limités du projet, il n'a pas été possible de mobiliser un technicien pour retourner sur le terrain et effectuer les nouvelles observations qui auraient permis d'obtenir une meilleure vision globale et d'homogénéiser les relevés en s'affranchissant de l'effet « descripteur ». Les équipes techniques de l'Inra, de l'IRSTEA, de l'ONF, des CRPF et du CNPF-IDF ont été sollicitées pour compléter un questionnaire à partir des informations présentes dans leurs dossiers. Tout peuplement de taille significative (5 à 10 ares minimum), à cèdre majoritaire (> 50 % du couvert), présent dans l'étage dominant et d'âge supérieur à 10 ans, était éligible. Les renseignements demandés étaient relatifs à la localisation du site, la description de la station et du peuplement et de son historique. Le formulaire, compact et rapide à remplir laissait la place à une libre expression sur l'analyse des causes possibles des échecs[1] ou des réussites. Un certain nombre de relevés proviennent d'une enquête menée par l'IDF en 2006 qui concernait surtout des références du pôle expérimentation forêt privée française (PEFPF).

L'enquête a été transmise en début d'année 2011 et 196 formulaires ont été reçus. Parmi eux, moins de 100 disposent d'informations suffisamment précises pour permettre une prise en compte complète de leurs résultats, et la synthèse ne sera donc que partielle pour certain facteurs.

La répartition géographique de ces essais témoigne de l'intérêt suscité par l'essence et de ses perspectives de développement, même si les sites suivis n'ont pas tous des résultats prometteurs (*Figure 2, p. 42*). 42 départements sont représentés. 62 % des relevés sont situés en forêt privée. Pour l'analyse, les peuplements ont été groupés par grande zone climatique : océanique (69), continentale et montagnarde (21), méditerranéenne (106).

Les données climatiques correspondant à chaque site géoréférencé proviennent surtout d'interpolations du modèle Aurelhy de Météo-France. À partir des modèles de croissance en hauteur dominante établis par l'IRSTEA et l'Inra en zone méditerranéenne française [2] un indice de fertilité a pu être calculé pour 70 % des relevés. Cet indice a ici surtout une valeur relative, permettant de comparer les performances des peuplements d'âges différents.

© INRA

Figure 4 : peuplement de cèdre sur schistes, dans le Morbihan, suivi par le CRPF de Bretagne. Densité 1600 tiges/ha. Âge : 18 ans. Hauteur dominante : 12 m. Diamètre moyen : 19 cm.

Présentation de la plaquette

Le travail réalisé devrait permettre de faire un bilan des introductions et d'en savoir plus sur les potentialités du cèdre. La plaquette, d'une douzaine de pages, contiendra :

- des éléments sur l'**intérêt du cèdre dans le cadre du changement climatique** ;
- des **recommandations en matière d'installation et de gestion des peuplements de cèdre** en insistant sur les spécificités liées à cette essence, issues de la bibliographie ou révélées par l'enquête et l'analyse des données des dispositifs sylvicoles expérimentaux. On abordera les exigences et tolérances climatiques et édaphiques en hiérarchisant les facteurs. Une carte proposera une zone potentielle d'introduction sur la base d'un climat favorable et d'un nombre suffisant de références probantes. Il sera difficile de proposer une évolution spatiale et temporelle de cette zone, car si la réalité du changement climatique ne fait plus de doute, on ne sait pas quantifier aujourd'hui précisément son importance, sa rapidité ni son incidence pour chacun des facteurs clés pour le cèdre (température minimale absolue, nombre de jours de gelées tardives et précoces, pluviométrie, hygrométrie de l'air,...). Il faudra en particulier veiller à ne pas l'implanter trop vite dans des régions où le climat risque de ne pas lui convenir avant plusieurs décennies.
- des **indications et des éléments de choix sylvicoles** qui, outre les objectifs de production en quantité et en qualité, doivent intégrer le risque de sécheresse. Le choix d'une sylviculture est le résultat d'un compromis entre des objectifs variables et des contraintes locales. Une sylviculture dynamique, faite d'éclaircies précoces et intensives, permet de raccourcir les révolutions et d'augmenter ainsi la probabilité d'éviter l'accident climatique. Elle est censée améliorer la disponibilité en eau en répartissant la ressource sur moins d'individus. Mais l'eau ainsi économisée ne bénéficie pas totalement au peuplement restant. Le bilan hydrique doit aussi intégrer l'augmentation de l'évaporation du sol consécutif à l'éclaircie et le surplus d'évapotranspiration des végétaux, dû au développement du houppier des arbres restant et au recru arbustif et herbacé éventuel. Une récolte précoce a l'inconvénient de diminuer la proportion de bois de cœur duraminisé dont le caractère imputrescible est une qualité majeure du bois de cèdre. Chaque gestionnaire peut avoir ses propres objectifs et contraintes. Nous avons donc décidé de fournir des critères d'aide au choix d'itinéraires techniques, plutôt que de simuler et quantifier précisément les effets d'un modèle de sylviculture qu'il ne nous appartient pas de fixer arbitrairement à la place du gestionnaire. De plus, beaucoup d'incertitudes pèsent sur la croissance future des jeunes peuplements, en particulier ceux de la zone tempérée où le modèle existant, établi pour le midi méditerranéen, doit être testé et validé.
- des **gammes de coûts et de prix** sur les postes des itinéraires techniques où le cèdre pourrait se distinguer des autres espèces, pour comparer leur bilan économique (prix des plants, de préparation du sol, de vente du bois...) ;
- des **indications sur les risques sanitaires**.

La plaquette, tirée en 2 000 exemplaires, sera diffusée aux organismes de gestion et de développement ainsi qu'à ceux chargés d'élaborer et de mettre en place la politique forestière aux niveaux national, régional et départemental.

Premiers résultats

Malgré des réponses souvent lacunaires ou imprécises, l'enquête a permis de préciser et de confirmer un certain nombre de connaissances sur l'autécologie du cèdre. Même si la jeunesse de la plupart des peuplements ne donne pas un recul suffisant, les relevés effectués montrent qu'il est possible de l'installer hors région méditerranéenne. Les zones qui semblent les plus favorables sont celles

dont le climat reste sous influence méridionale : axe rhodanien, Sud-ouest, bordures sud et ouest du Massif central jusqu'en région Poitou-Charentes. Dans d'autres régions, des essais peu nombreux et récents ne permettent pas encore de trancher (Limousin, Franche-Comté, Pays de la Loire, Bretagne, Normandie). Connu pour être bien adapté à l'étage du chêne pubescent en région méditerranéenne, l'aire potentielle d'introduction du cèdre pourrait correspondre, en première approximation, à l'aire de cette espèce. Toutefois, il semble plus sujet aux champignons pathogènes comme l'armillaire et le fomès en climat humide. L'autre limitation est liée à l'influence continentale et surtout montagnarde sous l'effet du froid. Les productivités sont en moyenne plus élevées en zone tempérée qu'en région méditerranéenne, du fait d'une pluviométrie plus importante et de sols plus fertiles et profonds. Partout, les meilleurs résultats sont obtenus sur roche-mère acide. L'enquête confirme que le cèdre craint beaucoup les sols hydromorphes, plus représentés dans la moitié nord. Le cèdre n'apprécie pas les textures trop dominées par l'argile ou le sable comme les sols filtrants sur arène granitique, à moins qu'ils soient profonds.

L'analyse des résultats des dispositifs expérimentaux de sylviculture a permis de montrer que l'élagage précoce de branches vertes, réalisé sur une partie importante du houppier, permettait de limiter fortement les écoulements de résine attribués à la sécheresse, particulièrement lorsqu'il est couplé aux modalités les plus fortement éclaircies. L'influence de la seule éclaircie sur ces symptômes est moins évidente. Elle aurait un effet positif sur la relation entre croissance en surface terrière et climat contraignant. Mais cet effet est fugace et significatif uniquement dans le cas des éclaircies très fortes et précoces.

Conclusion

Ce travail doit mettre à disposition des gestionnaires forestiers et des décideurs, l'information existante, jusque-là dispersée, pour éviter les échecs et minimiser les risques dans l'installation et la conduite des peuplements de cèdre. Cette synthèse, soucieuse de tenir compte des résultats les plus récents, sera disponible sous une forme condensée. Ce projet est aussi l'occasion d'identifier les lacunes à combler dans les connaissances nécessaires aux gestionnaires et aux pouvoirs publics pour définir leur tactique ou stratégie. Ainsi, la variabilité génétique au sein de l'aire d'origine n'a pas été testée en dehors de la région méditerranéenne française. Faute de références suffisantes ou du fait d'informations parfois contradictoires, le comportement du cèdre dans certaines situations (climat humide, froid intense, gelées précoces et tardives, sol sur granite,...) n'est pas encore connu avec précision. Face à l'incertitude, même si le bilan effectué permet de progresser dans la compréhension du comportement du cèdre face aux contraintes du changement climatique, il restera encore beaucoup à apprendre pour répondre aux besoins. ■

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les personnes et les organismes qui ont répondu à l'enquête, le réseau Aforce ainsi que la DRAAF Languedoc-Roussillon pour leur soutien financier, Marianne Correard et Didier Betored pour la réalisation de la carte.

** François Courbet, Inra, Unité Écologie des forêts méditerranéennes. Domaine St Paul - Site Agroparc - 84914 Avignon Cedex 9.*
- Michèle Lagacherie, Pauline Marty, CRPF Languedoc Roussillon. 378 rue de la Galéra - Parc Euromédecine. BP 4228. 34097 Montpellier Cedex 5.
- Jean Ladier, ONF, Département Recherche et Développement. 1175, chemin du Lavarin. 84000 Avignon.
- Christian Ripert, IRSTEA (ex Cemagref), Unité de Recherches Ecosystèmes méditerranéens et risques. 3275 route de Cézanne CS - 40061 13182 - Aix-en-Provence Cedex 5.
- Louis Amandier, CRPF Provence-Alpes-Côte d'Azur. 7 impasse Ricard Digne - 13004 Marseille.
- Éric Paillassa, CNPF-IDF, 6 Parvis des Chartrons - 33075 Bordeaux Cedex.
- Joannès Guillemot - Universté Paris Sud 11. Laboratoire Écologie, Systématique, Evolution (UMR 8079). Bâtiment 362. 91405 Orsay Cedex.

1) Il est plus difficile de garder la mémoire des échecs qui, le plus souvent, ne laissent pas de trace mais sont tout autant riches d'enseignements que les réussites, pour peu qu'on ait les éléments permettant d'en identifier les causes.
2) La zone de validité du modèle comprend les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc Roussillon et les départements de la Drôme et de l'Ardèche. Son utilisation sur le reste du territoire nécessite donc beaucoup de prudence. De plus, la majorité des peuplements ayant servi à construire le modèle n'ont pas connu les mêmes conditions de croissance que les peuplements plus récents.

Bibliographie

- **Climat propice pour le cèdre. 2007**. *Dossier coordonné par Ph. Riou-Nivert.* Forêt-entreprise n°174 (3) p. 11-59.
- **Hainry D., Colombet M. 2009**. *Bilan des introductions et perspectives d'utilisation du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica) en Bretagne.* CRPF Bretagne. 10 p.
- **Lefièvre J., Carmeille J., Mirlyaz W. 2010**. *Étude sur le potentiel du cèdre de l'Atlas dans le massif Dordogne-Garonne.* CRPF Aquitaine. 16 p.

Résumé

Résistant à la sécheresse, doté d'une bonne croissance et d'une bonne valeur économique, le cèdre apparaît comme un recours intéressant face au réchauffement climatique. Ce projet vise à profiter de l'expérience acquise en région méditerranéenne, tirer les enseignements des essais d'installation dans le nord de la France et analyser les données récentes de dispositifs expérimentaux de sylviculture, pour conseiller les praticiens dans l'installation et la conduite des peuplements de cèdres. Les connaissances sont synthétisées et mises à disposition des gestionnaires forestiers sous forme d'une plaquette d'information et de recommandations.

Mots-clés : cèdre, autécologie, climat, sylviculture.

Lutte contre la fougère aigle : l'Asulame disparaît… !

Xavier Auzuret, Léon Wehrlen, Inra-MGVF*

La fougère aigle est gênante pour la régénération des peuplements ligneux. Le traitement à l'Asulame est peu coûteux, l'élimine celle-ci durablement ; mais il est bientôt interdit. Restent des solutions mécaniques onéreuses ou moins efficaces que les herbicides pour gérer la fougère aigle. L'équipe MGVF-INRA travaille à des alternatives mécaniques efficientes pour réguler cette plante dans les zones de forêt à régénérer.

Asulame : distribution jusqu'au 31/08/2012
Utilisation jusqu'au 31/12/2012

La fougère aigle [*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn] a toujours été un obstacle aux régénérations forestières sur stations acides. Sa capacité d'adaptation explique sa présence dans de nombreux contextes stationnels et sur des surfaces importantes [(1)].

