

Institut pour
le développement forestier
Service d'utilité forestière
du Centre national professionnel
de la propriété forestière
23, av. Bosquet, 75007 Paris
Tél. 01 40 62 22 80

Directeur de la publication
Roland Martin
Directeur de la rédaction
Thomas Formery

Rédacteur
Samuel Six

Conception graphique
Jean-Éric Ridonat (High'com)

Maquette mise en page
Cartes et graphiques
Sophie Saint-Jore

Responsable Édition-Diffusion
Pascale Maurin

Diffusion - abonnements
François Kuczynski

Publicité
Helium Régie

22, rue Drouot - 75009 Paris
Tél. 01 48 01 86 86
Fax 01 48 01 86 82

Impression et routage
Centre Impression
BP 218 - 87220 Feytiat
Tél. 05 55 71 39 29

Numéro d'imprimeur 00090

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

Périodicité : 6 numéros par an
Abonnement 2006
France : 46 € étranger : 60 €
édité par le CNPPF

Commission paritaire des
publications et agences de
presse : n° 1008 G 84132
ISSN : 0752-5974
Siret : 180 092 355 00015

Les études présentées dans Forêt-
entreprise ne donnent que des indi-
cations générales. Nous attirons
l'attention du lecteur sur la nécessi-
té d'un avis ou d'une étude éma-
nant d'une personne ou d'un orga-
nisme compétent avant toute appli-
cation à son cas particulier. En
aucun cas l'IDF ne pourrait être tenu
responsable des conséquences -
quelles qu'elles soient - résultant de
l'utilisation des méthodes ou maté-
riels préconisés.

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

Dépôt légal : Novembre 2006

foretpriveefrancoise.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'

sommaire

2

agenda

3

éditorial

4

actualité

6

parutions

7

cetef

*Les 20 ans du GDF
Monts-et-Barrages...*

A. de Gournay
M. Defaye

Photo de couverture :
Fosse pédologique dans un
podzosol humique - tirée du
nouvel ouvrage « Les Racines,
face cachée des arbres », IDF.

Ch. Drénou

40

filière bois

*Coup d'envoi des chartes
régionales bois-construction
en Limousin*

S. Six

11

dossier

*Le sol forestier,
cet inconnu*

42

groupe de travail

*Groupe de travail châtaignier :
des perspectives encourage-
antes dans le diagnostic de
la roulure*

R. Lempire

44

populiculture

*Le puceron lanigère, un nou-
veau ravageur des peupliers en
France ?*

O. Baubet

48

recherche

*Valorisation du bois par sa
chimie : applications antiques,
présentes et futures*

T. Stevanovic

53

économie

*Il est urgent de rajeunir la forêt
feuillue privée*

M. Hubert

59

qualité du bois

*Douglas français et classement
du bois*

J.-D. Lanvin, R. Chatelu,
J. Godard, D. Reuling,
J.-L. Ferron

Forum Forinstal

La seconde édition du Forum Forinstal se tiendra le 8 et 9 novembre 2006 au Parc des expositions d'Angers ; Il rassemble les filières et entreprises du végétal spécialisé et s'adresse à tous les professionnels et futurs professionnels intéressés par la création, la reprise, le développement et la transmission d'entreprises dans ce secteur.

Renseignements au BHR, BP 10 140, 49001 Angers Cedex 01, tél. : 02 41 66 01 07, fax : 02 41 79 29 00, courriel : forinstal@bhr-vegetal.com

Réunions organisées par le CRPF Champagne-Ardenne

Le vendredi 17 novembre, le CRPF de Champagne-Ardenne organise pour les sylviculteurs de Champagne-Ardenne, une réunion d'information sur la gestion des peuplements feuillus en forêt de la montagne de Reims. La journée du 8 décembre sera quant à elle, consacrée à la gestion des taillis (balivage et éclaircie, intérêt du cloisonnement) au Canton de Dormans.

Renseignements et inscriptions au 03 26 65 18 25, fax : 03 26 65 47 30, courriel : champagneardenne@crpf.fr

Les maladies des plantes

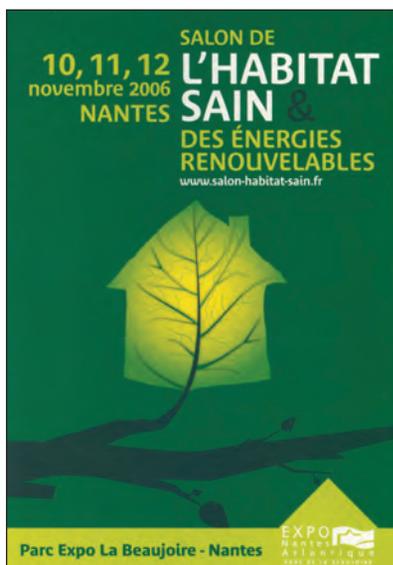
L'Association française de protection des plantes organise la 8^e conférence internationale sur les maladies des plantes le 5 et 6 décembre 2006 à Tours, au Centre international de congrès Vinci. Cette conférence scientifique comprendra 9 sessions plénières, 3 sessions posters et un espace d'exposition sur les maladies des plantes cultivées (pommes de terre, céréales, vigne...).

Renseignements et inscriptions à l'AFPP, 42 rue Raymond Jaclard, 94140 Alfortville, tél. : 01 41 79 19 80, fax : 01 41 79 19 81, courriel : afpp@afpp.net

28^e foire aux arbres

Le mercredi 1^{er} novembre la commune de Sandillon (Orléans) organise la 28^e foire aux arbres. Quelque 150 exposants proposent une centaine de variétés de plants : arbres fruitiers, arbustes, conifères et arbres d'ornement.

Renseignements au 02 38 69 79 80.



Salon de l'habitat sain

Le parc des expositions de la Beaujoire à Nantes accueillera du 10 au 12 novembre 2006, le Salon de l'habitat sain et des énergies renouvelables. Ce salon est dédié à la construction saine respectueuse de l'environnement et aux énergies renouvelables (matériaux de construction, isolation, enduits, peintures écologiques, matériels solaires et éoliens, bois énergie, géothermie, géobiologie, bioélectricité...). *Expo Nantes Atlantique, Parc des Expositions de la Beaujoire, route de Saint Joseph, 44300 Nantes, tél. : 02 40 52 08 11, fax : 02 40 93 80 50, site internet : www.salon-habitat-sain.fr*



Les journées de l'arbre, de la plante et du fruit

Les journées de l'arbre, de la plante et du fruit ont 20 ans et se tiendront les 25 et 26 novembre 2006 à Saint Jean du Gard (30). Plus de 140 exposants présenteront la diversité variétale, la sauvegarde des variétés anciennes et locales, les techniques culturales, la multiplication, la libre circulation des semences, la transformation et la gastronomie sur les espèces telles que cerisier, agrumes, châtaignier, cormier, cornouiller, noisetier, noyer, olivier, sureau, vigne...

Renseignements auprès de l'Association Dimanches verts, tél. : 04 66 85 32 18, courriel : dimanches.verts@wanadoo.fr

CARTOGRAPHIE FORESTIERE



CAGEF

Relevés GPS,
Typologie des peuplements,
Réalisation de toutes les cartes nécessaires à vos besoins
(peuplement, équipement, travaux sylvicoles...).

Pour nous contacter :

Tél : 02 41 18 09 13

Fax : 02 41 18 20 31

e-mail : cagef@ifrance.com

éditorial

L'article de Michel Hubert, dans le présent numéro, doit attirer notre attention. Il est urgent de rajeunir la forêt française. Le constat de vieillissement de nombreux peuplements est net, l'effort de renouvellement des forêts décroît. Cet effort a été incontestable lors des « années Fonds Forestier National » (FFN) ; il est maintenant nettement ralenti. L'augmentation régulière du volume moyen sur pied calculé par l'Inventaire Forestier National le démontre, ainsi que la réduction constante du nombre de plants forestiers produits. Une réflexion sur les causes de ce ralentissement s'impose.

En outre, pour récupérer l'investissement, la forêt doit échapper à tout sinistre ou bouleversement économique au court du cycle de production, ce qui est illusoire ! Surtout, l'investissement forestier est peu rentable. En témoignent qu'aucun propriétaire ne vit du revenu de sa forêt, que la forêt domaniale – bien que comportant 80 % de futaie et procurant un revenu brut/ha proche de 150€/ha/an, à peu près triple de celui des forêts privées (de l'ordre de 50 €/ha/an) – ne rapporte absolument rien à l'État depuis plus de 20 ans, et que les forêts communales, dont le revenu brut est lui aussi très supérieur à celui des forêts privées (de l'ordre de 80 €/ha/an), serait fortement déficitaire sans le versement compensateur et les subventions d'investissement de l'État.

Le problème n'est pas seulement celui de la rentabilité. Les besoins de trésorerie peuvent aussi être rédhibitoires : une surface considérable de taillis simple, taillis-sous-futaie, futaies médiocres n'est même pas suffisamment riche en capital sur pied pour permettre le financement de sa transformation ou conversion en futaie (2 300 €/ha).

Sans soutien public, l'investissement forestier est donc économiquement irrationnel et a fort peu de raison d'exister : c'est précisément ce qui a conduit à la création du FFN. Au-delà de la disparition de ce dernier, au-delà de la nécessaire reconstitution des massifs forestiers sinistrés par les tempêtes, l'aide publique doit perdurer, comme avant 1999.

Thomas FORMERY

Aides à l'investissement forestier

Entre autres raisons, la question financière semble essentielle. Écartelé entre le ciseau des prix – en 1970, 1 m³ de chêne finançait 25 heures de main-d'œuvre ; le même m³ n'en finançait plus que 13 en 1999 – et l'importance des coûts de régénération, donc de la trésorerie à mobiliser, on comprend l'hésitation du sylviculteur.

Le temps de retour de la plupart des investissements forestiers est exceptionnellement long, le résultat des plantations et régénérations, et même de l'élagage, ne couvrent les dépenses d'investissement et ne les rémunèrent qu'après 50, 80 ans, voire plus de 100 ans.

Ce long terme en fait aussi un investissement à risque : la rentabilité ne peut en être calculée sérieusement puisqu'il est impossible de prévoir l'évolution économique à ce délai.

La traçabilité des bois

Un projet européen vise à suivre l'histoire d'une grume de la forêt jusqu'au produit fini. L'idée sous-jacente étant d'augmenter la productivité du bois qui ne sera pas apte à être scié ne devra pas finir en scierie). La connaissance des caractéristiques précises du bois permettra de minimiser les pertes en scierie. Richard Uusijärvi qui coordonne le projet explique qu'actuellement plus de 20 % du bois est gaspillé de cette manière. Ce qui représente à l'échelle européenne plusieurs milliards d'euros. La solution au problème a été baptisée « Indisputable Key » (en anglais : « clé incontestable ») qui est une base de données alimentée par des critères individuels relatifs aux arbres exploités. Ainsi, chaque billon est marqué d'un code unique – par exemple à l'aide d'une puce – qui est transmis à une base de données. Ces informations (diamètre, type de billon, localisation de la parcelle d'origine, date de la coupe, etc.) seront utilisées pour optimiser la transformation, et ceci individuellement pour chaque billon. « Indisputable Key » durera 3 ans pour un budget de 12 millions d'euros. Il réunit 28 partenaires répartis au sein de 5 pays européens : Estonie, Finlande, France (AFOCEL, Ciris, CTBA, Ducerf, Mauchamp SA, Rolpin), Norvège, Suède.

Un atlas des changements climatiques

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et la société Google ont annoncé le début de leur collaboration sur le service Google Earth. Navigateur internet virtuel proposant des images satellitaires de la planète, Google Earth va désormais proposer des images en haute résolution d'une centaine de sites de la Terre, connus pour être révélateurs des changements en cours. Ces sites ont été photographiés par satellites ou par avion à différents moments. Ils permettent de se rendre compte de l'évolution du milieu.

Marché du bois : le chêne se vend bien

Lors de sa réunion du 14 septembre dernier, la CTUR (Commission technique de l'Union régionale de Nord Pas de Calais-Picardie) a souligné qu'il était souhaitable de profiter de vendre – dans de bonnes conditions en ce moment – les chênes de qualité moyenne à médiocre, pour renouveler les peuplements vieillissants.

Par ailleurs, « les premières ventes d'automne (du 5 septembre au 28 novembre 2006) montrent qu'après 5 ans de marasme on assiste à un véritable redressement des cours sur toutes les essences » annonce Pierre-Olivier Drège, directeur général de l'ONF. La demande est portée par la bonne tenue de la construction et de l'emballage, mais aussi par l'envolée des cours du pétrole et du gaz, qui a poussé plusieurs secteurs à se tourner vers le bois.



Forêts testées en laboratoire

Comment les forêts s'adaptent-elles aux conditions climatiques de 2100 ?



Pour le savoir, des scientifiques australiens de l'Université de Sydney « Richmond campus », ont reproduit une atmosphère modifiée et contrôlée dans laquelle ils ont planté différentes espèces d'arbres soumises à des niveaux élevés de CO₂ et à des baisses de précipitations. Les arbres sont plantés dans douze chambres de plastique rigide de 10 mètres de haut, placées dans un enclos. La moitié des alvéoles contiennent une atmosphère au taux normal de CO₂ et l'autre moitié possède une atmosphère deux fois plus riche en CO₂. Les chercheurs s'attendent à ce que les arbres régulent leurs pertes en eau sous l'effet des fortes concentrations en CO₂... (Source : abc.net.au, 21 août 2006).