Cette plante pionnière et à croissance végétative rapide [(2)] atteint 1 à 3 m de haut. Elle est très compétitrice pour l'eau et la lumière vis-à-vis des semis naturels ou des plantations. Son réseau de rhizomes se développe entre 10 et 60 cm de profondeur avec un maillage dense qui rend le sol souvent impénétrable aux racines des jeunes arbres. En automne et en hiver, elle s'écrase sur les jeunes plants et peut fortement les déformer, sans parler des risques d'incendie de la biomasse sèche en fin d'hiver dans certaines régions.

Pour de multiples raisons, la fougère aigle n'est pas l'amie des forestiers chargés de régénérer leurs forêts et qui, depuis très longtemps, luttent contre cette plante herbacée compétitrice pour les semis et les jeunes plants.

© MGVF, Inra

Fougère aigle en zone post-tempête.

De nombreuses techniques ont été mises au point pour contrôler son développement. La plus ancienne est le bâtonnage : les ouvriers forestiers cassent les jeunes tiges à l'aide d'un bâton, avant le développement total des frondes.
D'autres techniques de fauchage à la faux, au croissant forestier ou, plus récemment, à la débroussailleuse ont contribué à la survie des plantations.

Dans les années 70-80, un herbicide spécifique est apparu dans la panoplie des outils à disposition du forestier pour lutter contre la fougère : l'Asulame (*Asulox*, Fougerox).

Cette molécule efficace, appliquée par pulvérisation sur les frondes totalement étalées, en juin-juillet, permet d'éliminer durablement la fougère, le temps d'installer la régénération

© L. Wehrlen MGVF - Inra

Scarificateur réversible"Becker" monté sur mini pelle de 3,5t.

ligneuse. Son coût d'application varie de 150 € à 600 €/ha en plein la première année pour une élimination de la fougère à plus de 90 %. Selon les cas, ce traitement herbicide réduit de 5 à 10 fois le coût des dégagements, en comparaison aux interventions mécaniques sur les lignes de plantation.

Actuellement, deux matières actives sont homologuées et autorisées en forêt pour le traitement de la fougère : l'Asulame, désherbant foliaire spécifique, et le glyphosate, désherbant foliaire général. Cependant, l'autorisation d'utilisation de l'Asulame arrive à son terme fin 2012 [3]. Cet herbicide économique va bientôt disparaître définitivement de l'arsenal des produits phytosanitaires à la disposition des forestiers. Le Glyphosate restera la seule matière active homologuée en forêt pour la lutte contre la Fougère. Néanmoins, en raison de l'évolution permanente de la réglementation, cette molécule risque elle aussi de subir des restrictions d'utilisation à moyen terme.

La suppression de l'Asulame complique donc fortement la maîtrise de la fougère aigle dans un contexte économique très difficile pour les gestionnaires forestiers.

Les réponses mécaniques actuelles d'élimination de cette adventice ne suppriment que la compétition aérienne : la plante repousse l'année suivante (souvent la même année). Le système racinaire toujours actif, continue d'exercer une concurrence (bien qu'atténuée) pour l'eau. Un à deux dégagements par an sont nécessaires, durant 3 à 5 ans, pour un coût de dégagement total élevé se situant entre 2000 et 6000 €/ha.
L'une des missions actuelles de l'équipe Inra-MGVF est d'élaborer une alternative de suppression localisée de la fougère par élimination mécanique des rhizomes, sur une bande de 1 à 2 m de large, avant plantation.

Cette technique novatrice est réalisée à la mini-pelle (3,5 t) équipée d'un scarificateur réversible Becker (*voir photo ci-contre*) pour aider le lecteur à visualiser le mode opératoire. L'outil extrait la majorité des rhizomes sans les casser. Il permet donc d'éliminer la fougère, avec la même efficacité que les herbicides chimiques. Le coût de cette scarification est intermédiaire entre le traitement chimique et les solutions mécaniques classiques mais, avec un travail du sol en prime. Les résultats, très prometteurs, seront publiés prochainement par la MGVF dans Forêt-entreprise. ■

La Mission Gestion de la Végétation en Forêt (MGVF) est une équipe de Recherche-Développement créée en 2008 (**www6.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret**) à l'Inra de Nancy Champenoux (54). Elle a pour but d'apporter aux gestionnaires des connaissances et des outils pour gérer la végétation accompagnatrice des régénérations forestières, dans le cadre des contraintes socio-économiques et environnementales actuelles (Dodet M., 2011. une équipe R&D pour la gestion de la végétation en forêt. FE n°196 pp.44-46.).

www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret,
contact : mgvf@nancy.inra.fr

1) Gama et al., 2006. Utilisation des herbicides en forêt et gestion durable, éditions QUAE, 319 p.
2) Dumas, 2002. Que savons-nous de la Fougère aigle ? Revue Forestière Française, Vol. 54, N°4, p. 357 - 374.
3) www.e-phy.agriculture.gouv.fr

Herbicides homologués pour les usages en forêt au 20 janvier 2012

Ce tableau renseigne sur les autorisations de mise sur le marché ; il ne doit pas être considéré comme un outil de prescription.
Les usages pépinières et ligneux en culture sont exclus de ce tableau (catégorie d'usage différentes).
L'homologation est indiquée par la dose ou la concentration maximale autorisée.

Pénétration :
PF : pénétration foliaire
PR : pénétration racinaire
PrF : pénétration foliaire principalement

Migration :
MS : systémique
MC : contact

Inhibition :
IDC : division cellulaire
IPC : perturbation croissance
IRA : régulation auxine
ISAA : synthèse acides aminés

Formulation :
EC : concentré émulsionnable
GR : granulés
SC : suspension concentrée
SL : concentré soluble
L : liquide
AL : autre liquide (applicable sans dilution)

Classement toxicologique :
SC : sans classement
Xi : irritant
Xn : nocif
AQUA : dangereux pour les organismes aquatiques

Phrases de risques :
R10 : inflammable
R22 : nocif en cas d'ingestion
R36 : irritant pour les yeux
R38 : irritant pour la peau
R40 : possibilité d'effets irréversibles
R41 : risque de lésions occulaires graves
R43 : peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau
R50 : Très toxique pour les organismes aquatiques.
R51 : toxique pour les organismes aquatiques
R52 : nocif pour les organiq-mes aquatiques
R53 : peut entraîner des effets néfasytes à long terme sur l'environnement aquatique
R63 : risque possible pendant la grossesse pour l'enfant

Phrases de sécurité :
S2 : conserver hors de la portée des enfants.
S13 : conserver à l'écart des aliments et boissons, y compris ceux pour animaux.
S20/21 : ne pas manger, ne pas boire et ne pas fumer pendant l'utilisation.
S24 : éviter le contact avec la peau
S36/37 : porter un vêtement de protection et des gants appropriés
S37 : porter des gants appropriés
S61 : éviter le rejet dans l'environnement.
Consulter les instructions spéciales/la fiche de données de sécurité.

Matière Active	Pénétration / Migration / Inhibition	Spécialité commerciale	A C T A 2012	Détenteur Homologation	Numéro homologation	Teneur	Formulation	Classements toxico et écotoxico.	code risque
2,4-d (ester ethylique) + Dichlorprop p	PrF / MS / IRA	BROUSSNET EV 2	oui	Nufarm S.A	20 30 332	240 g/L + 120 g/L	EC	Xn	R22 R50 R53
		BUSHLESS-P	non						
		C P DEBROUSSAILLANT	non						
		DEBROUSS'PRO-P	non						
		DEBROUSSAILLANT 2D P	oui						
		DHERBAX PRO	oui	PFC (Hygiene & Nature)					
		NOVERMONE DEB. 2D-P	non	Nufarm S.A					
		OXYPLAN 360	oui	Aseptan Agro / CP Chimie					
		PHYTRAZINE-P	non	Nufarm S.A					
2,4-d (ester ethylique) + Triclopyr	PrF / MS / IRA	AGI BROUSSES EV	non	Agriphar S. A.	2060131	93 g/L + 103,6 g/L	L	Xn N	R38 R50-53 R65
		DEFRICH E	oui						
		DHERBAX DUAL	oui						
		GENOXONE ZX E	oui						
		NORONCE	non						
Asulame (sel de sodium)	PRF / MS / IDC	FOUGEROX	oui	Bayer SAS	89 00 229	400 g/L	SL	SC	SC
Clopyralid	PrF / MS / IRA	AGROLID	non	Cera Chem S.A.R.L.	20 70 162	100 g/L	SL	SC	SC
		LONTREL 100	oui	Dow Agrosciences S.A.S	79 00 753				
		LONTREL F	non						
		LONTREL SG	non		21 10 063	720 g/Kg	GR	SC	SC
		RUBY	non						
		TRITON SG	non						
Glyphosate acide	PrF / MS / ISAA	BARCLAY GALLUP SUPER 360	oui	Barclay Chemical LTD	20 90 163	360 G/L	SC	SC	R53
		BARCLAY GALLUP XTRA 450				450 G/L			
		BUGGY 360 POWER	oui	Monsanto Agriculture France S.A.S	20 90 188	360 G/L			R52 R53
		ROUNDUP EVOLUTION	non	Monsanto France	20 90 093	450 G/L			R51 R53
		ROUNDUP FLASH PLUS	oui		20 90 093	450 G/L	SC	N	
		ROUNDUP MAX PLUS							
		ROUNDUP TDI PLUS							
		ROUNDUP XTRA	non	Monsanto Agriculture France S.A.S	20 90 188	360 G/L	SC	SC	R52 R53
		TCHAO ACTIV'EV	non	Barclay Chemical LTD	20 90 163	450 G/L	SC	SC	R53
		TCHAO PLUS EV 2	non			360 G/L			
Glyphosate (sel de di ammonium)	PrF / MS / ISAA	SHINAI FORET	oui	K+S FRANCE SAS	20 30 279	360 G/L	SL	SC	R53
		TOUCHDOWN FORET	oui	Syngenta Agro S.A.S	20 80 105	360 G/L			
Glyphosate (sel d'isopropylamine)	PrF / MS / ISAA	BARBARIAN BIOGRADE	oui	Barclay Chemical LTD	20 90 141	360 G/L	SL	SC	R53
		BARCLAY GALLUP HI-AKTIV				490 G/L	SC		
		JETAGRI	non	Tradi Agri	93 00 146	120 G/L	SL	Xi N	R36 R51 R53
		NOMIX AGRI 2000	non	Nomix Enviro LTD	91 00 538	142 G/L	L		
		NOMIX HG 14			88 00 648	142 G/L			
Fluazifop-p-butyl	PrF / MS / ISL	FUSILADE FORET	oui	SyngentaAgro S.A.S	20 70 190	125 G/L	EC	Xn N	R38 R43 R50 R53 R63
		FUSILADE PRO	non						
Oxyfluorfène + Propyzamide	PF + PR / MC / ISC + IDC	GARDECLEAN LIQUIDE	non	Dow Agrosciences S.A.S	98 00 366	134 G/L + 357 G/L	SC	Aqua Xn	S2 S36-37 S13 R40 R43
		GARDENET PAYSAGE	oui		99 00 138				
		GARDENET GRANULE	oui		98 00 365	0,5% + 1,4%	GR	Xn	R40
		GARDENURS FLO	non		96 00 180	134 G/L + 357 G/L	SC	Xn	S2 S13 S24 S20-21 S36-37 S61 R40
		GARDENURS G	non		80 00 124	0,5% + 1,4%	GR	Xn	R40
		GRANUSOL ARBUSTES G	oui	Nufarm S.A	20 30 292	0,5% + 1,4%		Xn N	R40 R50 R53
Propyzamide	PR / MC / IDC	KERB FORESTIER LIQUIDE	oui	Dow Agrosciences S.A.S	20 00 218	400 G/L	SC	Xn N	R40 R50 R53
Quizalofop ethyl -d	PF / MS / ISL	DRIVER	non	SARL Pour La Terre	20 00 462	50 G/L	EC	Xi	R10 R38 R41 R43
		FOREXONE	oui	Philagro	90 00 669	120 G/L		Xi	S2 S13 S20 S21
		LEOPARD 120	oui	Makhteshim Agan France	20 10 427	120 G/L		Xi N	R36 R50 R53
		TARGA PRESTIGE	non	Philagro	92 00 302	50 G/L		Xi	R10 R38 R41 R43
		TICKET	non	Aventis Cropscience France C/O Bayer Cropscience France SAS	99 00 089	120 G/L		Xi	R36
Quizalofop ethyl P	PF / MS / ISL	ETAMINE	oui	Philagro	20 10 019	50 G/L	SC	N	R50 R53
		COURSIER	non		95 00 040	50 G/L	EC	Xi	R10 R38 R41 R43
		PILOT	oui		95 00 040	50 G/L			
		TARGA D+	oui	Bayer SAS	87 00 687	120 G/L		Xi N	R36 R43 R50 R53
Trichlopyr	PrF / MS / IRA	GARLON INOV	non	Dow Agrosciences S.A.S	94 00 080	120 G/L	SL	Xi Aqua	S3 S13 S20-21 S24 S37 R36 R43
Triclopyr (ester de butyl glycol)	PrF / MS / IRA	TIMBER F	non	Dow Agrosciences S.A.S	96 00 004	480 G/L	L	Xn	R22 R38 R43
		TIMBREL F	oui		96 00 005				

Xavier AUZURET, MGVF-INRA Champenoux. mgvf@nancy.inra.fr.
Fiche disponible en format pdf sur le site de MGVF : www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret.
Références : http://e-phy.agriculture.gouv.fr : site officiel du MAAPRAT concernant les produits phytosanitaires et leurs usages.
Autres références : index phytosanitaire ACTA 2012

forêt degagement	débroussaillant avant mise en culture	dévitalisation arbres sur pied et souches	Usage principal
1,5 L/hL	1,5 L/hL		débroussaillant foliaire ; traitement dirigé en dégagement.
	5 L/ha	325 mL/m²	débroussaillant foliaire ; traitement dirigé en dégagement.
10 L/ha	10 L/ha		foliaire ; pour le contrôle des fougères. **ATTENTION : distribution jusqu'au 31/08/2012 et utilisation autorisée jusqu'au 31/12/2012**
1.25 L/ha	1.25 L/ha		foliaire ; pour le contrôle des chardons.
0,174 Kg/ha. Au maximum une application tous les deux ans pour protéger les eaux souterraines. Application au printemps.			
graminées annuelles : 3 L/ha.- dicotylédones annuelles et bisannuelles et adventices vivaces : 6 L/ha.	graminées annuelles : 3 L/ha, dicotylédones annuelles et bisannuelles : 6 L/ha, adventices vivaces : 7 L/ha		foliaire, non sélectif, à large spectre d'efficacité ; traitement dirigé en dégagement.
graminées annuelles : 2,4 L/ha., dicotylédones annuelles et bisannuelles et adventices vivaces : 4,8 L/ha.	graminées annuelles : 2,4 L/ha., dicotylédones annuelles et bisannuelles : 4,8 L/ha, adventices vivaces : 5,6 L/ha		
3 l/ha pour les graminées annuelles ; - 5 l/ha pour dicotylédones annuelles et bisannuelles ; - 6 l/ha pour les adventices vivaces.		120 g sa/m² de souche ou de terrière.	
2,4 L/ha pour graminées annuelles, 4 L/ha pour dicotylédones annuelles et bisannuelles, 4,8 L/ha pour adventices vivaces.	Dose : 2,4 L/ha pour graminées annuelles, 4 L/ha pour dicotylédones annuelles et bisannuelles, 6,4 L/ha pour adventices vivaces.		
3 l/ha pour les graminées annuelles ; - 5 l/ha pour dicotylédones annuelles et bisannuelles ; - 6 l/ha pour les adventices vivaces.			
graminées annuelles : 2,4 L/ha. - dicotylédones annuelles et bisannuelles et adventices vivaces : 4,8 L/ha.	graminées annuelles : 2,4 L/ha. - dicotylédones annuelles et bisannuelles : 4,8 L/ha. - adventices vivaces : 5,6 L/ha		
graminées annuelles : 3 L/ha.- dicotylédones annuelles et bisannuelles et adventices vivaces : 6 L/ha.	graminées annuelles : 3 L/ha.- dicotylédones annuelles et bisannuelles : 6 L/ha.- adventices vivaces : 7 L/ha		
3 L/ha (sur graminées annuelles) 6 L/ha (sur dicotylédones annuelles et bisannuelles etsur adventices vivaces).	sur graminées annuelles : 3L/ha - sur dicotylédones annuelles et bisannuelles et adventices vivaces : 6L/ha		
annuelles : 3 l/ha bisannuelles, pérennes : 6 l/ha	annuelles : 3 l/ha bisannuelles, pérennes : 6 l/ha		
graminées annuelles : 3 L/ha, dicotylédones annuelles et bisannuelles : 6 L/ha, adventices vivaces : 6 L/ha	graminées annuelles : 3 L/ha, dicotylédones annuelles et bisannuelles : 6 L/ha, adventices vivaces : 7 L/ha		
graminées annuelles : 2,2 L/ha, dicotylédones annuelles et bisannuelles : 4,4 L/ha, adventices vivaces : 4,4 L/ha	graminées annuelles : 2,2 L/ha, dicotylédones annuelles et bisannuelles : 4,4 L/ha, adventices vivaces : 5,14 L/ha		
graminées annuelles : 9L/ha ; ZNT : 5m, * dicotylédones annuelles et bisannuelles et adventices vivaces: 18L/ha; ZNT : 20m.			
7,5 L/ha : par tache sur graminées annuelles, Doses : 10 L/ha : par tache sur dicotylédones annuelles et bisannuelles vivaces.			
2 L/ha			Foliaire ; sélectif ; à large spectre d'efficacité anti-graminées ; traitement dirigé en dégagement.
3,5 L/ha			Racinaire de contact ; pour le contrôle des graminées et dycotylédones ; à appliquer tôt dans l'hiver (peu soluble).
3,5 L/ha			
100 Kg/ha			
3.5 L/ha			
100 Kg/ha			
100 Kg/ha			
3,75 L/ha			racinaire + contact ; à appliquer tôt en hiver (peu soluble) et seulement avec pulvérisateur à rampe.
annuelles : 3 l/ha bi-annuelles et pérennes : 6 l/ha			Foliaire sélectif de toutes les essences forestières ; pour le contrôle des graminées (dont molinie).
2.5 L/ha			
(*) index phytosanitaire ACTA 2012 : 1,25 l/ha sur graminées annuelles, 2,5 l/ha sur graminées vivaces ; http://e-phy.agriculture.gouv.fr : sans.			
annuelles : 3 l/ha, bi-annuelles et pérennes : 6 l/ha			
2,5 L/ha			
3 L/ha	3 L/ha		Foliaire sélectif de toutes les essences forestières ; pour le contrôle des graminées (dont molinie).
annuelles : 3 l/ha bi-annuelles et pérennes : 6 l/ha			
2,5 L/ha	2,5 L/ha		
		20 L/HL	débroussaillant foliaire ; traitement dirigé en dégagement.
2 L/ha	2 L/ha		débroussaillant foliaire ; traitement dirigé en dégagement
		5 L/HL	

(*) à la date du 20/01/2012, les deux sources d'information sont contadictoires.

Des plants de merisiers issus des vergers à graines disponibles !

J. Dufour*, F. Santi*, J. Migeot*, M. Rondouin**, H. Le Bouler**

L'Inra a sélectionné depuis 20 ans les meilleurs merisiers pour créer les vergers à graines « Cabrerets » et « Avessac ». Dans un contexte de changement climatique, les performances dans des situations variées sont importantes à estimer. Vous pouvez contribuer utilement à évaluer la valeur de ces vergers en les plantant !

L'IRSTEA (ex. Cemagref) a effectué ces dernières décennies un gros travail de prospection et de classement des peuplements français de merisier. Cependant, récolter des merises sur ces peuplements est coûteux et dépend d'aléas climatiques, malgré le nombre élevé de peuplements classés. De plus, le merisier produit très fréquemment des copies végétatives par drageonnage, qui forment des bosquets d'arbres identiques à l'intérieur des peuplements. Ainsi, un génotype ne correspond pas à un arbre mais à un groupe d'arbres, qui peut couvrir jusqu'à un demi-hectare. L'analyse des marqueurs génétiques de peuplements de merisier permet de déterminer quels sont les arbres identiques dus au drageonnage. Le nombre de génotypes disponibles dans un peuplement suffisamment dense pour être considéré comme récoltable est sensiblement inférieur au nombre de merisiers présents. Comme de surcroît, les peuplements classés sont le plus souvent de faible surface, le mélange des graines issues des différents peuplements effectivement récoltés a été recommandé. De plus les tempêtes de 1999 avaient brutalement détruit des peuplements porte graines renommés.

Afin de pallier à ces deux problèmes, et d'obtenir des plants de meilleure qualité génétique, l'Inra d'Orléans a sélectionné les composants de deux vergers à graines de merisier gérés par le GIE « Semences Forestières Améliorées » (ONF-La Joux et Vilmorin) :

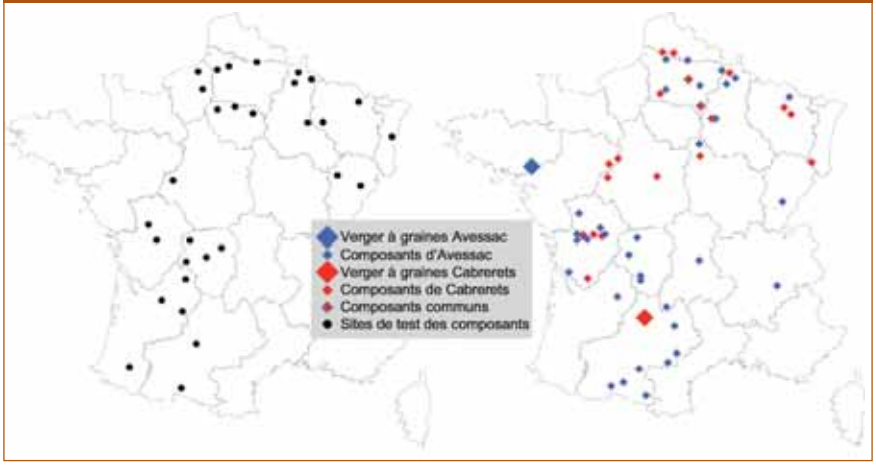
- Cabrerets dans le Lot sur un terrain forestier domanial, en collaboration avec l'IRSTEA,
- Avessac en Loire-Atlantique sur le terrain d'un producteur arboricole, en collaboration avec la pépinière

Figure 2 : un bourdon butinant sur Prunus avium *et fructification à Avessac.*

© N. Maestra

© M. Rondouin

Figure 1 : sites de tests, emplacement des vergers à graines Cabrerets et Avessac, ainsi que l'origine de leurs composants.



administrative de Guéméné-Penfao (*Figures 1 et 2, p.50*). Ces vergers ont produit plusieurs dizaines de kg de merises en 2010 et 2011. Cet article s'attache à décrire leur composition, leur valeur et l'usage recommandé de leurs produits.

Choix des composants

Intensité de sélection

Ces vergers comportent 19 (Cabrerets) et 36 (Avessac) génotypes de merisiers, originaires de la majeure partie de la France, la Bretagne et le sud-est du pays n'étant pas représentés (*Figure 1*). Les composants ne sont pas apparentés, contrairement aux individus inter croisés dans un peuplement classé, et en nombre largement suffisant pour que la diversité génétique produite dans la descendance soit importante [(1)]. L'Inra a établi en 20 ans un réseau de 41 tests comparatifs d'individus sélectionnés phénotypiquement en forêt, puis multipliés par voie végétative. La sélection a été réalisée en utilisant les résultats de 8 tests comparatifs principaux en 1994, avec une intensité de sélection de 1 sur 3, dans le cas de Cabrerets, tandis que 29 tests comparatifs principaux ont été utilisés en 2004, avec une plus forte intensité de sélection, 1 sur 8, dans le cas d'Avessac. Les tests principaux comparent un minimum de 15 individus différents, leur moyenne pouvant ainsi être utilisée comme référence interne. La moitié des tests comportent un ou deux témoins peuplements classés. Ils sont souvent différents d'un site à l'autre, donc n'ont pas été utilisés comme témoins internes. Chaque composant a été sélectionné d'après ses résultats obtenus dans **au moins deux tests**.

Critères de sélection

Le type d'arbre recherché croît rapidement - surtout en diamètre, partout, avec une forme correcte.

La **stabilité** des performances, la croissance en **diamètre** en 7 à 15 ans, en hauteur en 7 à 10 ans, la **résistance** à la cylindrosporiose (maladie affectant fortement la croissance en diamètre quand elle se manifeste), la **rectitude** vraie (excluant les accidents), et de plus la **finesse des branches** relatives au tronc, dans le cas d'Avessac, ont été les critères principaux de sélection, établis d'après des mesures ou notations. D'autres critères, dits rédhibitoires, ont été intégrés sans faire nécessairement l'objet de mesures : ainsi des individus aux insertions de branches visiblement problématiques ont été exclus, bien que de bonne qualité par ailleurs.

Valeur des composants

Valeur moyenne inter-site

De nouveaux tests, notations et mesures disponibles en 2010 ont été intégrés pour les calculs, depuis la mise en place des vergers à graines. Les composants sont présents dans un nombre variable de tests comparatifs, et les notations n'y ont pas été faites systématiquement (*Tableau 1*).

Les moyennes obtenues dans chaque site sur au moins 6 copies par individu, après ajustement aux effets terrain, ont été centrées-réduites, pondérées par les fiabilités et illustrées (*Tableau 2, p. 52*) telles que moyenne = 10, un écart-type = 5 [(2)]. La valeur moyenne 10 ne représente pas la valeur moyenne des merisiers en France, mais la valeur génétique moyenne d'individus sélectionnés phénotypiquement en forêt, avec une certaine efficacité génétique.