ECOFOR fait peau neuve :



ECOFOR fait évoluer son site internet : amélioration de l'ergonomie, inscriptions en ligne, espace réservé pour l'échange ou la consultation de documents, nouvelles présentations de documents en téléchargement... per-

mettent de profiter au mieux des informations disponibles sur le site. Par ailleurs, pour pallier les difficultés techniques qu'imposait l'ancienne version, ECOFOR se dote d'un nouveau logo.



La colorimétrie au service des études de changement climatique

Les scientifiques pensent que la colorimétrie est un outil puissant pour étudier les changements climatiques. Les laboratoires sont en effet très intéressés par cette science de la mesure de la couleur, car les applications sont aussi nombreuses qu'importantes et parfois surprenantes : étude des changements climatiques selon la part de vert, qualité de la bière en fonction de la teinte, etc. Récemment, l'outil a servi à décerner le prix du ciel le plus bleu : Anya Hohnbaum, une chercheuse de Glasgow, a sillonné le monde durant 72 jours vers 20 destinations différentes équipée d'un spectromètre portable étalonné sur les standards internationaux de mesure de la couleur. Verdict final : le ciel de Rio est celui qui se rapproche au mieux du point le plus bleu du diagramme chromatique de référence.



« Le dispositif est pointé vers le ciel »



La revue forestière française en ligne

Depuis le 12 septembre 2006, la revue forestière française est disponible en ligne sur <http://irevues.fr/revue-forestierefrancaise> ; Le site met à disposition les sommaires des numéros depuis 1997, les résumés des articles en ligne, les sommaires des numéros spéciaux depuis 1969, et quelques articles en libre accès. L'accès à tous les articles parus depuis 1997 est réservé aux abonnés. La revue forestière française est désormais disponible sur abonnement en trois formules : papier, en ligne, papier + en ligne. La revue, éditée par l'ENGREF, diffuse une information scientifique et technique, assurant une liaison efficace entre recherches et pratique, administration et gestion, progrès et diffusion.

Renseignements auprès de RFF, Anne-Marie Huin, ENGREF, 14 rue Girardet, CS 14216, 54042 Nancy cedex, tél : 03 83 38 68 22, fax : 03 83 39 68 25, courriel : huin@engref.fr

Une entreprise espagnole développe un biocombustible dérivé du plancton

L'entreprise Bio Fuel Systems a récemment présenté à Madrid une nouvelle génération de biocarburant. La matière première de ce nouveau biocombustible est un type de phytoplancton renfermant une concentration importante d'huile (20 %, contre 0,1 % dans la graine de tournesol) et possédant ainsi un grand pouvoir énergétique. La production de ce carburant est basée sur la photosynthèse. La culture de ces cellules végétales se réalise dans des circuits d'eau fermés, exposés à la lumière du soleil et en présence d'un air chargé en dioxyde de carbone afin d'optimiser leur développement. Le phytoplancton ne représente que 1 % de la biomasse d'organismes photosynthétiques sur la planète mais assure 45 % de la production primaire (fixation du CO₂ en carbone organique). Selon les estimations, ce biocombustible coûterait entre 25 et 35 centimes le litre, soit un euro en additionnant les impôts. La culture de phytoplancton nécessite également beaucoup moins d'espace que les autres cultures destinées à la production de biocarburant.

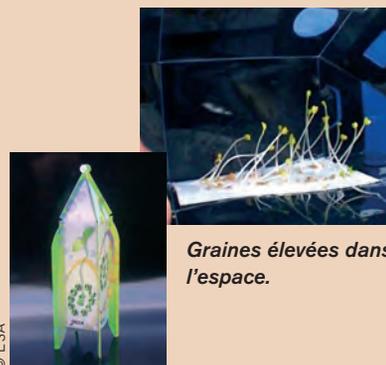
D'après les experts, une surface exploitable de 52 000 kilomètres carrés permettrait d'obtenir 95 millions de barils de carburant par jour, ce qui équivaut à la production mondiale de pétrole (Source : BE n°55 de l'Ambassade de France en Espagne, 12/08/2006).

Rapport de la banque mondiale sur le nouveau cadre d'investissement pour l'énergie propre

Suite à un mandat reçu lors du sommet du G8 de Gleneagles, la Banque mondiale, soucieuse de lutter contre la pollution atmosphérique et le réchauffement climatique, a proposé lors des assemblées annuelles 2006 du FMI et de la Banque mondiale, le 20 septembre 2006, un nouveau programme destiné à encourager l'utilisation d'énergies renouvelables dans les pays en développement. Le projet proposé est appelé « cadre d'investissement pour l'énergie propre et le développement ». Il vise à favoriser l'accès à des sources d'énergie propre dans un but de « protection de l'environnement » et de poursuite de la lutte contre la pauvreté (Source : la lettre de la SNDD).

OSM : « Organismes spatialement modifiés » ?

Comment augmenter le rendement des exploitations agricoles et accroître la qualité des fruits et céréales récoltées ? Selon l'agence spatiale chinoise, il suffit d'envoyer des graines dans l'espace, puis de semer les plantes « mutantes » obtenues. L'idée peut faire sourire. Pourtant, elle est prise très au sérieux par les autorités chinoises, qui le 9 septembre dernier ont envoyé exclusivement à cet effet un satellite baptisé Shijian-8 transportant 2 000 graines de variétés différentes. Quel est l'objectif visé par la Chine ? Selon le journal China Daily, « soumises pendant deux semaines à la microgravité et aux radiations cosmiques, certaines graines vont muter ». Par suite, ces dernières pourraient donner naissance à des plantes d'un meilleur rendement et de meilleure qualité. La Chine expérimente ce type de valorisation de cultures depuis 1987. C'est ainsi que des chercheurs avaient pu remarquer que du riz et du blé placés en orbite donnaient, une fois de retour sur Terre, de meilleures productions et présentaient des teneurs en vitamines et minéraux supérieures. De même, les récoltes de tomates et de poivrons verts « spatiales » seraient entre 10 et 20 % meilleures que celles obtenues avec des graines ordinaires, et les fruits à la fois plus grands et plus riches en vitamines. La culture généralisée de ces graines, si elle confirme son efficacité sur le long terme, pourraient un jour s'étendre aux semences forestières.



Graines élevées dans l'espace.

Fiches Informations-Forêt de l'AFOCEL

Dans la série 3/2006 :

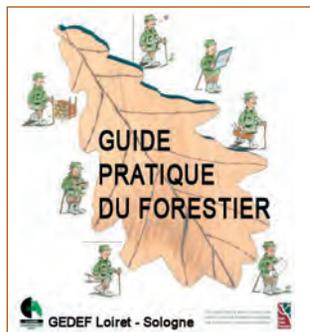
- Intérêt d'un traitement préventif en pépinière du pin maritime contre l'hylobe (fiche 732).
- Observatoire des impacts de l'exploitation forestière (fiche 733).
- Quel approvisionnement pour les industries du bois énergie ? (fiche 734).
- Caractérisation d'espèces résineuses et feuillues pour la mise en pâte kraft (fiche 735).
- Récolte mécanisée des bois et ergonomie (fiche 736).

L'abonnement annuel, soit 20 fiches (4 séries de 5) est au prix de 44 € TTC + frais d'emballage et de port (8 € TTC pour la France et les pays de la Communauté européenne ; 12 € TTC pour les autres).

Service publications de l'AFOCEL, Domaine de l'Étançon, 77370 Nangis, tél. : 01 60 67 00 38, courriel : publi@afocel.fr, site : www.afocel.fr (le catalogue des publications 2006 de l'AFOCEL est également disponible sur ce site en rubrique publications).

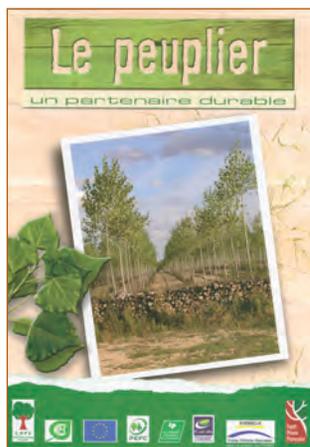
Guide pratique de l'apprenti forestier

Le Gedef Loiret-Sologne, groupe de développement, a accumulé depuis plusieurs décennies des expériences et des savoir-faire qu'il a regroupés et organisés dans un ouvrage de 220 pages constitué de 100 fiches pour faciliter l'accès. Rédiger un document synthétique, pratique et attrayant, destiné à des forestiers débutant dans la profession, a constitué l'enjeu que les forestiers intéressés par le défi se sont fixé. L'objectif est aujourd'hui atteint : un classeur constitué de fiches modu-



lables, permettant une mise à jour aisée et régulière, réparties en 11 grands chapitres abordant tous les domaines de compétences auxquels est confronté le sylviculteur se lançant dans l'action. Renseignements auprès du Gedef Loiret-Sologne, 13 avenue des Droits de l'Homme, 45921 Orléans cedex 9, pour commander : 02 38 71 90 38 ou paule.wharton@loiret.chambagri.fr

Le peuplier, un partenaire durable

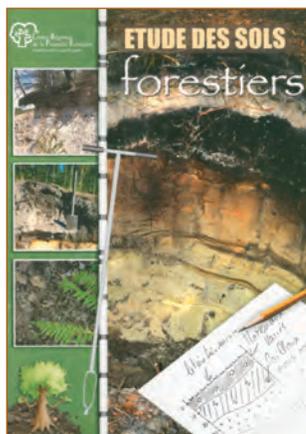


Le CRPF Nord-Pas-de-Calais-Picardie et le Conseil régional de Picardie, en partenariat avec la province du Hainaut en Belgique et avec le soutien du Feder ont édité une brochure commune sur le peuplier : quels cultivars choisir ? Comment réussir sa plantation (qualité et intégration au territoire) ? Comment bien vendre ses peupliers ?... parmi les

sujets traités sur 32 pages claires et bien illustrées du fascicule.

CRPF Nord-Pas-de-Calais-Picardie, 96 rue Jean Moulin, 80000 Amiens, tél. : 03 22 33 52 00, fax : 03 22 95 01 63, courriel : nordpicardie@crpf.fr

Études des sols forestiers



Le CRPF Nord-Pas-de-Calais-Picardie vient également d'éditer une brochure sur le thème « Étude des sols forestiers » destinée aux producteurs forestiers. Elle doit leur permettre de comprendre et d'appréhender les techniques de description des sols forestiers pour identifier les conditions du milieu et les guider pour le choix des essences, car la pédologie entre aujourd'hui dans toutes les étapes de réflexion de la gestion forestière.

Éditions Quae

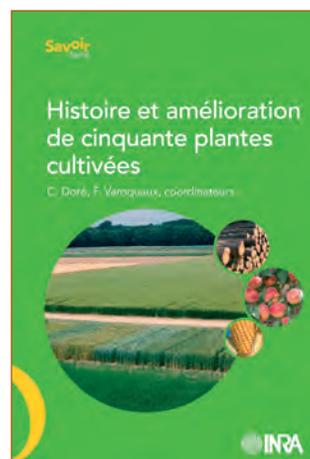
Le 1^{er} juillet 2006, le Cemagref, le Cirad, l'Ifremer et l'INRA ont réuni leurs services d'édition en une seule maison scientifique et technique : les Éditions Quae. Près de 1 000 titres sont actuellement disponibles.

- Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées :

cet ouvrage coordonné par Claire Doré (INRA) et Fabrice Varoquaux (maître de conférences à l'Université de Montpellier), donne une vision claire et objective des méthodes utilisées en amélioration des plantes ces dernières années. Il propose notamment cinquante fiches présentant pour chaque plante, les innovations marquantes en matière de création variétale et les perspectives à envisager. Plantes présentées : quatre céréales, six oléoprotéagineuses, trois industrielles, trois forestières, cinq fourragères, huit fruitières, douze légumières, cinq ornementales, trois espèces tropicales et la vigne. Format 16 x 24 cm, 840 pages, 72 € + 5 € de frais d'envoi.

- La forêt (DVD-vidéo). Huit films sur la forêt : pluies acides, tempête de 1999, échanges avec l'atmosphère, le bois comme matériau de construction, études d'une maladie sur les peupliers, le regard d'archéologues et de chercheurs sur la biodiversité d'une forêt. 83 minutes, 12 €.

Éditions Quae - INRA - RD 10 - 78026 Versailles cedex, tél. : 01 30 83 34 06, fax : 01 30 83 34 49, courriel : serviceclients-quaе@versailles.inra.fr, site : www.quaе.com



Les 20 ans du GDF Monts-et-Barrages... ou l'apprentissage d'une culture forestière

Alice de Gournay, secrétaire au GDF, en collaboration avec Michel Defaye, animateur

Ce groupement de développement forestier a été créé en 1985 sous la double impulsion du CRPF du Limousin et d'un syndicat de communes, Monts-et-Barrages, au sud-est de la Haute-Vienne. Suivi depuis ses débuts par un technicien du CRPF, Michel Defaye, il rassemble actuellement un peu plus de 200 adhérents. À sa dernière assemblée générale présidée par Odile Vergnoux, qui vient de transmettre ses fonctions à Henri Lamoure, et en présence de Roland Martin, était présenté un petit film retraçant son histoire (voir encadré en fin d'article). Pourquoi parler à ce sujet « d'apprentissage d'une culture forestière » ? Et quelle est la manière d'agir du groupement ? C'est ce que cet article tente d'exposer, après une rétrospective sur le contexte de sa création.