Tableau 1 : nombre de sites de test pour chaque composant des vergers à graines

Cabrerets			
Comp	Cro	Rés	Rec
140	22	13	7
108	12	6	4
121	12	9	5
130	11	5	6
230	11	5	4
253	11	6	2
154	7	3	3
123	5	5	2
205	5	1	2
182	5	2	1
267	5	2	2
247	4	1	1
131	3	0	2
157	3	1	0
172	3	1	2
195	3	0	2
236	3	1	0
111	2	1	1
255	2	1	0

Légende :
Comp = composant
Cro = croissance
Rés = résistance à la cylindrosporiose
Rec = rectitude du tronc
Fin = finesse des branches
Nb de sites :

0	1	> 1

Avessac				
Comp	Cro	Rés	Rec	Fin
253	11	6	2	2
246	10	9	6	3
184	7	5	3	0
388	7	5	4	3
153	6	2	4	0
182	5	2	1	0
267	5	2	2	0
323	5	5	3	2
333	5	5	3	2
334	5	5	3	2
142	4	3	1	1
245	4	4	2	2
249	4	2	2	1
257	4	3	2	1
287	4	2	1	0
288	4	2	1	0
294	4	3	3	1
295	4	3	3	2
296	4	3	3	1
308	4	4	2	2
327	4	4	2	2
119	3	2	1	0
125	3	3	1	0
196	3	1	0	0
212	3	2	3	1
239	3	2	1	1
242	3	2	3	0
273	3	2	1	0
311	3	3	2	2
324	3	3	1	1
326	3	3	2	2
383	3	2	2	1
406	3	3	2	2
417	3	2	1	0
438	3	3	2	2
351	2	1	0	0

La valeur la plus faible, 5, a été obtenue pour la rectitude du composant 247 à Fontenois, mais dans un autre site non présenté ici, il a obtenu une valeur nettement supérieure à la moyenne. Tous les autres caractères et composants des deux vergers ont des valeurs moyennes comprises entre 7 et 25, la moyenne générale étant de 13. La stabilité inter-site pour la croissance en diamètre est satisfaisante (*figure 3, p. 52*).

Fiabilité des sites de test

La fiabilité des résultats obtenus dépend de la variabilité génétique des individus (chaque test principal comporte une variabilité importante) et de l'environnement : terrain plus ou moins hétérogène, suivi, aléas, effet notateur, intensité de l'attaque au moment des notations de résistance à la cylindrosporiose... De nombreux tests, mesures ou notations ont été exclus car la fiabilité calculée a été jugée trop faible. La résistance à la cylindrosporiose et la croissance en diamètre ont des fiabilités plus élevées que la croissance en hauteur, la rectitude du tronc et la finesse des branches. Caumont, Channay, Gan, Saint Jean et Us sont les moins fiables des sites retenus.

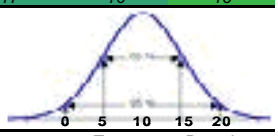
Tableau 2 : valeur individuelle des composants de Cabrerets et d'Avessac, leurs moyennes et les valeurs des peuplements témoins (moyenne) et des cultivars

Moyennes, *témoins*	Croissance Hauteur	Croissance Diametre	Résistance Cylindro.	Tronc Rectitude	Branches Finesse
Cabrerets	**12**	**12**	**14**	**12**	
Avessac	**14**	**14**	**13**	**13**	**14**
Peuplements	*9*	*9*	*10*	*8*	*10*
Gardeline	*14*	*20*	*17*	*16*	*17*
Monteil	*16*	*18*	*15*	*14*	*16*
Beautémon	*16*	*17*	*14*	*16*	*16*
Ameline	*13*	*16*	*18*	*12*	*11*
Boutonne	*19*	*16*	*20*	*11*	*25*
Ageyron	*15*	*14*	*17*	*16*	*15*

Légende :

6 et moins	10 - 11 - 12
7 - 8 - 9	13 - 14 - 15
	16 et plus

(10 représente la moyenne de la distribution)



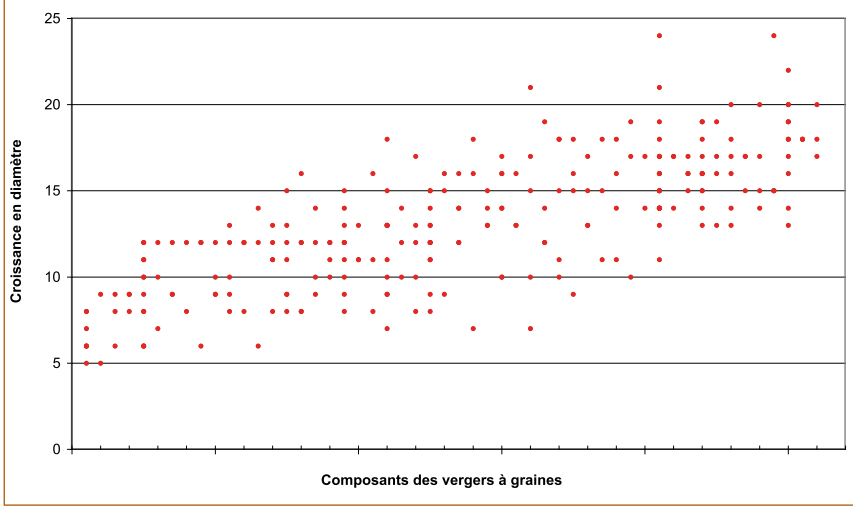
Cabrerets Composants	Croissance Hauteur	Croissance Diametre	Résistance Cylindro.	Tronc Rectitude	Branches Finesse
108	12	12	15	12	
111	10	7	14	12	
121	15	9	12	12	
123	8	11	13	10	
130	12	12	14	9	
131	10	9		13	
140	16	16	19	13	
154	11	11	13	13	
157	11	11	11	14	
172	9	8	12	15	
182	11	11	13	16	
195	11	14		10	
205	15	11	13	13	
230	13	16	18	12	
236	8	12	12		
247	14	16	16	5	
253	16	18	15	14	
255	15	10	12		
267	16	14	13	14	

Avessac Composants	Croissance Hauteur	Croissance Diametre	Résistance Cylindro.	Tronc Rectitude	Branches Finesse
119	17	11	11	13	
125	20	19	15	10	
142	11	14	10	12	17
153	18	17	10	10	
182	11	11	13	16	
184	15	14	14	11	
196	11	12	15	13	
212	14	14	19	11	7
239	16	15	14	13	21
242	17	16	12	10	
245	16	15	14	11	7
246	9	12	13	12	11
249	15	16	18	8	17
253	16	18	15	14	16
257	12	15	10	16	14
267	16	14	13	14	
273	12	10	13	11	
287	11	14	11	12	
288	16	17	14	17	
294	19	16	20	11	25
295	14	14	15	8	15
296	12	10	10	15	10
308	11	10	11	13	14
311	15	13	10	11	10
323	12	14	13	13	14
324	15	10	16	16	12
326	15	18	12	13	14
327	13	11	17	11	10
333	15	14	17	16	15
334	13	11	12	15	16
351	18	15	9		
383	12	16	11	12	10
388	13	7	9	14	18
406	11	14	11	15	18
417	13	12	11	15	
438	14	11	8	16	17

Comparaison avec les cultivars [3] et les peuplements classés

Les composants des deux vergers sont en moyenne de meilleure qualité que la moyenne des peuplements classés mais de moins bonne qualité que les cultivars (*Tableau 2, Figure 4*), ce qui est directement lié à l'intensité de sélection génétique : pas de sélection génétique des peuplements, intensité moyenne pour les composants, importante pour les cultivars. Pour la même raison, Avessac est de meilleure qualité génétique que Cabrerets. La sélection phénotypique en forêt des peuplements classés « étiquette verte » a été (logiquement) moins efficace que la sélection phénotypique des individus utilisés dans les tests comparatifs, ce qui est illustré par les valeurs moyennes de leurs descendances inférieures à 10 pour la rectitude et la croissance.

Figure 3 : diamètre : dispersion verticale des valeurs des composants dans plusieurs sites. Les composants (Cabrerets + Avessac) sont classés en abscisse selon leur valeur moyenne inter-site croissante.

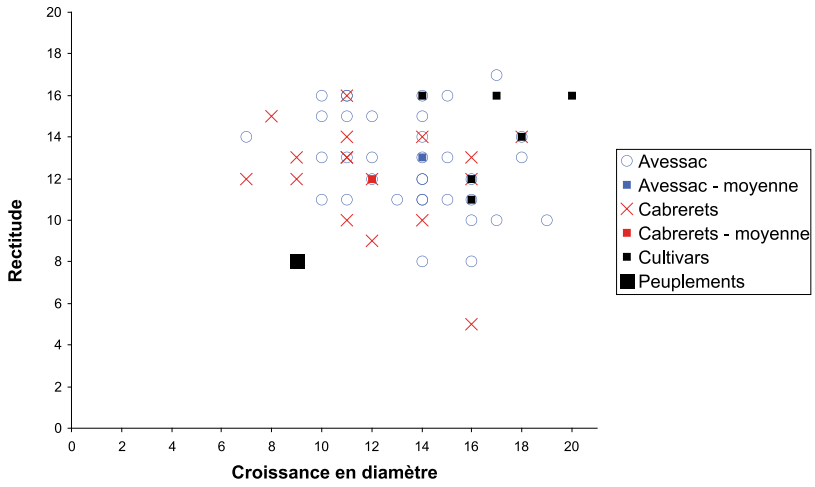


Quelle sylviculture ?

Pour les caractères pris en compte dans la sélection des constituants, les caractéristiques d'un lot de plants issu des vergers à graines, qui doivent être prises en compte pour l'installation et le suivi des plantations, sont :

- une **valeur génétique supérieure** en moyenne à celle d'un lot de plants issu de graines récoltées en peuplement classé mais inférieure à celle d'un cultivar ou d'un mélange de cultivars.
- une **variabilité génétique supérieure** à celle d'un lot de plants issu de graines récoltées dans un peuplement classé (recombinaisons multiples entre parents non apparentés) et évidemment supérieure à celle d'un cul-

Figure 4 : moyenne des composants de Avessac et Cabrerets, en comparaison avec la moyenne des peuplements et de six cultivars français



tivar ou d'un mélange de cultivars.

La densité de plantation

Pour les **plantations forestières,** on adoptera une densité de 300 à 400 plants/ha, supérieure à celle utilisée pour les cultivars et inférieure à celle utilisée pour les plants issus de peuplements classés. Pour les **plantations sur terres agricoles** ayant pour objectif un boisement en plein on utilisera les mêmes densités, mais l'installation d'un peuplement d'accompagnement est vivement conseillée. En **agroforesterie**[4], on vise une densité finale de l'ordre de 50 plants/ha, la densité à la plantation devrait donc être d'au moins 100 plants/ha de façon à garder une possibilité d'éclaircie au profit des plus belles tiges.

La taille de formation et l'élagage

Les conseils déjà donnés pour l'utilisation des cultivars (*voir FE n° 175 et 199*) restent valables pour les produits des vergers :

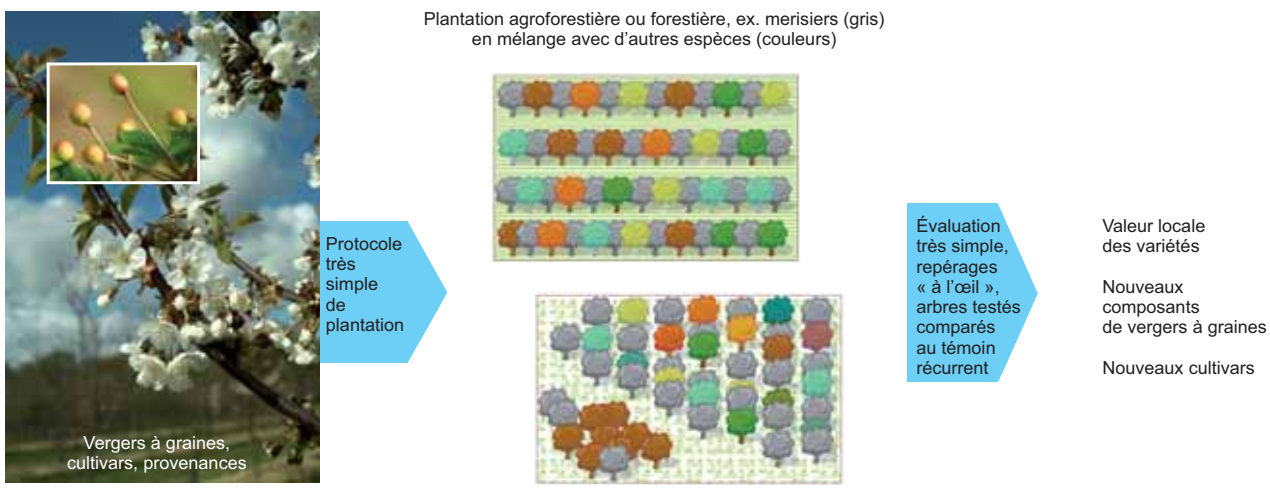
- première taille de formation au plus tard la **2e année après plantation**,
- élagage **sélectif** des grosses branches (diamètre > à 3 cm) dès qu'elles apparaissent, et non un élagage systématique par verticille,
- un passage **annuel** en taille de formation et élagage jusqu'à l'obtention d'une bille élaguée à la hauteur fixée comme objectif. Si un passage n'est pas réalisé, la valeur globale de la plantation diminuera car ce seront justement les meilleurs arbres qui en pâtiront.

Néanmoins, compte tenu des densités de plantation, on pourra assez rapidement (5 à 7 ans suivant la rapidité de croissance de la plantation) arrêter purement et simplement le travail d'élagage pour certains arbres parmi les moins bien poussants (recombinaisons génétiques défavorables par ex…) et ceux présentant un défaut rédhibitoire (cime cassée par le vent ou les oiseaux, fourche basse non corrigée, très grosses branches « oubliées », apparition de gourmands nombreux etc.).

Évaluer le produit des vergers

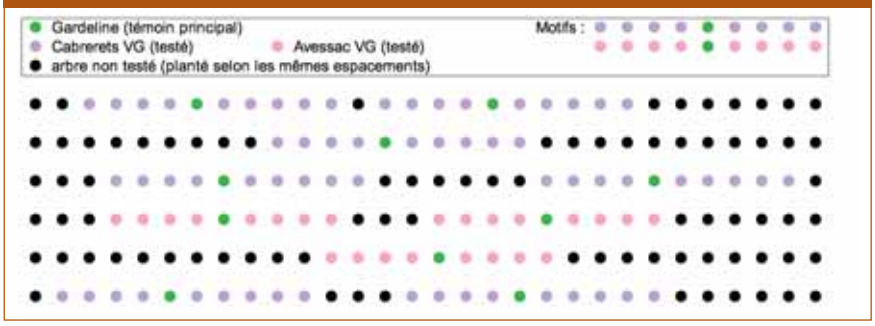
Nous avons montré grâce à un plan de croisement adapté que la valeur individuelle d'un composant est fortement liée à sa valeur en descendance. La descendance globale récoltée dans les vergers à graines est donc **attendue, en moyenne, de bonne qualité**. Le **gain génétique réel** dépend cependant de la **proportion effective** de gamètes mâles et femelles de chacun des composants dans la descendance

Figure 5 : schéma général de la sélection participative



© G. Sancey - © M. Rondouin

Figure 6 : exemple de plantation en sélection participative



réelle proposée à la vente, qui n'est pas prédictible par le calcul.
De plus, seuls 7 composants ont été testés dans au moins 10 sites, les autres ayant été testés en moyenne dans 4 sites (*Tableau 1*). Nous avons été sensibles à la capacité intrinsèque d'adaptation multi locale, mais en testant peu de sites. Dans un contexte de **changement climatique**, les performances dans des situations extrêmement variées sont d'autant plus importantes à estimer. La croissance en diamètre des 5 à 7 premières années est une bonne estimation de l'adaptation des arbres à un contexte pédoclimatique donné (bonnes corrélations avec la croissance ultérieure).

Aussi, si chaque planteur des produits des vergers communique, ou permet de communiquer, comment ce matériel s'est adapté localement, cela rendrait service à toute la communauté forestière, particulièrement à un niveau régional. La vitesse des changements nécessitera d'adapter les vergers (suppression de certains composants) voire de créer de nouveaux vergers ou cultivars mieux adaptés à certains contextes pédoclimatiques (plus secs en été par exemple). Pour cela un nouveau système est à mettre en place, basé sur la **coopération et l'échange entre gestionnaires**, attentifs à intégrer des préoccupations locales. Ce nouveau type de sélection décentralisée, sous **contrôle actif des producteurs** (choix des protocoles, des critères de sélection, du matériel, des méthodes, …), et avec l'impulsion/ l'aide de chercheurs, a été mis en œuvre avec succès chez de nombreuses espèces annuelles, dans un contexte où l'adaptation pédoclimatique, élargi au système de culture local, était primordial (**http://www.prgaprogram.org/**).

Aussi nous proposons à tout propriétaire forestier ou agriculteur volontaire, selon cette méthode dite de « **sélection participative** » (*Figure 5*), de planter les descendances de verger à graines avec un témoin récurrent selon une formule **toute simple et sans contraintes** (*Figure 6*).

Il est possible de participer en plantant aussi peu que 30 merisiers sur une parcelle, et quel que soit le taux de mélange avec d'autres espèces. Le sylviculteur achète un ou plusieurs éléments de matériel végétal (verger à graines en mélange ou descendance particulière, cultivars, témoins…), **choisit** un type de répartition du matériel (*exemple figure 6*) et décide quel élément affecter à chaque ligne. Très peu de données seront enregistrées, de manière facile et conviviale. Grâce à la structure en motif avec témoin récurrent, il est **facile et rapide** d'évaluer la valeur des arbres testés. En plus, ce n'est en rien obligatoire, évidemment ! Le producteur n'intervient que si cela l'intéresse, d'autres personnes (étudiant, vulgarisateur, autre personne du réseau, …) pourront le faire. Un site dédié permet de faciliter la création, les contacts, puis plus tard de visualiser en direct les performances locales ainsi que celles obtenues dans les autres sites. ■

** INRA UR 588 Amélioration, Génétique et Physiologie Forestière, F 45 075 Orléans.*
*** Pépinière Administrative de Guéméné-Penfao, F 44 290 Guémené-Penfao.*

Vous pouvez participer pour des plantations de merisier voire d'autres espèces !
Contacts et détails auprès de :
santi@orleans.inra.fr
ou au 06 63 15 32 39.
ou jmigeot@orleans.inra.fr
ou au 02 38 41 48 18.
http://www.inra.fr/selection-participative-arbres

Bibliographie

(1) Lindgren P et Prescher F, 2005. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. Silvae genetica 54 2:80-92.
(2) *96 % d'une « distribution gaussienne » comprend 4 écart-types.*
(3) *Cultivars : variétés propagées par voie végétative et inscrites au catalogue des plantes cultivées dans la catégorie sélectionnée (étiquette bleue)* (voir Forêt-entreprise n° 175).
(4) Dupraz C et Liagre F, 2008. *Agroforesterie, des arbres et des cultures, éd. France Agricole*, 413 pp. http://www.agroforesterie.fr/.

Résumé
Les composants des vergers à graines Cabrerets et Avessac sont de bonne qualité génétique. Cependant, il faut les planter à 300-400 plants/ha en forêt, et 100 plants/ha en agroforesterie, pour faire face aux aléas des recombinaisons génétiques et aux problèmes environnementaux. Un suivi en taille de formation et élagage régulier permettra d'en tirer un bénéfice financier intéressant. La valeur locale des produits issus de ces vergers sera évaluée grâce à la « sélection participative ».
Mots-clés : merisier, *Prunus avium*, verger à graines, sélection participative.

Forinvest, un *business angels* forestier ?

Jérôme Loutrel, administrateur de Forinvest

Une nouvelle association, Forinvest Business-Angels, *est créée à l'initiative de la Fédération Forestiers privés de France. Jérôme Loutrel, administrateur et président du comité de sélection de l'Association française des Forestiers-Investisseurs, présente les objectifs et les premiers investissements en 2011.*

***Pourquoi créer l'association Forinvest* Business Angels ?**

Jérôme Loutrel : C'est au départ une idée du Président Plauche-Gillon. Il s'est constamment montré préoccupé de la faiblesse des débouchés de la production forestière française.

***Qu'est ce qu'un* Business Angels ?**

C'est une personne physique :

• qui investit dans une entreprise, dont il croit au potentiel de développement,

• et qu'il souhaite éventuellement accompagner en lui apportant ses conseils et son carnet d'adresses.

Ce dernier point le différentie fondamentalement de l'investisseur « λ » dans un produit financier comme un FCPI[1] ou tout autre placement financier à risque : dans ce cas, l'investisseur confie à un gestionnaire le choix des entreprises et leur suivi.

Le *Business Angel* accorde donc beaucoup d'importance à la relation qu'il noue avec le(s) dirigeant(s). Il fonde son intime conviction tout autant sur la qualité du *business model* présenté, que sur sa perception de la qualité et la compétence des dirigeants pour le mener à bien.

Il est également très intéressant de pouvoir développer les échanges entre adhérents : ceux-ci se font jusqu'à présent essentiellement par mails. Avec le développement de l'association (nous serons assez rapidement une centaine de membres), il faudra disposer d'un site internet avec des accès sélectifs (les dossiers en cours d'instructions ouverts à tous les membres, ceux réalisés ouverts aux seuls actionnaires, …) et un espace de dialogue entre adhérents. Nous avons ainsi eu, il y a quelques mois, des échanges de grande qualité sur le bois énergie, … par mail.

Quel est l'objectif de Forinvest ? Dès le départ, est-ce spécifiquement forestier ?

Les objectifs de Forinvest sont :

• de sélectionner des entreprises françaises de la filière bois présentant un potentiel de développement intéressant,

• et concourant ainsi au développement des débouchés de nos forêts, quel que soit le niveau auquel cela se situe dans l'aval de la filière (1re, 2e ou 3e transformation), c'est à dire de la scierie à la fabrication de meubles ou les constructions bois, …

Il est amusant de signaler, qu'au cours de toutes les réunions de présentation tenues, il y a toujours un forestier pour poser la question de la provenance des bois, ce qui ouvre une discussion sur le sujet avec l'entrepreneur. À noter que SBM (*encadré p. 57*), notre 1er investissement, n'avait probablement pas forcément envisagé d'acheter du bois français, mais a essayé de le faire depuis que nous sommes dans le tour de table !

Il est vraisemblable que la présence d'interlocuteurs privilégiés, représentant ses collègues forestiers investisseurs auprès de l'entrepreneur, sera de nature à lui rappeler notre souci, notamment si, au départ, l'offre française n'est pas à même de répondre aux besoins de l'entreprise. Rêvons un peu… Pourquoi ne pas imaginer qu'au travers du réseau d'entreprises ainsi constitué, on puisse ultérieurement conseiller à d'autres entreprises des évolutions susceptibles de créer pour elles de nouveaux débouchés ?

Forinvest se limitera aux investissements dans l'aval de la filière forestière.

Notre investissement peut être :

• dans une création d'entreprise : c'est alors du capital risque pur,

• dans un projet de développement d'une entreprise existante : c'est alors du capital développement, et ce sera probablement le cas le plus fréquent,

• dans l'accompagnement d'un repreneur.

Quelle est la motivation des adhérents ? Quelle est la contrepartie du mécanisme fiscal ?

La motivation des adhérents peut être de deux natures :

• faire un placement financier rentable (… avec bien évidemment en contrepartie, le risque financier attaché à tout investissement de cette nature),

• concourir au développement de la filière, tout particulièrement dans la région où il exploite sa forêt.

Ces investissements (sous réserves de respecter diverses contraintes évolutives de forme[2]) ont bénéficié en 2011 des avantages fiscaux suivant :

• réduction d'ISF de 50 % du montant investi,

• réduction d'IR de 22 % du montant investi,

… avec des plafonds de déductibilité qui ont toute chance de continuer à subir des « coups de rabot » au fur et à mesure des lois de Finances à venir.

Les adhérents deviennent-ils actionnaires de l'entreprise ou est-ce Forinvest ?

Ce sont effectivement les adhérents, qui deviennent actionnaires directs de l'entreprise.

La relation entre l'entreprise et ses nouveaux actionnaires fait l'objet d'un pacte d'actionnaire définissant :

• des modalités d'entrée et de sortie éventuelle,

• le mode de transmission d'informations sur la marche de l'entreprise,

• la désignation de représentants des investisseurs, qui seront les interlocuteurs privilégiés du chef d'entreprise.

S'agissant d'entreprises en développement, les bénéfices seront le plus souvent mis en réserve pour financer ce développement.

La valorisation se fait habituellement sous forme de plus-value lors de la cession et non au travers du versement d'un dividende.

Mais il ne faut pas se cacher que le principal écueil est la difficulté à trouver la liquidité des actions au terme (souvent 7 ans). Une sortie en bourse sera rarissime ; le plus souvent ce sera un rachat par l'actionnaire de référence ou par la société elle-même.

On pourrait imaginer de créer ultérieurement une société d'investissement portant plusieurs projets, mais l'évolution des contraintes fiscales[2] n'est guère favorable à la création de telles structures.

Cette contrainte nouvelle pourrait bloquer certains dossiers, notamment ceux ou l'entrepreneur s'inquiète de voir entrer dans son capital, puis devoir gérer la relation avec un grand nombre de personnes physiques.

Forinvest B.A. *a-t-il vocation à intervenir seul ?*

Non, on peut s'associer :

• avec d'autres associations de *B.A.* intéressées par le développement durable (nous l'avons fait pour notre premier projet), ou en région pour des projets à forte connotation locale (nous travaillons un projet en ce sens en ce moment),

• avec des gestionnaires de patrimoines dont les clients recherchent des investissements dans le non coté : le matériau bois suscite actuellement de l'intérêt,

• avec des fonds interprofessionnels de la branche agricole, la CDC,…

• et pourquoi pas le Fonds Bois et le Fonds Scierie ?