La forêt à la conquête des terres et landes abandonnées

Monts-et-Barrages correspond aux premiers reliefs de la montagne limousine, exposés à l'ouest et parcourus par un dense réseau de rivières et ruisseaux. Une activité hydroélectrique s'y est déployée, principalement après 1945, d'où le nom du pays. C'est aussi une zone fortement boisée, à plus de 50 %

pour certaines communes. Ce qui n'a pas toujours été le cas, car Monts-et-Barrages est passé d'un taux moyen de boisement d'environ 5 % au début du XX^e siècle à 33 % actuellement ! Ce changement est lié à la déprise agricole et à la baisse démographique amorcée au même tournant de siècle. La politique de boisement d'après guerre trouve alors un contexte favorable et les collines couronnées de bruyère sont plantées, essentiellement en résineux. Cette vague de plantation atteint son sommet dans les années 1960 et 1970. Parallèlement, les feuillus gagnent aussi en surface par la friche, les anciens taillis ou taillis-sous-futaie vieillissent, les châtaigneraies à fruit évoluent en véritables peuplements, grâce aux semis qui s'installent sous leur couvert. Cet accroissement de la surface feuillue se poursuit encore de nos jours.

En lien avec un relief de transition, le foncier est fortement morcelé, avec des petites et moyennes propriétés en nombre et très rarement d'un seul tenant. Monts-et-Barrages compte un peu plus de 6 000 propriétaires, dont les 3/4 ont moins de 4 hectares, pour une surface totale de 18 000 hectares. Une déserte proprement forestière est à mettre en place ; les boisements, surtout ceux de petite dimension, n'ont pas de raccordement valable au réseau routier.

Mais une forêt en attente d'organisation...

Le propriétaire lui-même est souvent le témoin ou l'acteur du changement qui a affecté les terrains, et comprend facilement de ce fait l'enjeu que constitue la forêt pour la région : maintien de la fonction productive des terrains, voire émergence d'une nouvelle activité, et mutation du paysage à accompagner. Par contre, il est *a priori* novice en matière de gestion, et se situe dans un contexte commercial mouvant. Certains débouchés disparaissent ou se modifient, précisément dans les années de création du GDF, d'autres apparaissent...

On conçoit que le CRPF ait cherché à répondre au besoin évident de formation et d'organisation des propriétaires. Les élus, conscients d'être en présence d'une nouvelle ressource – et soucieux d'encadrer cette activité naissante ? – ont aussi soutenu la création du GDF Monts-et-Barrages. Cette action s'est poursuivie par la création d'autres GDF et d'une association syndicale qui animent maintenant l'ensemble des zones forestières du Limousin. Parallèlement, un Cetef assume au niveau régional les missions d'étude ou d'expérimentation.

Les adhésions arrivent rapidement, et après un « pic » correspondant à 1999 et la période de la tempête,

elles semblent se stabiliser autour de 200. Un nombre important d'adhérents, donc, mais en rapport avec les caractéristiques du territoire. Si les propriétaires de 0 à 4 hectares sont moins représentés au sein du groupement (17 % des adhérents), ceux de surfaces moyennes le sont davantage (32 % pour la classe de 4 à 10 hectares et 31 % pour celle de 10 à 25). Avec les 20 % restants de propriétaires de plus de 25 hectares, c'est finalement 1/3 de la surface en forêt privée qui est touchée directement par le GDF.

L'apport du GDF : sensibilisation, vulgarisation et formation, participation au développement

Les missions du GDF sont donc :

- la vulgarisation, la formation à tous les aspects de la gestion forestière, jusqu'à la connaissance du marché,
- la contribution au regroupement, foncier, de travaux, de commerciali-



Une journée d'initiation à la taille de formation.

sation, et à la mise en place de la desserte.

Ce deuxième point passe bien sûr d'abord par la sensibilisation : lorsque le propriétaire est convaincu de la nécessité, par exemple, de faire un échange de parcelles – parce que cela simplifie, améliore, ou même permet de pratiquer la sylviculture – le travail est à moitié fait. Le GDF a pu aller plus loin par le biais de Contrats régionaux de développement local (CRDL) qui ont soutenu financièrement des opérations de restructuration foncière et la création de groupements forestiers (dans un cadre familial essentiellement). Une autre action a été engagée au moment de la tempête de 1999, par le regroupement de lots de bois mis à terre, dans l'idée de faciliter la vente des petites quantités. Sont alors intervenus les délégués, membres du GDF qui dans leur commune de résidence ont un rôle de relais de l'information. Toujours dans le cadre du CRDL, la promotion du bois-énergie a été amorcée, notamment en direction des collectivités locales, et cela reste un souci partagé par les adhérents du GDF.

La vulgarisation passe :

- par des journées techniques, une par trimestre, auxquelles s'ajoutent à présent des « journées pratiques » où les participants, en petit nombre, ont la possibilité de mettre directement en œuvre le conseil reçu (journées centrées en ce moment sur l'élagage et la taille de formation) – dans le même ordre d'idée, le GDF a accompagné les propriétaires soucieux de réaliser ou faire réaliser des travaux sylvicoles par la création d'une Cuma (Coopérative d'utilisation de matériel agricole), puis d'un groupement d'employeurs ;
- un bulletin de liaison, qui reprend



M. et Mme Malavaud, membres fondateurs du GDF, témoignent en présence des 300 participants à la tournée 2003 de l'Union régionale des syndicats.

le contenu de telle ou telle réunion marquante, et s'ouvre à des comptes-rendus d'ouvrages (forestiers ou plus largement environnementaux), ou même à l'expérience venue d'ailleurs, y compris de l'international ;

- des visites et un voyage d'étude annuel dans une autre région de France, moment particulièrement important dans le contexte d'une forêt jeune, où manque le très long terme par la confirmation qu'il apporte à la sylviculture, et dans laquelle toutes les possibilités sylvicoles ne sont pas suffisamment déployées (futaie feuillue adulte, renouvellement par régénération naturelle...).

Quelques principes et thèmes des réunions techniques peuvent être évoqués ici, comme particulièrement représentatifs des enjeux de la vulgarisation forestière en Limousin.

- Le respect de la station forestière est un principe donné dès les débuts du GDF et constamment rappelé depuis. Particulièrement crucial quand il s'agit d'implanter une essence, il joue en fait dans chaque décision de gestion. En effet, il ne décide pas seulement de l'introduction ou du maintien d'une essence, mais éclaire également sur le type de produit à rechercher et donc sur l'investissement à consen-

tir. Le catalogue des stations de la Châtaigneraie limousine, et plus récemment le guide simplifié pour le Plateau de Millevaches, mis au point par le CRPF, « encadrent » les interventions à ce sujet.

- L'éclaircie est une question particulière au sein des itinéraires techniques pour les futaies régulières. Les étapes précédentes, à savoir la plantation, les entretiens, voire le premier élagage à deux mètres, ont souvent été réalisées par les propriétaires eux-mêmes, pour les petites surfaces. En revanche, l'éclaircie suppose de recourir à une entreprise extérieure ne disposant pas dans les années 80 des débouchés et possibilités de rémunération espérées... En lien avec l'Association pour le développement des éclaircies en Limousin (Adeli, à caractère interprofessionnel, et dont l'objet s'est depuis élargi), le GDF explique, persuade, entraîne...

- L'amélioration de feuillus s'adresse à la masse des peuplements issus de la déprise agricole, mentionnés précédemment. Par définition hétérogènes, mal connus, ces peuplements méritent des soins : éclaircie, détourage, conversion par balivage ou régénération naturelle, lorsque la station est suffisamment favorable et l'existant préservé. C'est un vaste domaine ouvert à l'action des sylviculteurs, difficile, et gratifiant si on en juge les premiers résultats.

- Et comme il s'agit d'avoir une vue d'ensemble de la propriété dans la durée, même si des éléments d'incertitude subsistent, le GDF propose régulièrement une initiation au plan simple de gestion. Les réunions s'ouvrent maintenant à des thèmes tels que l'accueil du public en forêt, la prise en compte d'espaces naturels protégés, et bientôt, l'adaptation aux contraintes

(et valeurs) des zones périurbaines.

La vulgarisation se fait d'autant mieux qu'elle s'appuie sur des réalisations ; c'est un grand encouragement pour un sylviculteur de voir les résultats obtenus chez les autres et de sentir pour ainsi dire, à sa portée, les moyens de progresser. Ces moments suscitent d'ailleurs des échanges de points de vue et d'informations entre membres du groupement, occasion une fois de plus de se former. Ce lien entretenu entre les adhérents et avec le pays est en quelque sorte **la manière de faire du GDF** : accueil par le maire ou son représentant à l'occasion des réunions et présentation de la commune, souci d'un maillage du territoire avec les délégués, promotion du bois-énergie qui suppose aussi de s'intéresser aux problématiques locales, contacts plus institutionnels... La relative identité géographique de Monts-et-Barrages et les actions menées par le syndicat facilitent ces relations et la perception de l'enjeu social de la forêt.



Vers une véritable culture forestière ?

Peu à peu les différents éléments qui permettent au sylviculteur de juger de ce qui est à faire ou à dire se mettent en place, le GDF étant un maillon de la chaîne constituée par l'ensemble des organismes de la forêt : connaissance du terrain, familiarité avec les produits et leur utilisation, organisation de la propriété et du territoire, action forestière située dans un projet plus vaste : développement local ou accomplissement personnel... Dans cette mesure, il est permis de parler d'une culture forestière, et

Vie du GDF Monts-et-Barrages : quelques étapes

1985 : constitution du GDF sous le parrainage du CRPF et du syndicat intercommunal Monts-et-Barrages (25 participants).

1986 : information dans toutes les communes du secteur, premiers recrutements. Premières réunions techniques (sécurité, élagage, éclaircies, regroupement foncier...).

1987 : création d'une Cuma agroforestière (acquisition de sécateurs pneumatiques). Accord de réciprocité avec le syndicat des propriétaires forestiers de la Haute-Vienne (réduction des cotisations).

1988 : s'enrichir de l'expérience des autres : premier voyage d'étude.

1989 : participation au Contrat régional de développement local (CRDL) qui permet d'oeuvrer directement à la restructuration du foncier, à l'aménagement agricole et forestier, à la promotion du bois-énergie...

1992 : plus de 200 adhérents. Mise en place du réseau de « correspondants communaux », observateurs et facilitateurs des échanges entre le GDF et les propriétaires de leur commune.

1994 : 2^e CRDL qui permet notamment de constituer des placettes de référence sur la diversification, le mélange des essences.

1999 : création du groupement d'employeurs (20 adhérents parmi les membres du GDF) principalement pour répondre à la difficulté de réaliser les travaux forestiers dans les petites parcelles.

2000 : après la tempête, travail de regroupement des lots de bois avec les délégués communaux.

2002 : lancement d'une étude de maîtrise, puis de thèse de géographie sur la place et le rôle de la forêt et du bois sur le territoire Monts-et-Barrages.

2004 : premières journées de pratique (sur la taille de formation).



© Michel Defaye

Un voyage en Bourgogne.

comme telle cette culture doit pouvoir être partagée avec les générations suivantes. Les « membres fondateurs » du GDF vieillissent et s'inquiètent de leur succession, quelques représentants des enfants et petits-enfants des propriétaires initiaux sont présents dans le groupement, mais il paraît difficile en général de les contacter. Est-ce seulement une question de disponibilité ou y a-t-il aussi un changement d'état d'esprit à l'égard de la forêt ? Le choc de la dernière tempête et les conditions économiques ont-ils leur part dans la relative discrétion des nouvelles générations ? Telles sont les questions auxquelles notre groupement doit maintenant s'attacher, avec toutefois la certitude que le lien au pays et à la nature continuera de faire venir à la forêt les sylviculteurs de demain. ■

Récits d'adhérents

Voici quelques extraits du film où des membres du GDF expliquent leur action récente ou leur parcours de toute une vie au sein de la forêt.

« À ma demande, Michel Defaye [animateur du GDF et technicien du CRPF Limousin] m'a communiqué le relevé cadastral de mon village. C'est une ancienne commune qui n'est plus guère peuplée maintenant, et les exploitations agricoles ont laissé la place aux bois... J'ai constaté un nombre considérable de propriétaires – quelques-uns habitant la région parisienne, d'autres encore plus âgés que moi – c'est dire qu'il était très difficile de constituer des parcelles convenables pour une exploitation moderne (...) J'ai senti qu'une association syndicale ne marcherait pas. Alors j'ai contacté des gens intéressés par la vente tout en choisissant des parcelles proches des miennes pour obtenir des blocs plus importants. Et je peux dire que depuis quatre ans, je suis allé souvent chez le notaire... »

« En 2001, nous avons réfléchi au type de chauffage qu'on pourrait installer sur notre commune [pour les bâtiments collectifs] : continuait-on d'utiliser le fuel, ou prenait-on l'électricité, voire le gaz ? Il nous a semblé opportun de recourir à une chaudière au bois déchiqueté. Bien sûr, il ne s'agissait pas d'en rester au poêle et à la bûche, il a fallu une petite explication là-dessus. Après une étude, le projet, donc, d'une chaufferie communale alimentée par des plaquettes a été voté en 2002

et réalisé en 2003. Après deux ans de fonctionnement, un « bonus » de 18 000 € soit 9 000 € annuels d'économie a été constaté sur le budget d'achat de nos calories. »

« En ce qui me concerne, j'étais un sylviculteur ignorant, mais qui en était quand même un, sans le savoir (...) Il m'a fallu quarante-cinq ans que je peux résumer en quatre étapes :

- de 1965-67 à 1977, acquisitions des terrains à planter, au hasard de mon travail sur les communes environnantes,

- 2^e étape, plus longue, de 1970 à 1985, plantation de conifères au fil des années et de mes possibilités – j'avais envie de planter un peu de tout (...)