C'est intéressant de savoir que des relais sont possibles.

Comment recherchez-vous les entreprises ?

L'existence de Forinvest *B.A.* a été assez vite connue, notamment au travers d'un article dans le Bois International. Par ailleurs, les administrateurs et le secrétaire général présentent Forinvest *B.A.*, au cours des nombreuses réunions professionnelles auxquelles ils participent. Enfin, les réseaux de *B.A.* et les professionnels de la levée de fonds pour les entreprises commencent à nous connaître.

Les dossiers nous arrivent plutôt spontanément.

Quels sont les critères de sélection des entreprises : françaises, valorisant du bois français, une certification PEFC ?

La viabilité financière du projet est le critère principal de choix.

Nous procédons donc à une analyse approfondie du *business plan*, notamment les aspects produits/marchés et la vraisemblance des données économiques exposées. Nous allons rechercher, si nécessaire, une expertise externe.

Si le dossier est retenu en comité de sélection, tous ces éléments sont transmis à nos adhérents préalablement à leur présentation par le chef d'entreprise en réunion plénière. Le choix d'investir n'appartient pas à Forinvest *B.A.* mais à chaque adhérent, qui décide seul en son âme et conscience.

50 dossiers ont été déposés. Une dizaine n'était pas suffisamment implanté dans la filière forêt-bois française et donc ont été écartés d'emblée. Une quinzaine dans la filière mais plutôt sur des activités annexes telles que la communication, la distribution, l'artisanat, le papier… la quinzaine restante concernait des projets dans la cible de Forinvest *B.A.* mais qui après une première analyse du concept, du marché et du positionnement de l'entreprise n'ont pas été retenus car non convaincants. Au final, 10 dossiers sur 50 ont été retenus. Une fois le projet retenu, il faut qu'un animateur membre du comité de sélection instruise le dossier. Cette instruction est réalisée en duo entre un animateur principal et un co-animateur, en contact étroit avec le secrétaire général.

Sur les 10 retenus, 3 projets ont été financés et 2 sont encore en cours d'instruction. L'instruction des projets est longue et approfondie avec les chefs d'entreprises. En moyenne, elle dure 4 mois, avec une dizaine de réunions et de très nombreux échanges par courriel ou téléphonique. Il y a au moins 2 visites de l'entreprise, tous les responsables sont rencontrés, comptable et avocat également.

La première partie de l'instruction

consiste à bien comprendre le projet, le fonctionnement et le métier de l'entreprise, son modèle économique, son positionnement sur le marché et ses perspectives de développement. Une fois cette phase validée, les instructeurs entrent dans le détail de l'analyse financière de l'entreprise qui peut être plus ou moins longue selon la structure financière, la taille, la situation du moment…

Quelles sont les avantages et/ ou limites des projets retenus et ceux non retenus ?

Trois projets ont été retenus en 2011 :

- S.B.M.,
- Bellême Bois,
- Biosyl.

Ces projets ont en commun qu'ils développent l'usage de bois français jusqu'à présent mal valorisé : les résineux non élagués par S.B.M. (et peut-être demain les feuillus de qualité moyenne), les bois de taillis et résineux en manque de débouchés par Biosyl et les robiniers et châtaigniers de petites sections par Bellême Bois.

Avec l'investissement financier, quel est l'investissement en compétence pour Forinvest* B.A. *?

Nous cherchons à trouver parmi nos adhérents intéressés, le(s) profil(s) le(s) plus complémentaire(s) et utile(s) au chef d'entreprise, compte-tenu de l'expérience professionnelle acquise par nos adhérents. Nous constatons que tous nous communiquent spontanément ces informations. Nous constituons un panel exceptionnel d'une grande diversité de compétences, et sur chaque dossier, il ya toujours un ou plusieurs membres qui remontent une ou plusieurs informations intéressantes.

L'investissement temps est considérable, notamment pour Éric Toppan, adjoint au directeur général de la Fédération pour les affaires économiques et secrétaire général de Forinvest *B.A.*, et également pour les membres de notre Comité de Sélection.

Que vous apporte l'appui du ministère ou de la fédération des* B.A. *?

Le ministère a salué notre initiative par le versement d'une subvention dont nous sollicitons le renouvellement pour 2012, eu égard aux résultats obtenus en 2011. La fédération des *B.A.* nous apporte sa « boite à outils » et son expérience. Nous sommes devenus en un an, **un des 10 premiers réseaux de *B.A.*** par le nombre d'adhérents. Notre expérience de création d'un réseau de filière intéresse par son caractère innovant.

Et demain, quels sont les projets futurs ?

Ce sera de se doter des moyens de bien fonctionner : recrutement d'un assistant, création d'un site internet à usage interne et externe. Il y aura aussi la poursuite de l'élargissement de nos

SBM constructeur d'immeubles d'habitations et de bureaux en bois :

Système Bois Massif, spécialiste de la construction de bâtiments collectifs en bois massif, réussit une levée de fonds de 520 000 € accompagné par Forinvest *B.A.* pour développer une offre innovante de construction bois.

SBM propose une alternative « compétitive » par rapport à la construction de programmes immobiliers urbains classiques, en réalisant des immeubles en bois à basse consommation d'énergie.

Grâce à un nouveau système constructif développé en Allemagne, le MHM, le bois peut s'introduire dans un marché réservé jusque là au béton : le bâtiment de grande hauteur, jusqu'à 8 niveaux.

Pour assurer le développement de cette nouvelle offre, SBM préfabrique en usine les panneaux (murs et planchers) incluant les portes et fenêtres, l'isolation par l'extérieur, les revêtements extérieurs (bardages en bois, plaques en fibres végétales, enduits…) ainsi que les réservations techniques (électricité, plomberie…). L'ensemble est directement monté sur le chantier très rapidement, le travail est alors principalement de l'assemblage.

La levée de fonds aura permis à SBM d'implanter son usine de préfabrication en Lorraine, à Commercy dès décembre 2011 et de recruter environ 5 personnes.

En 2011, SBM, PME localisée à Paris, a déjà réalisé près de 2 millions d'euros de CA et emploie 12 personnes, plus une dizaine d'intérimaires. En 2013, l'usine de Commercy emploiera environ 20 personnes en plus.

Forinvest *B.A.* aura apporté plus de 360 000 € à SBM, avec un co-investissement de 160 000 € par le réseau XMP *Business Angels*, réseau des anciens élèves des grandes écoles d'ingénieurs.

partenariats, pour pouvoir traiter davantage de dossiers et lever, le cas échéant, plus de fonds.

Y a-t-il d'autres retombées du projet Forinvest B.A. pour notre profession ?

L'instruction des dossiers nous met en relation continue avec un grand nombre d'acteurs de la filière. Les projets menés à terme peuvent contribuer à donner une image plus entrepreneuriale de notre profession, et probablement devenir un élément constitutif d'un esprit de filière qu'il nous faut impérativement développer. Enfin, Forinvest *B.A.* positionne les forestiers au cœur de la filière, producteur et fournisseur de matière bien entendu, mais aussi accompagnateur investisseur. ■

(1) Fonds Commun de Placement dans l'Innovation.

(2) Telle par exemple, le fait qu'ils se fassent notamment sous la forme d'une participation à une augmentation de capital d'une entreprise employant au moins 2 salariés.

Biosyl, usine de fabrication de granulés à partir de rondins

L'objectif de Biosyl, nouvelle société, est de développer et d'assurer le suivi de la construction et de la gestion d'unités de production de granulés de bois.

La première unité est construite en partenariat avec la coopérative forestière Unisylva et ses coopérateurs. Elle produira plus de 100 000 tonnes de granulés par an, essentiellement à partir de feuillus et de résineux. Biosyl, situé au cœur des gisements forestiers d'Unisylva, sera gérée sur la base d'un partenariat avec la coopérative (contrat d'approvisionnement long-terme et prise de participation capitalistique).

Cette unité de production sera la première en France, à granuler d'un mix feuillu-résineux à grande échelle (le processus existe déjà aux États-Unis et dans d'autres pays d'Europe). Le lancement de Biosyl devrait permettre la création d'au moins 28 emplois dans la zone choisie auxquels il convient d'ajouter les emplois indirects (bûcherons, débardeurs, chauffeurs routiers assurant les transports).

La construction de l'unité a commencé fin 2011 avec un objectif de mise en route pour mars 2013 (production à 70 % des capacités de l'unité) et atteindra son rythme de croisière en janvier 2015 (100 %).

En France, l'activité de granulation a surtout été développée en complément de l'activité de scieries et s'effectue de manière quasi-exclusive à base de sciures de bois résineux sur lesquelles on observe des tensions.

La ressource utilisée par Biosyl (rondins de bois) est moins coûteuse et moins volatile que les connexes de scierie car moins soumise à concurrence. L'écart de prix entre la ressource connexe et les rondins est attendu à la hausse avec l'essor du bois énergie.

Chiffre d'affaires prévisionnel dès 2014 : environ 12 millions d'euros. L'investissement représente 14,5 millions € dont environ 10 millions d'euros en machines. Forinvest *B.A.* a investi environ 120 000 € dans le projet.

Bellême Bois, spécialiste du bois naturel non traité

L'emploi de produit en bois ronds naturel afin d'offrir une alternative écologique à l'emploi des produits traités chimiquement.

BB assure elle même 100 % de ses achats en matières premières, ce qui lui permet d'en assurer parfaitement la qualité, la provenance et la traçabilité. Le site de production principal se situe à Montagne au Perche dans l'Orne, le site de distribution à St Martin du Vieux Bellême.

Issus de la 3e génération des scieurs de bois, les frères Chalmandrier ont intégré toute la filière en partant de l'abattage du bois dans les forêts de Normandie et de la région parisienne, puis de l'exploitation forestière, du sciage, du séchage, du rabotage pour fournir des produits prêts à l'emploi. Depuis l'arbre sur pied, ils réalisent toutes pièces de bois nécessaires à tous projets. Le concept proposé, « Percheronde », consiste à réaliser des poteaux ronds fraisés, chanfreinés, en bois durs (châtaigniers, robiniers), locaux (Ouest de la France), naturellement durable.

Le but est de répondre à la demande des clients nombreux qui cherchent des produits en bois pour l'extérieur, simples et naturels avec une durée de vie et un prix achat sensiblement équivalents aux produits traités : les aménagements extérieurs (clôtures, bornes, retenues de terre), jeux et loisirs, glissières de sécurité, tuteurs et poteaux, et les marchés occupés par des résineux traités chimiquement à base de sel de cuivre, créosotés. L'investissement de 180 000 € a permis la mise en place d'une ligne de fabrication entièrement automatisée et de développer le réseau de distribution.

Vers de nouveaux critères de sélection pour la populiculture dans un contexte de climat changeant

Franck Brignolas*, Éric Paillassa**, R. Fichot***

La gestion raisonnée de la ressource en eau et les modifications climatiques en cours incitent la recherche à identifier de nouveaux critères de sélection pour la populiculture de demain.

À LIRE SUR LE WEB www.peupliersdefrance.org

Le peuplier est une essence forestière à croissance rapide mais consommatrice en eau ; la productivité des peupleraies est donc étroitement liée aux conditions hydriques des stations dédiées à leur culture. À l'heure actuelle, plus de 90 % des cultivars sont plantés sur des terrains bien alimentés en eau. De ce fait, leur sélection n'a porté jusqu'à présent que sur des critères relatifs à leur niveau de tolérance à certains agents pathogènes tels que les rouilles foliaires, à leur performance de croissance ou encore à leur architecture.

Le contexte actuel de changement climatique et de gestion raisonnée de la ressource en eau incite la recherche à identifier de nouveaux critères de sélection afin de disposer dans le futur de cultivars répondant à la fois aux exigences environnementales et aux exigences des propriétaires forestiers. Des caractères comme l'efficience d'utilisation de l'eau, la tolérance à des sécheresses modérées ainsi que la capacité de survie à des sécheresses plus drastiques pourraient notamment s'avérer pertinents.

Figure 1 : l'efficience d'utilisation de l'eau mesurée à l'échelle de la feuille

© INRA

Efficience d'utilisation de l'eau

La disponibilité en eau des zones dédiées à la populiculture peut être variable et dépend notamment des caractéristiques édaphiques(1) et climatiques des stations. De la même façon que les cultivars n'ont pas tous le même niveau de productivité, ils n'utilisent pas tous la même quantité d'eau pour produire une même quantité de biomasse. Le rapport entre la biomasse produite et l'eau consommée pendant le même laps de temps définit la notion d'efficience d'utilisation de l'eau (W) à l'échelle de la plante entière. La prise en compte de la variabilité existante entre cultivars pour l'efficience d'utilisation de l'eau permettrait de choisir les cultivars en fonction des exigences stationnelles. Mais quand on travaille à partir d'arbres, il n'est pas simple de mesurer précisément la biomasse totale produite et l'eau consommée par la plante au cours de ses 20 années de croissance. Alors comment estimer cette efficience ?