- 3^e étape de ma vie, dix années supplémentaires, de 1985 à 1996. Le GDF nouvellement créé dispose d'un élève studieux : ma formation accélérée me permet d'obtenir un CAP de « SAE » – sylviculteur amateur éclairé. J'étais tout à fait ignorant de ce que représente une plantation, les entretiens, l'élagage, le dépressage ! C'est aussi l'étape de la création d'un groupement forestier puis le lancement du premier plan de gestion.

- 4^e étape, de 1996 à 2006, à nouveau 10 ans. Le CAP étant obtenu, cette 4^e étape a été l'apothéose du sylviculteur éclairé que je suis devenu.

10 + 15 + 10 + 10, on a bien les quarante-cinq ans que je vous avais promis. Je suis devenu un vieillard chanceux, mais un sylviculteur conscient. »

Résumé

Depuis 20 ans, le GDF Monts-et-Barrages s'efforce de fournir les principes d'une sylviculture dans le contexte d'une forêt résineuse encore jeune et d'un massif feuillu à orienter autant que possible vers la production de bois d'œuvre. Regroupement sous toutes ses formes, mise en place d'une desserte, apprentissage d'un mode de réflexion qui prend d'abord en compte l'environnement économique et les possibilités du terrain, tels sont les impératifs de cette forêt et de ces propriétaires qui s'organisent et sont en passe d'acquiescer une culture forestière.

Mots-clés : GDF, Limousin, culture forestière.

dossier

*Le sol forestier,
cet inconnu*

Dossier écrit
par
François Charnet

12

Le sol, cet inconnu

13

Vade-mecum de pédologie descriptive pour le forestier

18

Les analyses de sols en forêt : est-ce bien nécessaire ?

23

Le sol, support de la production forestière

29

Le sol et l'eau : une clé de la productivité et de la santé des arbres

34

Tassement des sols : attention danger !

Le sol, cet inconnu

François Charnet, ingénieur à l'IDF

Cette paraphrase du titre d'un best-seller de la vulgarisation scientifique n'a pas été choisie par hasard : elle résume parfaitement le statut d'une science somme toute récente, prenant pour objet une composante de notre environnement à la fois très commune et très ancienne, que les sociétés ont exploité depuis des temps immémoriaux, et qui n'est devenu un sujet d'étude systématique que depuis un siècle à peine. Mal connu du grand public, le sol ne l'est parfois guère mieux par les professionnels de la forêt, qui lui doivent pourtant une partie de leurs revenus. L'édition de ce dossier est une manière concrète d'y remédier en diffusant quelques éléments d'information habituellement peu accessibles, dispersés dans des revues et des livres spécialisés.

Statut paradoxal de la science du sol

Si on croit se rassurer en rappelant que la connaissance du sol fait partie des fondamentaux de la foresterie – exigence qui n'est plus seulement motivée par un point de vue productiviste mais aussi par la protection de cette ressource non renouvelable contre des agressions diverses – on constate en revanche un recul de l'intérêt pour cette discipline : plus de vingt ans après le développement des études de stations, la programmation des nouvelles études est au point mort, la carte pédologique de France est en panne, les tarières sont dans les

remises et les catalogues de stations dans les placards, enfin l'enseignement de la science du sol est en régression dans les universités et même – horreur ! – dans la formation initiale des ingénieurs agronomes. Sans doute faut-il y voir la manifestation de ce mouvement général de dédain pour les sciences naturalistes, qui a accompagné la percée des écologistes en col blanc et autres managers de l'environnement qui vaticinent maintenant sur la gestion durable. Pourtant, il reste que devant la demande croissante en expertise, l'enseignement, la formation et l'information sur les sols seront toujours plus à l'ordre du jour.

Questions de méthode

La meilleure manière de prendre contact avec la science du sol, c'est de la pratiquer. C'est pourquoi ce dossier s'ouvre sur un article résolument pratique qui présente les bons outils et la manière de s'en servir, sous la forme d'un vade-mecum (p. 13). Pour qui s'interroge sur la nécessité de confier des analyses à un laboratoire et lesquelles, nous avons repris un article donnant quelques critères de choix (« Les analyses de sols, est ce bien nécessaire ? », p. 18). Le sol est abordé ici comme composante de l'écosystème forestier et plus particulièrement comme support de l'arbre : le troisième article (p. 23) envisage ainsi les trois contraintes majeures de la croissance et du développement de l'arbre, et donne quelques éléments pour interpréter les obser-

vations de terrain en ce sens.

Un peu de théorie

Toute observation circonstanciée définit en creux une vision théorique, un minimum de doctrine. Sans prétendre remplacer les quelques manuels – peu nombreux au demeurant – qui résument les connaissances de base, nous avons choisi de développer deux thèmes de première importance. Les relations entre le sol et l'eau (article 4, p. 29) sont au cœur de toutes les questions sur la sécheresse, les stress hydriques des arbres et les dépérissements abiotiques, qui ont alerté les gestionnaires ces dernières années. Quant au tassement des sols (p. 34), c'est un souci plus récent mais qui fait l'objet maintenant de nombreuses études, dont on a cherché à restituer l'essentiel dans une courte synthèse, en y intégrant quelques éléments de mécanique des sols, matière ingrate et pourtant indispensable pour comprendre l'impact des mauvaises pratiques d'exploitation. ■

Pour en savoir plus

Dans le format exigü de ces quelques dizaines de pages, on ne pouvait prétendre passer en revue tous les aspects de la pédologie. Pour satisfaire une curiosité que nous espérons avoir aiguisée, le site Internet de la forêt privée mettra en libre accès – en complément de ce dossier – une liste de sites d'intérêt général sur les sols, ainsi qu'une bibliographie commentée de quelques ouvrages de base, pas toujours récents, mais de haut niveau informatif.

Vade-mecum de pédologie descriptive pour le forestier

François Charnet, ingénieur à l'IDF



Il n'est pas de bonne étude du sol qui ne commence par une description. Engageant des moyens matériels et des frais limités, cette opération, si elle est menée avec un minimum de rigueur, apporte de précieux enseignements, qui seront même suffisants dans la plupart des cas. Mais que faut-il observer, comment et pourquoi ? C'est ce que décrit cet article.

C'est un fait que malheureusement l'expérience nous amène à constater trop souvent : beaucoup d'études – et même des études approfondies – négligent cette étape préliminaire qu'est la description du sol. Il s'ensuit souvent des dépenses inutiles, engagées hors de propos et des données mal situées dans leur environnement, difficiles à interpréter. On ne perd donc jamais son temps en consacrant à cette phase de terrain l'attention qu'elle mérite, pourvu que la récolte des données ait été guidée par une méthode.

Un niveau d'étude déterminé par les objectifs

Il existe plusieurs niveaux ou intensités d'investigation pour la description d'un sol, selon les objectifs recherchés. Ainsi les pédologues spécialistes peuvent être amenés, dans le cadre d'études fondamentales ou d'inventaires cartographiques, à consacrer une demi-journée (à 2 ou 3 personnes) pour décrire un sol, là où le praticien en quête de critères pour des choix d'aménagement aura fait le tour du sujet en une demi-heure. La métho-

de proposée ici, pratiquée en routine depuis de nombreuses années à l'occasion d'études appliquées, est un compromis qui retient les caractères fondamentaux, dans la perspective d'un diagnostic synthétique centré sur les contraintes au développement et à la croissance de l'arbre : les spéculations sur l'histoire et le mode de formation du sol demeurent à l'arrière-plan, même si elles ne sont pas complètement évacuées. Pour des descriptions plus approfondies, on pourra se reporter à l'ouvrage de Jabiol et

Baize édité par l'INRA, qui tient lieu de référence.

Les conditions d'observation

L'observation d'un sol s'appuie sur trois grands types de techniques :

- **le sondage** est un moyen d'étude rapide utilisé en prospection cartographique ou dans les reconnaissances, qui utilise une tarière à main (il en existe des versions mécaniques et motorisées, plus puissantes) ou tarière pédologique. Cet outil qui remanie le sol ne permet pas l'observation de caractères importants comme la structure, la compacité, l'enracinement : il offre une première prise de contact avec le sol, et permet en particulier de bien choisir l'emplacement des observations plus approfondies ;
- **la fosse** représente le support de base de toute description. C'est une fouille de dimensions variables, faite à la pelle à main, au tractopelle (de plus en plus) ou à la pelle hydraulique, d'une profondeur courante de 1 à 2 m (mais parfois plus dans le cas d'études d'enracinement, voir la photo ci-contre), qui facilite l'observation précise du sol non perturbé, et la récolte éventuel-



Fosse de grande dimension (6 m) ouverte par le CETEF d'Indre-et-Loire en forêt d'Azay-le-Rideau (37) pour une étude de l'enracinement du chêne.

le d'échantillons pour analyses supplémentaires. Dans le cas de thématiques spéciales, les fosses peuvent se transformer en tranchées circulaires, comme la technique mise au point par la faculté de Franche-Comté (E. Lucot) utilisée pour l'étude des systèmes racinaires. Les fosses doivent être ouvertes dans un endroit homogène, représentatif de la zone étudiée (ce qui peut être vérifié par quelques sondages à la tarière préalables) non perturbé (à bonne distance des fossés, tranchées, bords de route).

– **les supports opportunistes** : en dehors des observations systématiques, des ouvrages particuliers offrent parfois l'occasion d'une utilisation pour la connaissance des sols : ce peuvent être des chablis (voir la tempête de 1999 !), des tranchées de drainage ou talus de route récents, des fronts de carrière, etc. Les informations ainsi recueillies sont intéressantes, à faible coût, mais ne remplacent pas les fosses et sont à interpréter avec prudence, le sol ayant pu être perturbé.

Méthode de description : fiche de description et guide

On trouvera à la fin de l'article un guide succinct pour renseigner les divers thèmes de la fiche qui sera consultable sur Internet, numérotés de 1 à 21. En accompagnement des indications données par le guide, nous ajouterons les remarques suivantes :

Description du profil (rubriques 1 à 12)

La colonne « **horizons** », non numérotée, peut être renseignée *a posteriori*, car c'est un diagnostic qui s'appuie sur les autres caractères ; on peut s'en tenir aux grandes catégories : A, E, B, C. On trouvera dans le guide de renseignements de la fiche, la définition rapide des principaux types. Le détail est dans les manuels. Par convention, le niveau zéro est placé au sommet de l'horizon A, horizons de la litière (OL, OF, OH) étant au-dessus.

La **texture** (1) s'apprécie au toucher et à la vue, en essayant de classer la terre fine de l'horizon parmi les 15 grandes familles du triangle des textures, à défaut en la simplifiant (la distinction entre limon léger et limon moyen, par exemple, n'est évidente que pour le spécialiste). Dans certains cas, la granulométrie mesurée au laboratoire permettra de corriger cette appréciation qui fait appel avant tout à l'expérience.

La **couleur** (2) est un caractère important pour le diagnostic pédologique. Pour objectiver sa notation, il faudrait avoir idéalement recours à un nuancier à valeur internationale : le code Münsell. Si le sol est sec, penser à noter la couleur de la terre après réhumectation.

L'**humidité** (3) est un caractère variable, qu'il importe toutefois de noter le jour de la description, dans la mesure où son état conditionne l'appréciation d'autres caractères, tels que 2, 5 et 9.

Les **éléments grossiers** (4) englobent tous les éléments de taille supérieure à 2 mm, qui restent dans le tamis (d'où le terme équi-

La trousse à outils

La « trousse à outils » ou nécessaire de survie du pédologue se compose au minimum d'une tarière passe-partout modèle dit « combiné » (valable pour une vaste gamme de sols), d'une pelle-bêche (ou d'une pelle « américaine » pliante), d'un couteau de bonne qualité (type poignard de chasse à dos épais, plutôt qu'un couteau pliant à virole), d'une trousse test pour l'acidité (pH-mètre méthode colorimétrique Hellige), d'un flacon d'acide chlorhydrique dilué à 1/5 ou 1/3, un double-mètre pliant

(ou une mire topographique de poche), un appareil photo. Si on est plus riche, on peut y ajouter un marteau de géologue, un code des couleurs Münsell ou équivalent, une petite loupe pliante (grossissement entre x 8 et x 14) pour l'observation des détails. Le reste (tests chimiques colorimétriques, pénétromètres, perméamètres, etc.) sort des études de routine et relève d'études thématiques. Les fournisseurs de matériels de foresterie et topographie présentent sur leur site Internet tout ces matériels (voir entre autres : SDMO, Zimmer). Pour la récolte d'échantillons, on peut utiliser des sacs de congélation, mais la plupart des laboratoires d'analyses fournissent ces sacs à leurs clients.



© Pierre Gonin



© Pierre Gonin

valent de « refus »), par opposition à la « terre fine ». On notera la charge grossière globale (volume de l'horizon occupé par ces éléments, en %), mais aussi la nature géologique et la taille de ces éléments (graviers, cailloux, pierres, etc.).

La colonne « **matière organique** » (5) contient une évaluation, visuelle, tactile, du taux de matière organique. Il faut de l'expérience et en particulier des étalonnages avec des analyses de laboratoire. Dans la plupart des horizons A forestiers, ce taux varie de 2 à près de 10 %. En dessous de 0,5 %, la matière organique n'est plus détectable à l'œil nu.