Pour estimer ce caractère nous disposons de plusieurs méthodes. L'une d'entre-elles s'appuie sur le fait que la

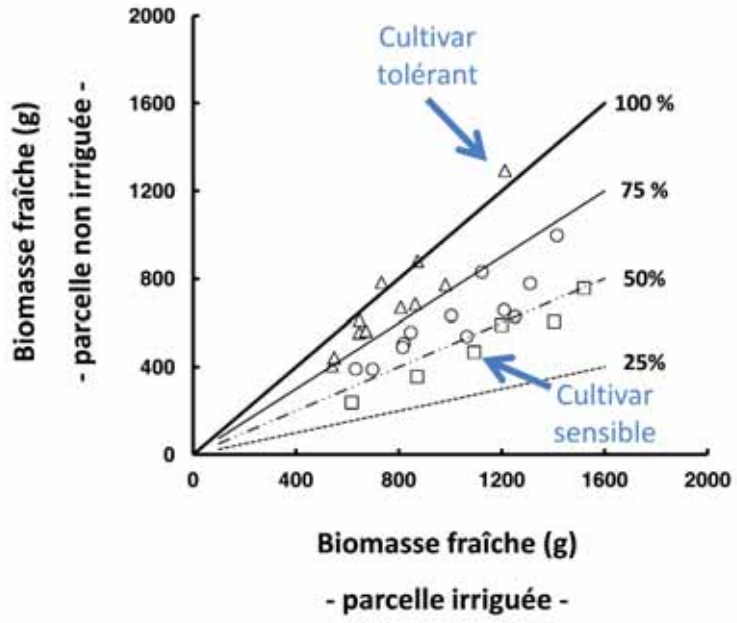
surface des feuilles est percée de petits orifices appelés stomates (*Figure 1, p.59*). Ces derniers sont le siège des flux entrants de CO_2 atmosphérique et des flux sortants de vapeur d'eau (H_2O). Or, tout le carbone de la matière organique des plantes provient du CO_2 de l'air et plus de 99 % de l'eau absorbée par la plante est réémise dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Ainsi, en mesurant le rapport entre les flux entrants de CO_2 et les flux sortants de vapeur d'eau, nous avons accès à une estimation directe et instantanée de l'efficience d'utilisation de l'eau à l'échelle de la feuille.

Des travaux réalisés en serre, en pépinière et en peupleraie à partir des principaux hybrides de peupliers euraméricains (*Populus deltoides x Populus nigra,* syn. *P. x canadensis*) commercialisés en Europe ont montré qu'il existait des différences supérieures à 40 % en terme d'efficience d'utilisation de l'eau entre cultivars extrêmes ; ces écarts s'exprimaient quels que soient l'âge des arbres et les conditions de culture, et s'expliquaient par des différences de consommation en eau plutôt que par des différences de production de biomasse. Par ailleurs, parmi le panel de cultivars testés jusqu'à présent, aucune relation n'a pu être mise en évidence entre efficience d'utilisation de l'eau et production de biomasse, ce qui nous laisse l'espoir de pouvoir à terme sélectionner des cultivars à la fois productifs et efficients.

Tolérance à des sécheresses modérées

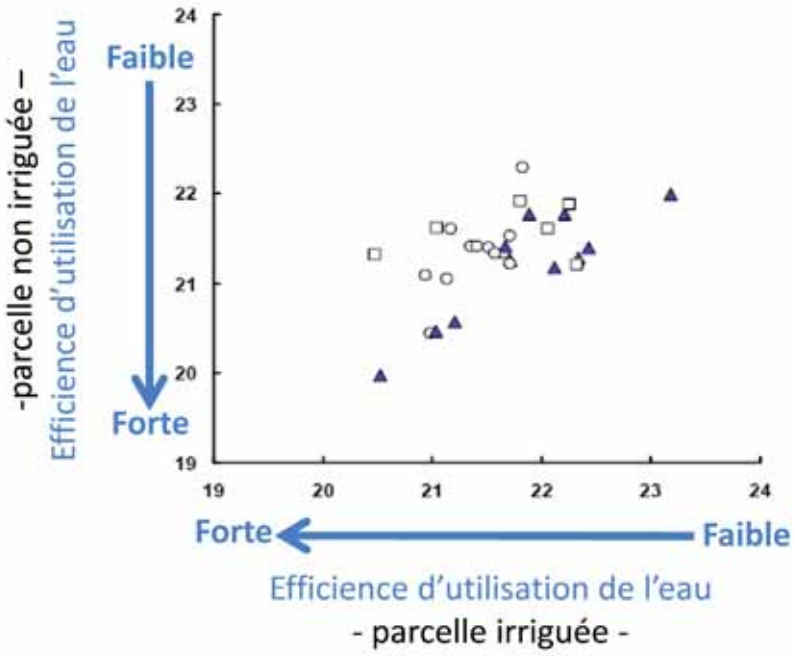
Les modifications climatiques prévues pour ce siècle devraient se traduire par une augmentation de la fréquence d'évènements extrêmes, notamment des étés plus secs et/ou plus chauds comparables à ceux observés en 2003 et 2005. Ces changements pourraient

Figure 2 : impact d'une sécheresse d'intensité modérée sur la production de biomasse de 29 cultivars hybrides euraméricains (Monclus et *al.*, 2006).



Les cultivars les plus tolérants sont indiqués par des triangles, les plus sensibles par des carrés et ceux intermédiaires par des cercles. (Unité gramme)

Figure 3 : relation entre efficience d'utilisation de l'eau et tolérance à la sécheresse chez les hybrides *P. euramericana* (Monclus et *al.*, 2006).



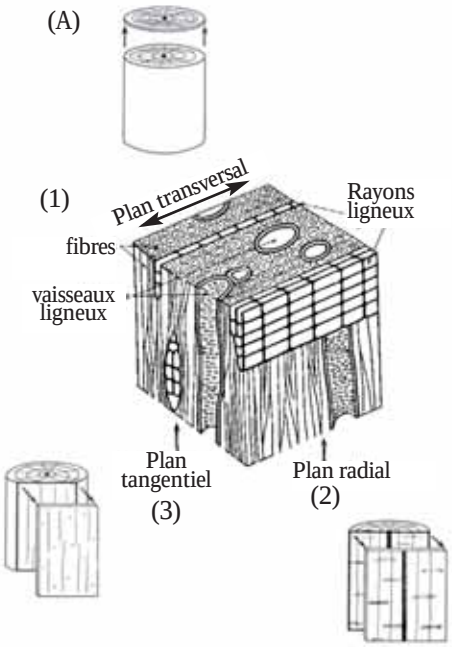
Chaque point représente le niveau d'efficience d'un cultivar, en unités relatives, mesuré sur les parcelles irriguées et non irriguées. Les cultivars représentés par des triangles bleus sont ceux qui subissent une faible chute de production de biomasse (inférieure à 25 %) en réponse à une sécheresse modérée (= cultivars tolérants de la Fig. 2).
Les carrés représentent les cultivars qui subissent une forte chute de production (supérieure à 50 % = cultivars sensibles) et les cercles correspondent aux cultivars intermédiaires.

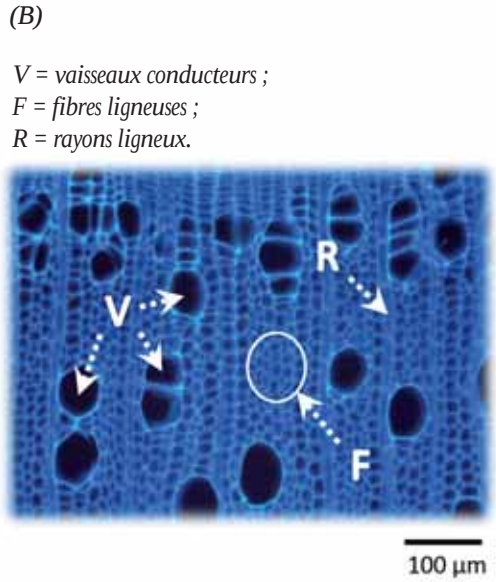
induire une chute substantielle de la production de bois et concerner particulièrement les essences à moyennes révolutions telles que les peupliers. Sachant que parmi les arbres des régions tempérées les peupliers sont les plus sensibles à la contrainte hydrique, la sélection de cultivars capables de maintenir au mieux leur croissance lors d'épisodes de sécheresses modérés (c'est-à-dire des cultivars tolérants à la sécheresse) pourrait s'avérer être une stratégie de choix.

Les premiers résultats ont été obtenus à partir de plançons d'hybrides euraméricains installés en pépinière. Ils ont révélé qu'en cas de contrainte hydrique modérée, les cultivars n'adoptent pas tous le même comportement. La *figure 2, p.60* montre en particulier qu'ils ne subissent pas tous la même chute de production de biomasse. Certains cultivars ne subissent aucune chute, ils sont dits tolérants (triangles) ; d'autres au contraire voient leur production de biomasse chuter de plus de 50 %, ils sont alors qualifiés de sensibles (carrés). Il est remarquable de constater que les cultivars les plus productifs en conditions irriguées ne sont pas forcément ceux qui subissent la plus forte chute de production de biomasse en conditions non irriguées ; en d'autres termes, il semble aujourd'hui possible de sélectionner des cultivars qui soient à la fois productifs et tolérants à des sécheresses modérées.

Le lien entre efficience d'utilisation de l'eau et tolérance à des sécheresses modérées a par ailleurs été étudié. La *figure 3, p. 60* représente le niveau d'efficience d'utilisation de l'eau de chaque cultivar en conditions bien irriguée et non-irriguée. Le niveau de tolérance à la sécheresse est illustré par un symbole différent ; à titre d'exemple, les cultivars les plus tolérants sont représentés par des triangles bleus. Cette figure montre qu'il existe des cultivars tolérants sur toute la gamme d'efficience d'utilisation de l'eau ; il n'existe donc pas de lien direct entre tolérance à la sécheresse et efficience d'utilisation de l'eau. En conclusion, il paraît aujourd'hui possible de sélectionner des cultivars qui soient à la fois efficients et tolérants à des sécheresses modérées, et ce parmi les variétés les plus productives.

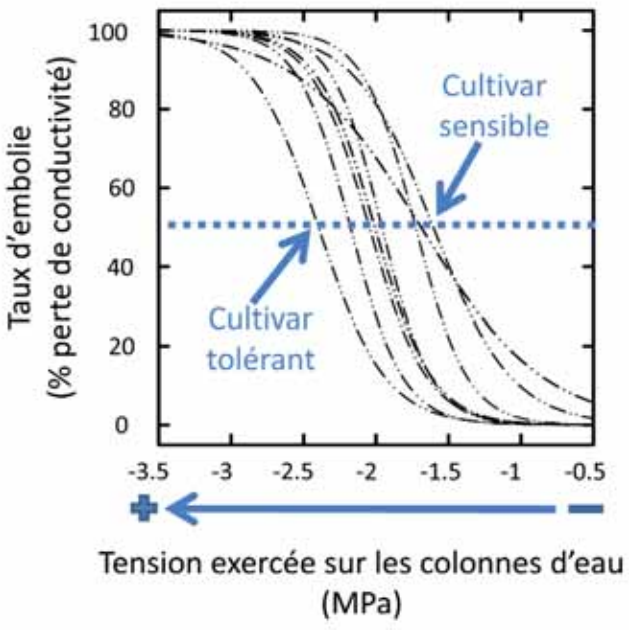
Figure 4 : (A) représentation schématique de l'appareil vasculaire d'un arbre feuillu selon ses trois plans de coupe. (B) illustration de l'appareil vasculaire du peuplier (cultivar hybride euraméricain) observé dans le plan transversal en microscopie optique (autofluorescence).





1 - le plan transversal (perpendiculaire à l'axe de l'organe),
2 - le plan radial (plan longitudinal passant par l'axe de l'organe)
3 - le plan tangentiel (plan longitudinal ne passant pas par l'axe de l'organe).
L'appareil vasculaire est en réalité un complexe tissulaire constitué d'un ensemble de cellules ayant des rôles différents : les vaisseaux conducteurs (ou vaisseaux ligneux) spécialisés dans la conduction de l'eau et pouvant être apparentés à de gros tuyaux, les fibres ligneuses de plus petite taille et spécialisées dans le soutien mécanique, et enfin les cellules des rayons ligneux impliquées dans le transfert des substances nutritives de cellules à cellules. À noter que vaisseaux et fibres sont des cellules mortes alors que les cellules de rayons ligneux sont vivantes. La cavitation correspond à l'apparition de bulles d'air dans les vaisseaux conducteurs suite à de trop fortes tensions comme lors de sécheresses intenses ; ce phénomène entraîne alors une embolie gazeuse et l'arrêt de la circulation de l'eau.

Figure 5 : courbes de vulnérabilité à la cavitation établies pour huit cultivars de peupliers euraméricains plantés en pépinière en condition hydrique optimale.



Les courbes de vulnérabilité à la cavitation représentent l'évolution du taux d'embolie estimé par le pourcentage de perte de conductivité en fonction de la tension (= pression négative) exercée sur les colonnes d'eau au sein de l'appareil vasculaire. Elles permettent d'évaluer la résistance à l'embolie estivale. Afin de comparer la résistance entre cultivars, on utilise généralement la valeur de tension entraînant 50 % d'embolie (cf. ligne pointillée bleue) : plus les cultivars présentent une valeur négative pour ce paramètre (courbes décalées vers la gauche) plus ils sont résistants à l'embolie. Ainsi, parmi les huit cultivars testés, une différence de l'ordre de 0,8 MPa a pu être mise en évidence entre les deux extrêmes. Voir le texte pour plus de détails.

Sécheresses drastiques et résistance à l'embolie estivale

Dans un contexte de sécheresses drastiques (même très ponctuelles), tous les cultivars cessent de croître ; les critères de sélection s'appuyant sur des caractères liés à l'efficience d'utilisation de l'eau ou à la tolérance à des sécheresses modérées ne s'avèrent alors plus pertinents. La prise en compte d'autres critères liés à la capacité de survie pourraient en revanche s'avérer judicieux, notamment ceux permettant le maintien de l'intégrité des flux d'eau depuis les racines jusqu'aux feuilles. À ce titre, la résistance à l'embolie estivale pourrait être un caractère clé. Bien comprendre l'importance de ce caractère nécessite néanmoins une brève description des processus physiques à l'origine de l'ascension de l'eau dans l'arbre ainsi que des voies empruntées.

Le sol, la plante et l'atmosphère forment un *continuum* dans lequel l'eau circule sous forme liquide du sol vers les feuilles, puis sous forme de vapeur des feuilles vers l'atmosphère. L'énergie lumineuse reçue par les feuilles permet la vaporisation de l'eau ; ce changement d'état de l'eau permet l'ascension de l'eau liquide dans la plante entière. L'eau est ainsi littéralement « tirée » vers le haut à partir des feuilles et cette « tension » se transmet alors à l'ensemble des colonnes d'eau dans la plante du fait de la très forte cohésion des molécules d'eau ; l'eau est donc « tirée » vers le haut sous l'effet de la transpiration des feuilles.

Sur la quasi-totalité de son trajet dans l'arbre (notamment dans le tronc), l'eau circule au sein d'un véritable réseau d'irrigation : l'appareil vasculaire (*Figure 4, p. 61*). Cet appareil est constitué de cellules mortes spécialisées comparables à des tuyaux rigides ; chez les arbres feuillus comme chez le peuplier, ces cellules responsables de la conduction prennent le nom de vaisseaux conducteurs. En résumé, l'arbre peut être apparenté à un système de canalisations dans lequel l'eau circule la plupart du temps sous tension, c'est-à-dire sous pression négative. Mais cet état de tension, s'il devient trop important par exemple l'été lors de sécheresses drastiques, peut causer des phénomènes de cavitation, c'est-à-dire entraîner l'apparition de poches de gaz conduisant à une embolie et à la rupture des colonnes d'eau. Si le phénomène se produit à grande échelle dans l'arbre, la capacité à alimenter en eau les feuilles et les parties en croissance peut alors être altérée et même menacer à terme la survie de l'arbre.

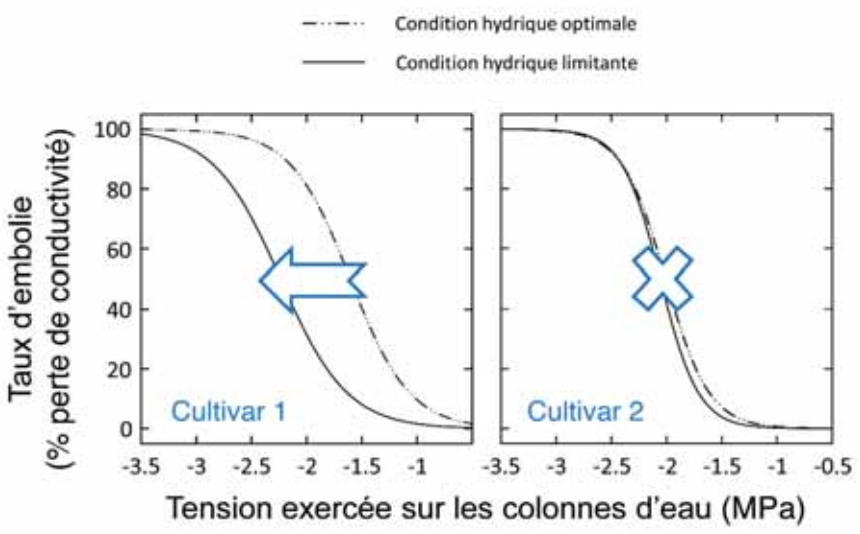
Le taux d'embolie est mesuré par la perte relative de conductivité des rameaux de l'arbre, c'est-à-dire la perte relative de la capacité à conduire la sève. La résistance à l'embolie est estimée au travers de « courbes de vulnérabilité à la cavitation », ces dernières représentant l'évolution du taux d'embolie en fonction de l'intensité de la tension au sein de l'appareil vasculaire (*figure 5*) ; plus l'embolie intervient à de fortes tensions (valeurs plus négatives, courbes décalées vers la gauche), plus l'individu ou l'espèce en question est résistant. On dispose aujourd'hui de telles courbes de vulnérabilité pour des dizaines d'essences forestières, et les peupliers figurent aux côtés des saules parmi les moins

résistantes avec des seuils de cavitation [2] compris entre -0,5 et -2 MPa [3]. À titre de comparaison, certains chênes méditerranéens sont deux fois plus résistants et certains conifères peuvent posséder des valeurs seuils au-delà de -10 MPa !

Bien que les peupliers soient extrêmement sensibles à l'embolie estivale de façon générale, ce n'est que très récemment que l'on a mis en évidence qu'il existait des différences non négligeables entre cultivars. Ainsi, des travaux réalisés sur huit cultivars hybrides euraméricains plantés en pépinière en condition hydrique optimale ont montré des différences de l'ordre de 0,8 MPa pour le seuil de cavitation entre les deux cultivars extrêmes (*figure 5, p.62*) (Fichot et *al.*, 2010). Ces mêmes travaux, cette fois-ci réalisés en condition hydrique limitante, ont également montré que les cultivars sont capables à moyen terme d'augmenter leur résistance à l'embolie estivale, c'est-à-dire de s'ajuster aux conditions environnementales. Cette capacité d'ajustement dépend toutefois largement du cultivar : ainsi certains deviennent plus résistants et voient leur seuil de cavitation s'abaisser de 0,7 MPa alors que d'autres ne répondent pas de façon significative (*figure 6*).

Enfin, les résultats ont indiqué qu'une résistance à l'embolie plus grande n'est pas nécessairement associée à une productivité plus faible. Ces premiers travaux exploratoires nécessitent bien sûr d'être étendus à un panel plus large de cultivars. La variabilité génétique existante pour la résistance à l'embolie estivale, de même que la capacité d'acclimatation des cultivars, pourraient être à terme exploités dans les programmes de sélection afin de dégager des cultivars susceptibles de mieux résister en cas de sécheresse sévère.

Figure 6 : exemple d'ajustement de la vulnérabilité à la cavitation aux conditions environnementales chez les hybrides euraméricains. La figure représente les courbes de vulnérabilité à la cavitation (voir fig. 5 pour une description des courbes) obtenues à la fois en conditions hydriques optimale et limitante pour deux cultivars contrastés.



Dans le cas du cultivar 1, les arbres ayant poussé en condition hydrique limitante sont clairement plus résistants que ceux ayant poussé en condition optimale : ce cultivar est qualifié de plastique du fait de sa capacité d'ajustement. À l'opposé, dans le cas du cultivar 2, la modification des conditions hydriques ne semble pas influer sur le niveau de résistance à l'embolie estivale.

Conclusions et perspectives de recherche

La disponibilité en eau des stations est l'un des déterminants majeurs de la productivité des peupleraies. Sachant que les peupliers sont les arbres des régions tempérées les plus sensibles au manque d'eau, il est aujourd'hui nécessaire d'intégrer de nouveaux critères de sélection afin de pallier à temps l'effet des modifications climatiques en cours. Dans une perspective de gestion raisonnée de la ressource en eau, le choix de travailler sur le critère « efficience d'utilisation de l'eau » s'est avéré pertinent. Il faut retenir aujourd'hui que tous les cultivars ne consomment pas la même quantité d'eau pour produire la même quantité de biomasse ; l'ajustement des cultivars à planter en fonction de la disponibilité en eau des stations semble donc possible et ce, sans diminuer la productivité. Des études sont actuellement en cours pour juger de la stabilité des différences entre cultivars en fonction de l'âge, du mode de culture et des conditions pédoclimatiques des stations.

Les effets de la sécheresse sur la physiologie des arbres sont complexes, multiples et dépendent essentiellement de l'intensité et de la durée de la contrainte. La pertinence des critères de sélection est par conséquent étroitement liée à cet aspect. Dans un contexte de sécheresse modérée, le choix de travailler sur le critère « tolérance à la sécheresse » s'est avéré pertinent. Il faut retenir aujourd'hui que tous les cultivars ne subissent pas la même chute de production de biomasse en réponse à une diminution modérée de disponibilité en eau du sol. De surcroît, les cultivars les plus productifs ne sont pas forcément les

plus sensibles. Il apparaît donc possible aujourd'hui de sélectionner des cultivars qui soient à la fois productifs et tolérants à des sécheresses modérées. En cas de sécheresses plus intenses, l'étude de la capacité des cultivars à résister à l'embolie estivale devient pertinente dans le but de dégager ceux les plus aptes à survivre sous de telles conditions. Les études concernant la variabilité entre cultivars de ce critère n'ont été développées que récemment. Des études sont actuellement en cours pour démontrer la relation de cause à effet entre résistance à la cavitation et survie. ■

** Franck Brignolas, Université d'Orléans, UFR-Faculté des Sciences, UPRES EA 1207 Laboratoire de Biologie des Ligneux et des Grandes Cultures (LBLGC), BP 6759, 45067 Orléans ; franck.brignolas@univ-orleans.fr et Inra, USC1328 Arbres et Réponses aux Contraintes Hydriques et Environnementales (ARCHE), BP 6759, 45067 Orléans, France.*
*** Éric Paillassa, CNPF – IDF, service expérimentations, 6 parvis des Chartrons, 33075 Bordeaux.*
**** R. Fichot, Université d'Anvers, Département de Biologie, Groupe de Recherche en Ecologie Végétale (PLECO), Campus Drie Eiken, Universiteitsplein 1, 2610 Wilrijk, Belgique*

1) Relatif au sol.
2) La cavitation décrit la naissance de bulles de vapeur, sans augmentation de température, dans un liquide placé sous tension.
3) mégapascal (MPa) : 1 MPa = 10 puissance 6 Pa = 10 bar. Le pascal (symbole : Pa) est l'unité de pression.

Bibliographie

■ **R. Fichot, T.S. Barigah, S. Chamaillard, D. Le Thiec, F. Laurans, H. Cochard, F. Brignolas, 2010**. *Common trade-offs between xylem resistance to cavitation and other physiological traits do not hold among unrelated* Populus deltoides *x* P. nigra *hybrids*. Plant, Cell and Environment 33, 1553-1568.

■ **Monclus R, Dreyer E, Villar M, Delmotte F, Delay D, Petit J-M, Barbaroux C, Le Thiec D, Brechet C, Brignolas F. 2006**. *Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of* Populus deltoides *x* Populus nigra. New Phytologist 169:765-777.

Remerciements

Ces travaux sont développés depuis une quinzaine d'années par le Laboratoire de Biologie des Ligneux et des Grandes Cultures de l'Université d'Orléans. Nous remercions ici nos principaux collaborateurs et notamment différentes unités Inra du département Écologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques ainsi que le laboratoire PLECO de l'Université d'Anvers. Nos laboratoires ont toujours souhaité être proches de la filière, c'est pourquoi nous tenons particulièrement à remercier le FCBA et l'IDF pour leur collaboration. Enfin, plusieurs des études présentées dans cet article ont été menées en peupleraies privées notamment sur le site de Bariteau, propriété de Monsieur Dominique Meese, à qui nous rendons un sincère hommage et dédions cet article.

Résumé

Le contexte de changement de climat incite la recherche à identifier de nouveaux critères de sélection pour la populiculture de demain. L'efficience d'utilisation de l'eau, la capacité à maintenir une croissance en cas de sécheresse modérée et la résistance à la cavitation sont des caractères très variables entre cultivars et indépendants de leur niveau de productivité. Ils pourraient donc être utilisés pour la sélection de cultivars capables de mieux résister à la sécheresse.

Mots-clés : changement climatique, disponibilité en eau, peuplier, efficience d'utilisation de l'eau, tolérance à la sécheresse, résistance à la cavitation.

À lire sur le site www.peupliersdefrance.org