La **notation des racines** (6), apportera de précieuses informations sur l'ancrage et l'alimentation de l'arbre. La définition des différentes catégories de grosseur est arbitraire et varie selon les auteurs. Pour l'évaluation quantitative des racines fines et moyennes, on notera des classes de densité (nombre de racines au dm²) ou à défaut des qualificatifs (rares, nombreuses, etc.). L'abondance de l'enracinement et sa régression en profondeur gagneront à être mis en relation avec d'autres caractères, comme 1, 5, 7, 8 et 9.

La **structure** (7) est une information capitale, de description assez délicate, qui doit se faire sur une coupe ou une fosse récemment ouverte. Elle n'est pas possible sur des échantillons remaniés comme ceux que récolte une tarière (sauf une tarière à gouge, peu utilisée !). Le type de structure renvoie à la forme de l'agrégat. On notera aussi la taille moyenne des agrégats, et le degré de développement de la structure (proportion de terre structurée).

La **porosité** (8) désigne l'abondance et la répartition des vides d'un sol. À

l'œil nu, on ne distingue que la macroporosité, mais on peut faire un diagnostic partiellement déductif, en tenant compte d'autres caractères, comme la texture et la structure. La récolte de volumes de sol non perturbé avec des cylindres à bord coupant, suivi de pesées en laboratoire, permet le calcul de la densité apparente des horizons, et indirectement de leur porosité totale, qui varie de 25 à 50 %.

La **consistance** (9) englobe un certain nombre de caractères, variant plus ou moins selon l'humidité du sol. Le plus important est la compacité, si importante pour l'enracinement qui s'apprécie avec le test de l'enfoncement de la pointe du couteau (elle peut se mesurer plus précisément avec un pénétromètre).

Les **éléments secondaires** (10) sont des éléments chimiques présents à l'état libre dans le sol (par opposition à leurs équivalents « primaires », inclus dans les minéraux du sol), comme produits de la formation ou du fonctionnement du sol : les plus communs dans nos sols des régions tempérées sont le fer et le manganèse à l'état d'oxyhydroxydes (concrétions rouille à noirâtre), et le calcaire (efflorescences ou « concrétionnements »).

Divers (11) : cette colonne peut être utilisée pour ajouter des remarques ou commentaires libres, concernant par exemple le pH de l'horizon, la nature géologique du sous-sol et des éléments grossiers, des traits d'évolution particuliers (revêtements argileux sur les agrégats signalant un lessivage, etc.), l'existence de calcaire actif (effervescence de la terre fine à l'acide chlorhydrique dilué, etc.).

Limites des horizons (12) : elles ne sont observables que sur des fosses ou des coupes. Dans certains cas on observe une limite très nette

entre deux horizons, pouvant induire des déviations de racines.

Rubriques d'environnement (13-21)

Elles permettent de mettre le sol en situation dans son environnement (voir Forêt-entreprise n°138, p. 46) Le **dessin du profil** (13) permet d'avoir une vision synthétique du « profil » de sol : on peut y utiliser les figurés conventionnels, mais aussi d'autres plus expressifs. L'**orientation** (14) renseigne sur la position de la fosse par rapport à la pente, et sur l'emplacement précis des descriptions et des prélèvements d'échantillons.

Schémas et plans (15) est un cadre assez libre pour faire des croquis de situation (toposéquence, par exemple) des descriptions de détails, etc. En revanche, la rubrique **localisation** (16) est capitale, elle situe le sol par le numéro de la carte IGN, les coordonnées de longitude X et latitude Y (obtenues par la carte, ou par un boîtier GPS). La **situation topographique** (17), intéressante pour interpréter l'évolution du sol, sa morphologie, son drainage naturel (la pente peut être mesurée avec une boussole topo, un clisimètre, ou être calculée selon la carte topographique). La **lithologie** (18) englobe les informations sur l'environnement géologique et la roche-mère d'après la carte géologique au 1: 50 000 la plus récente, complétée et vérifiée si possible par les observations sur le terrain (notamment pour les formations superficielles, inégalement traitées par ces cartes, selon leur ancienneté, l'auteur, etc.). L'**occupation du sol** (19) doit distinguer la végétation observable sur le terrain, forestière ou non, et celle que l'on présume en équilibre avec le climat local, généralement forestière, et

désignée par le terme de « climax » (que l'on est pas obligé de renseigner, en cas de doute). La rubrique **diagnostic** (20) résume le sol par deux composantes principales de la fertilité forestière : le niveau trophique et le régime hydrique. Le premier renvoie aux niveaux de la Flore forestière française, croisant les combinaisons de groupes écologiques d'espèces indicatrices et les types d'humus. Le second se décompose en drainage interne : estimation basée sur la morphologie du sol et la redistribution du fer libre (décolorations, taches de réoxydation, concrétions) et en réserve utile : ces notions sont rappelées plus loin dans ce dossier. Le

type génétique est un diagnostic qui relie entre eux les principaux caractères du sol et les rattache à un certain type d'évolution : c'est pour l'essentiel une affaire de spécialistes. La rubrique **suite à donner** (21) est un cadre pour des remarques libres, et notamment les informations supplémentaires recueillies ou à recueillir : analyses chimiques, photos faites ou à faire, etc. Pour les photos, par exemple, le réglage pour une qualité optimale est une vue à 3-4 m de distance de la face verticale (soigneusement rafraîchie au couteau) avec une focale de 50 mm, et un diaphragme fermé à f/8 (le flash se déclenche si la lumière est insuffisante), avec des

sensibilités de 200 ISO ou mieux. Les appareils réflex numériques récents rendent accessible à l'utilisateur l'étalonnage des couleurs pour une fidélité maximale, avec usage d'une mire-étalon dans le champ de la photo et une prise de vue au format « .raw » (où les trois signaux des capteurs sont séparés). ■

Nota bene : l'IDF a remis au catalogue formation 2007 une session de pédologie descriptive (juin 2007) en région Centre, qui peut être pour certains une occasion de s'immerger (ou se ré-immérer) dans la pratique.

En savoir plus

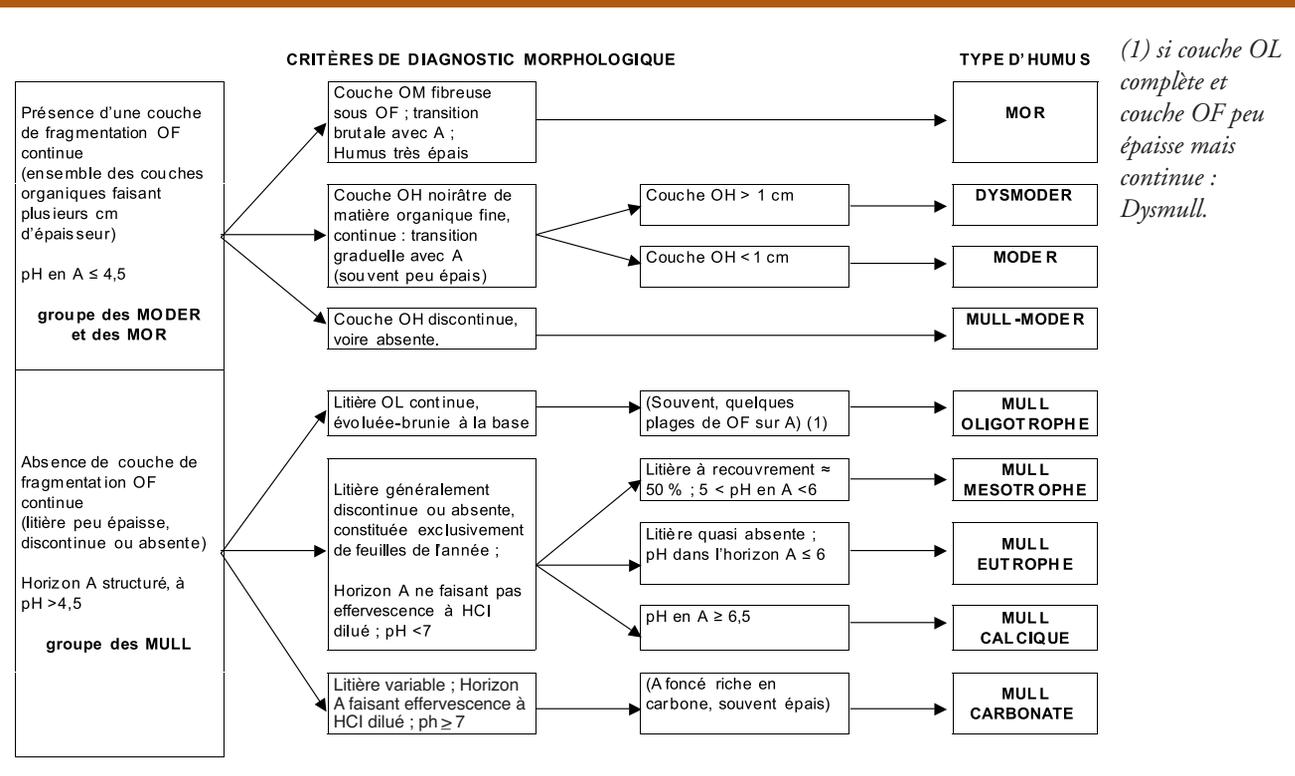
Baize D. et Jabiol B., 1995 – *Guide pour la description des sols*. Éditions INRA, Paris, 375 p.

Résumé

La description d'un sol, à partir d'une fosse ou d'un sondage, consiste à noter, horizon par horizon, les principaux caractères visuels ou tactiles observables, en respectant certaines règles. La précision est variable, elle doit être en accord avec la technique d'observation et les objectifs recherchés. Cette opération peut dans certains cas suffire au diagnostic, mais elle peut aussi être conçue comme une première étape, préalable à d'autres investigations ou analyses spécialisées. Même dans ce cas, la qualité des informations recueillies sur le terrain est déterminante pour la pertinence de ces données supplémentaires et leur intérêt. On ne saurait donc sous-estimer l'importance de cette opération.

Mots-clés : sol, fosse, profil, pédologie descriptive.

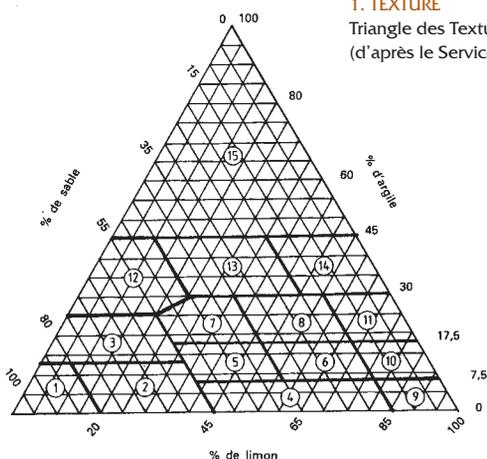
Clé de détermination des types d'humus



1. TEXTURE

Triangle des Textures

(d'après le Service de cartographie des sols de l'Aisne)



Sableuse

- 1 - sable
- 2 - sable limoneux
- 3 - sable argileux

S
SL
SA

Limono-sableuse

- 4 - limon léger sableux
- 5 - limon sableux
- 6 - limon moyen sableux
- 7 - limon sablo-argileux
- 8 - limon argilo-sableux

LIS
LS
LmS
LSA
LAS

Limoneuse

- 9 - limon léger
- 10 - limon moyen
- 11 - limon argileux

LI
Lm
LA

Argilo-sableuse

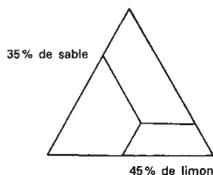
- 12 - argile sableuse

AS

Argileuse

- 13 - argile
- 14 - argile limoneuse
- 15 - argile lourde

A
AL
Ato



Principe de l'abaque granulométrique triangulaire

A tout point situé à l'intérieur du triangle correspond une proportion définie des 3 éléments : sables, limons, argiles, dont la somme, constante, est égale à 100.

On peut figurer sur le triangle des domaines granulométriques correspondant à certaines proportions types : ce sont les classes de texture.

8 – POROSITE

(types de macroporosité identifiables)

- Texturale (intergrains)
 - Tubulaire et vésiculaire (intra-agrégats)
 - Structurale ou fissurale (inter-agrégats)
- Noter aussi l'abondance (faible, moyenne forte, très forte)

9 – CONSISTANCE (à l'état humecté)

Plasticité (facilité de faire un boudin et de le déformer)

- Non plastique : impossible de faire un boudin
- Peu plastique : boudin possible mais très fragile
- Plastique : boudin possible, mais rompt à la déformation
- Très plastique : boudin possible, facilement déformable sans rupture

9 – COMPACTE (Test du couteau)

- Meuble : le couteau pénètre sans effort jusqu'à la garde,
- Assez compact : le couteau pénètre incomplètement, et demande un effort pour un enfoncement complet,
- Compact : pénètre de moins de la moitié, et jamais complètement, même avec effort,
- Très compact : même avec effort, la lame s'enfoncé au plus de quelques centimètres.

2 – COULEUR

(Avec référence au code Münsell)

- Plages oxydées
- Rouge (2,5 R ; 10 R)
- Ocre rouge (5 YR)
- Brun (7,5 YR)
- Brun jaune (10 YR)
- Plages déferifiées ou réduites
- Gris verdâtre (2,5 Y)
- Olive (5 Y)

3 – HUMIDITÉ

- Sec
- Frais
- Humide
- Très humide
- Mouillé

4 – ÉLÉMENTS GROSSIERS

Nature pétrographique

- Quartz, quartzite
- Grès siliceux
- Silix, chailles, cherts
- Calcaires lacustres
- Calcaires marins
- Craie
- Grès calcaires

Forme

- Roulé, arrondi
- Subanguleux
- Anguleux

Taille des éléments

- Granules (0,2 – 0,4 cm)
- Graviers (0,4 – 2 cm)
- Cailloux (2 – 7,5 cm)
- Pierres (7,5 – 25 cm)
- Blocs (>25 cm)

5 – MATIÈRE ORGANIQUE

(teneur en %)

- Nulle
- Faible (<1,8%)
- Moyenne (1,5 – 3,5 %)
- Assez forte (3,5 – 8%)
- Forte (8 – 12,5 %)
- Très forte (12,5 – 25 %)
- Tourbe (> 25 %)

6 – RACINES

Taille (diamètre en mm)

- Fines (<2 mm)
- Moyennes (2-5 mm)
- Grosses (5-20 mm)
- Très grosses (> 20 mm)

Abondance * (nombre/dm²)

- Faible (<1/dm²)
 - Moyenne (1 à 3/dm²)
 - Forte (3-5/dm²)
 - Très forte (>5/dm²)
- * concerne les racines fines (0,5-2 mm)

7 – STRUCTURE

Type de structure

- Particulaire : grains juxtaposés et libres, sans agrégats
- Continue, ou massive : horizon « d'une seule pièce », sans agrégats (horizon non structuré)
- Fragmentaire : existence d'agrégats de formes et de dimensions variables.

- Grumeleuse (gr)
- Polyédrique émoussée (pe)
- Polyédrique anguleuse (pa)
- Prismatique (pr)
- Columnaire (col)
- Lamellaire (lam)

Forme des agrégats

(dessins à réaliser sur place)

10 – ÉLÉMENTS SECONDAIRES

Nature

- Oxyhydroxydes de fer,
- Oxyhydroxydes de fer et manganèse
- Carbonates
- Silice

Forme

- Taches
- Nodules
- Pellicules
- Concrétions

11 – HORIZONS (principaux types)

- Horizon A : de surface (exemple : Ah ; Ap ;)
- Principaux indices : h (matière organique) ; p (perturbé).
- Horizon E (anciennement A2) : appauvri en éléments, appelé aussi horizon éluvial ; exemples : Eh, Eg (hydromorphie).
- Horizon B :
 - altération en place (structuration et libération de fer, couleur brune) : (B) ou Bw
 - enrichi en éléments ou illuvial : B+indice exemple Bt (argile), Bh (humus).
- Horizon BC : horizons de transition entre B et C.
- Horizon C : horizon peu altéré (« roche-mère »).

12 LIMITES ENTRE HORIZONS

Netteté (de la transition)

- Très nette (sans transition)
- Nette (<2 cm)
- Distincte (2-4 cm)
- Graduelle (4-8 cm)
- Diffuse (> 8 cm)

Régularité

- Régulière
- Ondulée
- Irrégulière
- Interrompue

Les analyses de sols en forêt : est-ce bien nécessaire ?

François Charnet, ingénieur à l'IDF

En matière d'analyses de sols forestiers, la situation est loin d'être aussi claire qu'en agronomie. Pourtant, l'analyse de sol est susceptible d'assurer une meilleure adaptation de l'essence à la station.

Les laboratoires le savent bien : les forestiers ne sont pas de grands consommateurs d'analyses. Ici, pas de conseiller de coopérative repassant chaque année sur les parcelles comme en agriculture, pour suivre l'évolution des sols. Même lors de plantations de plusieurs hectares, comme la reconstitution des peuplements après la tempête, qui engagent souvent des sommes considérables, cette dépense de quelques centaines d'euros est rarement faite. L'originalité de la forêt en comparaison des autres spéculations végétales y est évidemment pour beaucoup, mais dans quelle mesure les gestionnaires ou les propriétaires qui font l'impasse sur cet investissement se privent-ils d'un élément de diagnostic utile ? C'est ce que propose d'examiner cet article.

Quand l'analyse est superflue

Si l'aménagement s'inscrit dans une tradition de sylviculture extensive, avec des essences spontanées ou sub-spontanées pour lesquelles on dispose de références dans la région, et *a fortiori* pour des feuillus sociaux connus pour leurs faibles exigences, les outils de diagnostic globaux comme les catalogues de

stations forestières sont suffisants pour faire le choix des essences à favoriser ou à réinstaller. Les clés de détermination de ces catalogues font le plus souvent appel à des critères facilement observables : topographie, morphologie du sol (dont le type d'humus), plantes indicatrices (et groupes écologiques associés).

Si le catalogue n'existe pas, ces mêmes critères, observés sur la parcelle ou à défaut sur une parcelle contiguë en situation équivalente, permettront un diagnostic du niveau trophique (richesse chimique) et de l'économie en eau du sol. Ces caractères seront ensuite comparés, dans la Flore forestière française, aux grilles « acidité x humidité » des essences forestières pressenties ou et climatiquement convenables dans la région, afin d'étayer le choix. Ces méthodes valent encore pour les essences exotiques – en pratique souvent résineuses – pour lesquelles on connaît des peuplements de référence (si possible voisins) témoignant de la convenance de la zone pédoclimatique à reboiser pour les exigences de l'espèce considérée.

Si ces critères floristiques font défaut (par exemple dans le cas de peuplements denses à sous-étage quasi inexistant), l'observation directe du sol, renforcée par quelques mesures simples (mesure de l'acidité avec un pH-mètre colo-

rimétrique de terrain) suffira dans la plupart des cas pour situer la parcelle dans la grille « acidité x humidité » déjà mentionnée, ce qui ne dispense pas d'observer d'autres critères.

Quand l'analyse est utile

La détermination en laboratoire des caractéristiques physiques et chimiques du sol est recommandable chaque fois que l'on manque de points de références forestières dans un chantier de boisement, et que l'on ne veut pas se contenter de critères morphologiques (topographie, roche-mère, profil pédologique).

Les analyses renseignent sur l'état du sol sous le précédent cultural (les boisements de terres agricoles, par exemple), qui n'est que l'état zéro d'un nouveau cycle forestier. En effet, les caractères chimiques vont tendre, plus ou moins rapidement selon leur nature et le type de station, vers une valeur en équilibre avec le cycle naturel, ou cycle biogéochimique. Sur un sol sableux par exemple, le pH peut redescendre de sa valeur sous culture (5,5 à 6 selon la fréquence des amendements) à sa valeur forestière native (4 à 4,5) en dix à quinze ans, avec une perte concomitante en éléments minéraux (calcium,

magnésium, potassium) sous forme soluble. Sur des sols argileux ou pour des éléments peu solubles comme le phosphore, cette évolution peut être plus longue. Quoi qu'il en soit, il faut garder à l'esprit ces phénomènes quand on s'appuiera sur les résultats d'analyses pour le choix des essences-objectif, à plus forte raison dans le cadre de longues révolutions.

Une autre situation où le diagnostic physico-chimique du sol se recommande à l'attention du preneur de décisions est celle des sylvicultures semi-intensives ou intensives, où les analyses fournissent des critères pour la fertilisation :

- en premier lieu pour juger de l'utilité de cette pratique, sachant que dans beaucoup de cas les effets indésirables induits par l'apport d'engrais (comme la prolifération de la végétation concurrente) peuvent atténuer ou annihiler les effets positifs attendus ;
- ensuite pour fonder le choix de la formulation de l'engrais et les doses sur des critères plus objectifs, en remplacement de recommandations à valeur régionale, établies

souvent empiriquement et ne tenant pas compte du type de sol.

Ayons toutefois l'humilité de constater que les bases d'un calcul rigoureux à l'instar de la pratique agronomique, fondé sur les exportations et les restitutions, manquent le plus souvent, et qu'il faut se contenter de compromis.

On rangera dans cette catégorie les analyses préliminaires aux amendements calcaires pratiqués « à titre qualitatif », sur les sols les plus acides de certaines forêts domaniales, pour restaurer des sols acidifiés par la pollution atmosphérique (Nys, 2006).

sols épuisés par des pratiques anciennes – feillardage (1) de taillis, étrépages (2) dans des futaies de pins – par la récolte répétée des rémanents sur des sols à faibles réserves minérales (Cacot et al., 2006). Il peut aussi s'agir de dépérissements abiotiques liés à des carences minérales, accompagnés ou non par des symptômes foliaires, qui se révèlent parfois à l'occasion de stress climatiques. Dans tous ces cas, la recherche des causes et le calcul des doses passe par des analyses chimiques approfondies, en incluant les oligo-éléments.

Quand l'analyse est indispensable

Certains peuplements peuvent présenter des défauts de productivité qui ne s'expliquent pas par des contraintes stationnelles physiques (enracinement, drainage interne, réserve utile), ni par le niveau trophique, appréhendé par la flore et le type d'humus. Il peut s'agir de

Quelles analyses ?

D'abord, il faut savoir que les analyses sont des tests de laboratoire qui n'ont pas pour finalité d'appréhender la chimie du sol dans sa complexité, mais de référencer les situations de terrain (chantiers, expérimentations), afin de pouvoir éviter les échecs et reproduire les succès. Il est donc indispensable pour assurer cette fonction que le résultat soit assorti de l'indication du protocole de laboratoire ou de la méthode d'analyse utilisée, faute de quoi il est inexploitable.

Parmi ces analyses, on retiendra l'acidité. L'intérêt du pH est universel et souvent indirect : relation avec la richesse chimique du sol, prévision quant à l'état ou la solubilité de divers éléments.

Le détail des ions hydrogène et aluminium responsables de cette acidité n'est pas indispensable pour des applications de routine, mais en revanche on s'intéressera à la capacité d'échange, qui indique le pouvoir fixateur du sol pour les ions positifs en général (3). La connais-

Tableau 1
Utilité des analyses selon les situations et les objectifs

Objectifs	Futaies résineuses	Chênales et chénales-hêtrales	Feuillus précéieux	Ligniculture résineuse	TTCR, TCR, Biomasse
Situations					
Sols agricoles, jachères	-	-	x	x	X
Sols forestiers faiblement acides à calciques	-	(x)	(x)	(x)	X
Sols forestiers très acides et/ou dégradés	(x)	(x)	-	X	-
Landes, parcours herbeux sur sols pauvres	x	x	-	X	-
Peuplements dépérissants	X	X	X	X	X

(x) : accessoire ; x : utile ; X : indispensable

TCR : taillis à courte rotation ; TTCR : taillis à très courte rotation

Tableau 2
Choix des analyses selon les types de sols

Analyses / Types de sol	Carbone organique, Azote total	pH	Aluminium échangeable KCl	Capacité d'échange T + bases échangeables	Calcaire actif	Acide phosphorique DYER ou OLSEN	Acide phosphorique JORET	Oligoéléments EDTA
Sols agricoles non « calcaires »	x	x	-	x	(x)	x	(x)	(x)
Sols forestiers acides à mésotrophes	x	x	x	x	-	x	-	-
Sols calcaires « quelconques »	x	x	-	x	X	-	x	x

(x) : accessoire ; x : utile ; X : indispensable

sance des teneurs en bases échangeables est également indispensable, il s'agit de la quantité d'ions calcium, magnésium et potassium qui, à côté des ions acides (sans intérêt nutritionnel et souvent même toxiques), occupent la capacité d'échange et sont susceptibles d'être échangés dans la solution du sol pour être assimilés par les racines. La capacité d'échange et les bases échangeables sont exprimées en milliéquivalents (meq) de cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} ...) pour 100 grammes de terre, ou en centimoles par kilogramme (1 meq/100 g = 1 cmol/kg). Les laboratoires agronomiques les expriment plus volontiers en % d'élément (Ca) ou d'oxyde (CaO), afin de faciliter la comparaison avec les formulations et doses d'engrais. On passe de l'un à l'autre de ces modes d'expression par des coefficients de conversion qui sont dans tous les manuels. Parmi les autres éléments majeurs, l'acide phosphorique, souvent déficient dans les sols forestiers, sera analysé en utilisant l'un ou l'autre protocole selon le type de sol (Tableau 2), sachant que la méthode Duchaufour mise au point

pour les sols forestiers est peu accessible.

Ces quelques paramètres constituent en quelque sorte le programme minimum en matière d'analyses.

La commande éventuelle d'autres analyses dépendra de la problématique, du type de sol, de l'essence... et du budget disponible ! Le tableau 2 donne quelques critères à ce sujet ; pour en savoir plus, on consultera les ouvrages recommandés. Par exemple, sur les roches calcaires, ou crayeuses, la mesure du calcaire actif (fraction finement divisée et très réactive du calcaire total) permettra de prévoir un risque de blocage pour l'assimilation d'éléments comme le fer (phénomène de chlorose), inégal selon les essences (certains résineux y sont sensibles comme le pin maritime, d'autres moins comme le cèdre ou le pin noir d'Autriche).

Les oligo-éléments, ainsi nommés parce qu'ils sont présents dans les sols à faibles doses (quelques milligrammes par kg), jouent un rôle important dans la physiologie de l'arbre (réactions enzymatiques de la cellule végétale) et sont souvent

contraignants par carence. Parmi les quatre oligo-éléments traditionnellement analysés en agronomie, seuls le cuivre et – dans une moindre mesure – le zinc sont connus comme responsables de carence chez les essences forestières (carence cuprique du douglas ou de l'épicéa). Le bore présente moins d'intérêt et le manganèse est souvent surabondant dans les sols forestiers, au point d'être parfois toxique. La connaissance des symptômes visuels, comme l'aspect et les colorations anormales du feuillage, est précieuse pour le diagnostic des carences. L'analyse foliaire pourra au besoin compléter celle du sol.

Quel échantillonnage ?

Pour qu'une analyse ait un intérêt, les résultats doivent être représentatifs de l'ensemble de la parcelle. Il est inutile d'investir dans l'analyse d'échantillons prélevés à l'estime (voire sans repérage) sur une parcelle dont on n'a pas préalablement évalué la variabilité du sol.

Après un inventaire rapide des types de sols, il faut choisir le ou les types dominants dans la parcelle et délimiter des zones homogènes. Dans ces zones, on fera 5 sondages au minimum, distants de quelques mètres, et on prélèvera sur au moins trois niveaux, en s'appuyant sur la morphologie du sol : l'horizon de surface directement sous l'humus, un deuxième horizon vers 20-30 cm de profondeur, enfin un horizon vers 50-60 cm ou plus, selon la morphologie du sol. Pour chacun de ces niveaux, on mélangera les 5 échantillons pour constituer un lot, dont on enverra 300 à 500 g au laboratoire. On s'attachera

à réduire au minimum le temps de stockage

L'analyse assez détaillée d'un horizon coûte une cinquantaine d'euros. S'il n'y a qu'un seul type de sol sur la parcelle, et si on échantillonne 3 horizons, l'investissement est de l'ordre de 200 €.

Quels laboratoires ?

Si on a dans son département (ou un département voisin) un laboratoire à la Chambre d'agriculture, on pourra lui confier ces analyses. À défaut, un laboratoire de Conseil général (prix en général « soutenus »). Sinon, on préférera un gros laboratoire d'envergure nationale, comme le SAS (Olivet, Loiret), Europe-Sols (Toulouse), Agren (Arras), etc. Il est important que ces laboratoires respectent les protocoles de base, le plus souvent normalisés Afnor, et livrent ainsi des résultats comparables. Concrètement, cela amène à faire son choix parmi la quarantaine de laboratoires qui sont agréés par le ministère de l'Agriculture, et à éviter les petites structures, comme celles qui sous-traitent à des gros laboratoires américains, ce qui leur permet d'afficher des prix bas obtenus aux dépens de la qualité de service.

Quelle interprétation des résultats ?

Cette étape est une des plus délicates, et doit être faite dans la perspective de la problématique identifiée. Il faudra donc se détourner des interprétations éditées par les laboratoires eux-mêmes sur les fiches de résultats : elles sont souvent établies de façon automatique par des

logiciels, et se fondent sur des normes agronomiques propres aux grandes cultures, qui ne sont pas pertinentes pour la forêt. Il n'existe malheureusement pas de laboratoire pratiquant des conseils forestiers, et il faudra se référer à des publications techniques, comme les normes d'interprétation publiées dans le manuel de fertilisation de Bonneau (1995). Signalons dans ce

domaine l'initiative originale du CRPF Midi-Pyrénées (A. Delarue et L. Larrieu), qui proposent aux forestiers un outil d'interprétation sous la forme d'un fascicule et d'une application logicielle développée avec le tableur Excel, qui permet de saisir (ou d'importer) les résultats d'analyses et de confier à l'application l'interprétation des résultats (voir encadré ci-dessous).

Adishatz*!

Adishatz® est une application conçue sous Excel® 97 et 2000 pour Windows (compatible Mac), pour aider les forestiers à réaliser en routine des analyses de sol, indispensables lors du diagnostic stationnel préalable à un boisement de terre agricole ou bien très utiles pour guider le forestier dans ses choix de gestion dans les peuplements existants (Larrieu et Jabiol, 2001).

Il se présente sous la forme d'un classeur de 18 feuilles. Chaque échantillon de terre (et donc chaque horizon) est traité séparément.

Cette application :

- aide l'opérateur à l'élaboration de menus d'analyse adaptés aux différentes situations, en indiquant leurs coûts prévisionnels,
- facilite la transmission de la commande à un laboratoire compétent (après choix du laboratoire par l'opérateur, impression automatique de la lettre de commande qui accompagnera l'échantillon),
- compare les résultats analytiques aux données de la bibliographie existante et les interprète (de nombreux « garde-fous » réduisent le risque d'erreur de saisie),
- met en évidence les facteurs susceptibles de limiter la croissance des arbres,
- résume les principales caractéris-

tiques de l'échantillon analysé sous une forme graphique standardisée, afin de faciliter les comparaisons entre les horizons d'un même sol ou entre des sols différents,

- permet d'archiver les menus demandés au laboratoire ainsi que les résultats analytiques bruts.

De plus, plusieurs aides (glossaire, assistant de conversion, liste des principales références bibliographiques, liste des laboratoires français agréés, descriptif des méthodes d'analyse, bordereau des prix des prestations) appuient ou renseignent l'utilisateur.

De nombreux liens hypertextes et macros rendent la navigation rapide et conviviale.

Ce programme est disponible sous forme de CD-Rom sur simple demande écrite au CRPF de Midi-Pyrénées (contact : Julie Rota, CRPF Midi-Pyrénées, 7 chemin de la Lacade, 31320 Auzeville Tolosane, tél. : 05 61 75 42 00), en échange de 30 euros, et peut être consommé sans modération.

Avant d'utiliser Adishatz, il est utile de lire : **Larrieu L., Jabiol B., 2001** – *Analyses de sol en forêt : les choix du gestionnaire forestier* ; Rev. For. Fr. LIII – 5-2001 ; p. 558-567.

* signifie « Aide au Décryptage et à l'Interprétation Sans Harassement des Analyses de Terre pour forestiers Zététiques », et plus simplement « bonjour » en gascon.

En guise de conclusion, il ressort de ce tour d'horizon rapide que la situation est loin d'être aussi claire en foresterie qu'elle ne l'est en agronomie, pour ce qui est de la pertinence et de la spécificité de l'offre en matière d'analyses. Une augmentation de la demande, et à terme le développement sur le marché de laboratoires ou de bureaux de conseils forestiers pourraient résoudre ce problème. En attendant, il ne faut pas se priver de ce critère de décision, susceptible d'assurer de meilleurs choix d'aménagement. ■

Bibliographie

- **Baize D., (2000).** *Guide des analyses en pédologie, 2ème édition.* INRA Editions, Paris, 257 p.
- **Bonneau M., (1995).** *Fertilisation des forêts dans les pays tempérés.* Editions de l'Engref, Nancy, 367 p.
- **Cacot E., Eisner N., Charnet F., Léon P., Rantien C., Ranger J., (2006).** *La récolte raisonnée des rémanents en forêt.* Collection « Connaître et agir ». Brochure. Ademe, Angers, 36 p.
- **Delarue A., et Larrieu L..** *Adishatz (version 2) : aide à l'interprétation des analyses de sols à usage forestier.* (Logiciel fonctionnant avec Excel) : en vente au CRPF Midi-Pyrénées, Toulouse.
- **Larrieu L., (1998).** *Les analyses de sols pour la forêt : éléments de méthodologie et d'interprétation.* CRPF Midi-Pyrénées, 39 p. + annexes.
- **Harman, Nienhaus, Butin, (1991).** *Les symptômes de dépérissement des arbres forestiers.* IDF, Paris, 256 p. + une brochure " moyens de lutte ", 37 p.
- **Nys Cl., (2006).** *La restauration des sols par les amendements calco-magnésiens.* La Forêt Privée, n° 289, p. 33-40.

Résumé

Contrairement à l'agronomie, où l'intensité des exportations minérales par les cultures et la maîtrise des pertes par drainage obligent à un suivi régulier des stocks d'éléments par des analyses, le cas de la forêt est plus nuancé. Dans nombre de situations, une description assez fine du sol, assortie de quelques tests de terrain et de la notation d'indicateurs (le type d'humus, la flore), suffit pour faire des choix d'essences ou de modèles de sylviculture. Dans d'autres cas (peuplements dépérisants, cultures ligneuses intensives à courtes rotations, sols pauvres, appauvris ou pollués), le diagnostic devra prendre en compte des données quantitatives sur la chimie du sol, afin de fonder sur des bases solides la préconisation éventuelle de mesures préventives ou curatives destinées à préserver ou restaurer la qualité du sol. La qualité de l'échantillonnage est alors gage de l'intérêt des données recueillies. Il faut hélas se contenter le plus souvent des analyses proposées par les laboratoires agronomiques, qui ne sont pas toujours les plus pertinentes pour juger les écosystèmes forestiers.

Mots-clés : analyse chimique, diagnostic de fertilité, qualité des sols.

- (1) *Feuillardage : traitement des taillis à courte rotation (5-6 ans).*
- (2) *Étrépage : prélèvement de la végétation aérienne et de l'humus en sous-bois.*
- (3) *Demander l'extraction au chlorure de cobaltihexamine, mise au point par l'INRA d'Arras et maintenant pratiquée par quelques laboratoires agréés.*

Recherchons Forêts

Pour ses clients, la Société Forestière recherche actuellement plusieurs massifs feuillus ou résineux de production et des grands domaines à caractère patrimonial.

Contact : Société Forestière de la Caisse des Dépôts
Tél. : 01 40 39 81 27 - www.forestiere-cdc.fr
Email : direction.technique@forestiere-cdc.fr

N° 1 des transactions forestières
 Plus de 1 000 forêts en gestion - 130 spécialistes,
 dont 15 experts forestiers, à votre service



« Faire de la nature une valeur sûre »

Cette forêt est la mieux protégée de France

Akteur de la protection des forêts depuis 1986, **AROLE PF** s'engage à vos côtés grâce à son expertise en matière de produits phytopharmaceutiques pour la santé des forêts, la sylviculture, l'entretien du paysage, l'industrie du bois.

Une gamme complète de produits et de solutions, dans le respect des critères de certification environnementale et de gestion durable des forêts.



Dés herbant
 Débroussaillant
 Dévitalisant des souches
 Insecticide
 Répulsif à gibier
 Fongicide
 Peinture de marquage
 Colorant

Informations produits sur
www.arole.fr

Conseils pratiques

AROLE
 Protection des forêts

620 av. Blaise Pascal - B.P. 6 - 77551 MOISSY-CRAMAYEL Cedex
 Tél. (33) 01 64 88 93 05 - Fax: (33) 01 64 88 92 80 - Courriel: arole@arole.fr

Le sol, support de la production forestière : interprétation des caractères du sol comme contraintes

François Charnet, ingénieur à l'IDF

La description du sol (article 1 de ce dossier), éventuellement complétée par des analyses (article 2), apporte des éléments indispensables, mais qu'il faut interpréter et hiérarchiser du point de vue du développement et de la croissance de l'arbre. Cela amène à considérer les principales contraintes, en tenant compte pour chacune d'elles de l'autécologie des essences.

Chaque essence montre, à l'égard des principaux facteurs de milieu – et au premier chef des caractères du sol – des variations qui permettent de définir des valeurs seuils et des valeurs optimums. Certains de ces facteurs ont donc valeur de contraintes, et traduisent la prépondérance du milieu dans l'équilibre qui s'établit entre l'action du milieu sur l'arbre et la réaction de celui-ci sur le milieu (faute de quoi, il n'existerait pas de contrainte, l'arbre modifiant le milieu au gré de ses besoins !). L'ensemble des contraintes caractérise les « exigences » de l'essence ou son autécologie. Celle-ci est d'ailleurs imparfaitement connue pour la plupart des espèces. Un gros travail de synthèse et d'acquisition de connaissances reste à faire pour combler cette lacune, et aller au-delà des informations disponibles dans la littérature technique, souvent trop générales ou imprécises. Cet article ne prétend régler ce problème, mais hiérarchiser les caractères du sol, pour les grandes catégories d'essences. En dépend le choix judicieux des essences, pour une meilleure mise en valeur des terrains, une production forestière de qualité, et pour mieux faire face

aux adversités climatiques (sécheresses, stress hydriques).

Le climat, première contrainte

Dans l'ordre des limitations naturelles de la végétation forestière, vient avant le sol, les facteurs du **climat**, dans la mesure où il s'impose comme un facteur non maîtrisable (sauf peut-être le micro-climat), antérieur à tout autre. Sans développer ce sujet en marge du dossier, on donnera quelques indications sur la manière de l'appréhender.

Pour les essences spontanées, une approche synthétique fondée sur les aires climatiques ou sur les territoires phytogéographiques suffit en général, l'enveloppe générale de la répartition des principales essences étant connue. Pour les espèces exotiques, le recours aux variables climatiques est parfois nécessaire. Parmi les plus pertinentes : les dates des périodes à risque de gel, les températures estivales, le bilan climatique P-ETP et surtout le bilan pédoclimatique (présenté dans l'article suivant). À la suite de Rey, certains combinent P et T dans des

aires ou **diagrammes ombrothermiques**, afin de juger de la convenance d'une essence au climat local. D'autres utilisent des combinaisons de variables sous la forme d'**indices bioclimatiques** (revue critique dans Lebourgeois et Piedalou, 2005) – sans signification physique explicite – qui ont connu auprès des biogéographes une certaine vogue, mais dont le nombre pléthorique dans la littérature plaide contre eux. Par ailleurs, certains comme l'indice d'aridité sont utilisés sans considération des conditions de validité définies par leur auteur. Pour les événements rares (gels extrêmes ou températures excessives durant plusieurs jours, par exemple) le risque, évalué par la probabilité de retour de l'évènement (que Météo France peut parfois calculer), doit être rapporté à la durée du cycle de culture, aux surfaces concernées, etc.

Prospection racinaire

Les conséquences de l'enracinement sont multiples : stabilité au vent (voir les études post-tempête 1999) ; conditions d'alimentation en eau et de nutrition minérale. Son

contrôle est double : une composante endogène (propre à l'essence) qui détermine le type architectural d'enracinement de l'espèce, lequel s'exprime tant que le système racinaire ne rencontre pas de contraintes fortes, et une composante édaphique (liée au sol), qui rend compte de l'effet limitant de quelques caractéristiques du sol sur le développement des racines et qui s'exprime par la réduction de l'intensité de l'enracinement (densité de racines fines), avec des conséquences variables sur l'architecture générale.

Dans une description de sol, il est donc utile de noter les deux informations. L'enracinement gros et moyen peut faire l'objet d'un schéma, tandis que l'enracinement fin (diamètre <2 mm) sera noté par des classes de densité ou des catégories d'abondance. Pour une notation synthétique du système racinaire, on peut retenir deux paramètres (exprimés en cm) : la PFE, où profondeur de fort enracinement, qui marque la limite inférieure de l'enracinement fin et dense, et la PEMA (profondeur d'enracinement maximal apparent), connue souvent par défaut car le fond de la

fosse n'atteint pas toujours cette limite, indique la profondeur des dernières racines observées au fond de la fosse ou de la coupe. Les incidences de ces deux paramètres ne sont pas du même ordre, et en particulier une PEMA forte ne compense pas une PFE faible, car cette dernière joue un rôle prioritaire dans l'alimentation hydrique et minérale du sol, tandis que la première est plutôt un élément d'ancrage et d'appoint pour l'alimentation.

La profondeur d'enracinement est contrainte par des facteurs physiques comme :

- la compacité des horizons (liée à des paramètres non directement observables et interdépendants tels que la densité apparente, la porosité, la résistance mécanique : notions développées plus loin dans l'article sur le tassement) ;
- ou l'engorgement temporaire prolongé (signes d'hydromorphie, d'où l'importance de la classe de drainage interne).

En revanche, l'intensité d'enracinement croît avec des facteurs comme la réserve utile ou la capacité d'échange cationique (richesse en éléments minéraux en général), eux-mêmes liés à des caractères comme le taux d'argile (importance de la texture) et le taux de matière organique.



Alimentation en eau

L'économie en eau d'un sol englobe deux composantes : le régime hydrique (que l'on peut estimer d'après la classe de drainage interne) qui rend compte de la succession des états secs et humides au cours de l'année en fonction des événements climatiques et des facultés de ressuyage du sol ; et la

réserve utile qui résume la fonction capacitive du sol pour l'eau biologiquement utilisable.

La détermination de la classe de drainage interne ressort de l'examen des signes d'hydromorphie du sol (décolorations et taches ; éléments secondaires tels que concrétions ferro-manganiques) en prenant en compte les conditions de drainage « externe » (situation topographique, pente). C'est un des éléments majeurs de la station, dont le diagnostic gagne à être recoupé avec l'examen de la flore indicatrice, et qui détermine entre autres les essences spontanées « en station ». Ces liaisons sont résumées dans le tableau page 25, où figurent résumées les 9 classes de drainage définies par le service de cartographie des sols de l'INRA.

Le calcul de la réserve utile suppose définis :

- une profondeur (celle prospectée par les racines fines, soit PFE) ;
- la capacité de stockage en eau utile de chacun des horizons inclus dans la tranche de sol définie (exprimée en mm d'eau/cm de sol),

Valeurs de réserve utile unitaire pour les grandes classes de texture	
Classes de texture	Réserve utile (en mm/cm de sol)
S grossier	0,5
S moy-fin	0,7
SL	1,0
SA	1,35
LS	1,45
LMS	1,60
LAS	1,75
LM	1,75
LA	1,95
AS	1,70
A	1,75
AL	1,80
Alo sédimentaire	1,65
Alo d'altération	1,70
D'après Baize (2000), modifié	



Fosse circulaire en forêt de Chaux.

© E. Lucot

Analyse synthétique et statique de l'économie en eau des stations sur substrat argilo-siliceux en climat subatlantique

Drainage naturel		Indicateurs édaphiques			Régime hydrique	Indicateurs floristiques			
Qualificatif (STIPA)	Code	Horizon hydromorphe Profondeur (cm)	Drainage externe	Drainage interne		Combinaisons dendrologiques climatiques	Échelle d'hygrophilie	Espèces repères	
Excessif	1	> 120 cm	Plateaux et buttes, relief convexe ou plan (écoulements et/ou infiltrations rapides)	Perméabilité forte sur tout le profil	Engorgement fugace	Chênaies sessiliflores, chênaies sessiliflores-hêtraies (selon climat)	Mésoxérophile	Canche flexueuse, cladonies	
Favorable	2	Pseudogley 80 cm		Rupture de perméabilité profonde	Engorgement temporaire profond		Xérocline	Laiche à pilules	
Modéré	3	Pseudogley 50 cm		Rupture de perméabilité moyennement profonde (nappe perchée)	Engorgement temporaire moy. profond		Mésophile	Fougère aigle	
Imparfait	4	Pseudogley 25 cm	Bas de versant, dépressions sur plateau, relief concave (écoulements ralentis)	Perméabilité quelconque (nappe libre à déterminisme extrinsèque)	Engorgement temporaire près de sa surface	Chênaies pédonculées, chênaies-tremblaies	Hygrocline	Houlque molle, jonc diffus	
Faible	5	Pseudogley surface			Engorgement temporaire en surface		Mésohygrophile	Molinie, potentille, tormentille	
Assez pauvre	6	Gley > 120 cm	Fonds de vallon et vallées (écoulements concentrés)	Perméabilité quelconque (nappe libre à déterminisme extrinsèque)	Engorgement permanent de profondeur	Chênaies pédonculées (frênaies)		Circée de Paris, laiche espacée	
Pauvre	7	Gley 80 cm			Engorgement sub-permanent à mi-profondeur		Aulnaies-frênaies	Hygrophile	<i>Carex riparia</i> , <i>Carex div. sp.</i>
Très pauvre	8	Gley 50 cm			Engorgement permanent près de la surface		Aulnaies		<i>Galium palustre</i>
Submergé	9	Surface		Suintements	Submersion fréquente	Boulaies, saussaies	Hydrophile	Sphaignes, polytrich commun	

selon les textures et les densités ;
– la proportion volumétrique (estimée sur le terrain plus souvent que mesurée) des éléments grossiers, à déduire (voir l'exemple de calcul dans l'encart page suivante).

La contribution des éléments grossiers et des horizons rocheux profonds est le point faible de la méthode, car on ne sait pas les calculer. Empiriquement, certains praticiens s'inspirent – comme dans l'exemple page 26 – de valeurs mesurées en cases lysimétriques (travaux de Gras et Monnier à l'INRA de Versailles). Pour toutes ces raisons, le calcul de la RU est d'une

précision toute relative qui rend illusoire l'interprétation de différences entre sols inférieures à 10 mm.

Malgré ses imperfections, il permet de prévoir la capacité d'un sol à fournir à l'arbre l'eau qui lui manque en période de déficit climatique (de mai à septembre). L'appoint apporté par les remontées d'eau jusqu'à la limite de l'enracinement à partir d'horizons profonds non prospectés peut représenter plusieurs dizaines de mm selon la texture et la porosité, il peut être compté dans le bilan hydrique du sol comme un flux pro-

fond remontant.

Si la réserve utile est inférieure à 50 mm, les conditions d'alimentation en eau peuvent être considérées comme rédhitoires pour un objectif de production. Pour les RU entre 50 et 100 mm, les essences spontanées peinent en année fortement déficitaire, et les essences exotiques sont à choisir parmi les espèces « xérophytes » évitantes, qui limitent précocement leurs pertes d'eau par transpiration dès que le déficit apparaît (espèces méditerranéennes telles que le pin laricio), au prix d'une réduction de la croissance (croissance radiale de

Exemple de calcul d'une réserve utile (RU)

Pour un sol brun calcique argilo-limoneux AL de 40 cm d'épaisseur sur roche-mère calcaire, avec 15 % de cailloux calcaires dans l'horizon A et 30 % dans l'horizon B.

RU d'un horizon = épaisseur de l'horizon (en cm) x capacité de stockage (en mm/cm de sol) x (100 - pourcentage d'éléments grossiers)/100.

RU de l'horizon A entre 0 et 10 cm : $10 \times 1,80 \times (1-0,15) = 15,3$ mm.

RU de l'horizon B entre 10 et 40 cm : $30 \times 1,8 \times (1-0,30) = 37,8$ mm.

Soit une RU totale d'environ 53 mm.

Commentaire : cette valeur est pessimiste car elle ne tient pas compte de la contribution des cailloux et de la roche-mère calcaire (en dessous de 40 cm) à la RU, par déstockage d'eau en été. Pour l'horizon profond, les cartographes ajoutent au total précédent 20 mm s'il s'agit d'un calcaire compact (à ciment abondant), et 40 mm s'il s'agit d'une craie (plus poreuse car sans ciment) pour tenir compte de cet appoint. Dans le cas présent, La RU est donc vraisemblablement plus proche de $53 + 20 =$ environ 75 mm.

l'année N, puis croissance axiale, souvent de l'année N+1).



Alimentation minérale

Niveau de fertilité générale

La fertilité chimique d'un sol ou d'une station détermine en grande partie sa productivité, mais aussi sa capacité à supporter sans dégradation notable des exportations répétées d'éléments telles que celles associées à la récolte des rémanents. La nutrition azotée et la richesse en éléments majeurs assimilables (calcium, magnésium, potassium) sont en relation avec le cycle de la matière organique et peuvent se

juger indirectement et synthétiquement à travers le concept de **niveau trophique**, d'après des critères comme le pH dans l'horizon A, la morphologie de l'humus, et les espèces indicatrices du sous-étage. Cette appréciation, qui se fait avec une grille comme celle reproduite page 27 d'après une brochure éditée par l'Ademe (Cacot *et al.*, 2006), est suffisante dans la plupart des cas.

La sensibilité des essences à l'égard de l'alimentation minérale peut s'analyser par grandes catégories :
– les essences frugales comme les résineux (la plupart) et les feuillus sociaux (chênes communs, hêtre), des bois blancs (bouleau verruqueux) : ils prospèrent sur les sols

acides pourvu que l'alimentation en eau ne soit pas trop limitante, et la productivité ne chute de façon sensible qu'aux très faibles fertilités : niveau hyperacidophile, humus de type dysmoder (feuillus) ou mor (résineux).

– les essences exigeantes comme les feuillus dits précieux (merisier, frêne, noyer, etc.) qui exigent pour une bonne croissance au moins le niveau mésotrophe.

Carences minérales

Dans le cas de carences en certains éléments, suspectées d'après des symptômes visuels (aspect et coloration du feuillage, par exemple), les indicateurs de terrain ne suffisent plus et il faut avoir recours aux analyses de sols et/ou aux analyses foliaires (article 2 de ce dossier). Le tableau ci-dessous tiré d'un manuel par ailleurs recommandé (Bonneau, 1995) reproduit des normes d'interprétation définissant 4 classes de fertilité pour les sols.

Toxicité de l'aluminium

Ce risque est moins grand en forêt qu'en agriculture. Il concerne potentiellement les sols les plus acides, à pH en surface inférieur à 4,5 et à humus de type dysmoder ou mor. En conditions naturelles, ces sols ont des taux importants de matière organique qui ont un effet tampon à l'égard de l'aluminium libre, et de fait, les cas avérés de toxicité aluminiques sont plus rares *in situ* que ne le laisseraient attendre les résultats des recherches physiologiques en laboratoire, faites sur des jeunes plants cultivés dans des solutions nutritives. Selon les essences, les seuils de toxicité peuvent varier de 1 à 10 milliéquivalents d'aluminium échangeable pour 100 g de sol. Compte tenu du rôle antagoniste des deux cations

Définition de quatre classes de fertilité chimique en fonction de la quantité, en kg/ha, de potassium, calcium et magnésium échangeables, de P₂O₅ assimilable (méthode Duclaux) dans l'ensemble du profil

	1 Très faible	2 faible	3 Moyen	4 Bonne à très bonne
Potassium	< 360	360 à 510	510 à 820	> 820
Calcium	< 450	450 à 650	650 à 1800	> 1 800
Magnésium	< 140	140 à 200	200 à 350	> 350
P ₂ O ₅	< 430	430 à 610	610 à 1 160	> 1 160

Source : In Bonneau (1995)

Grille de détermination des niveaux trophiques

Dénomination	HYPER-ACIDE	ACIDE	MOYENNEMENT ACIDE	FAIBLEMENT ACIDE	MESOTROPHE	EUTROPHE	CALCIQUE	CALCAIRE
Symbole	AA	A	MA	(A)	MN	N	C	CC
Types d'humus ^(a)	Dysmoder Mor	Moder	Mull-moder Dysmull	Mull oligotrophe	Mull mésotrophe	Mull eutrophe	Mull calcique	Mull carbonaté
Critère de l'humus diagnostic	Couche OH > 2 cm ou couche OM	Couche OH (0-2 cm)	Couche OF complète	Couche OL complète	Couche OL incomplète	Couche OL disparue A structuré épais	Pas d'effervescence à HCl dans horizon A	Effervescence HCl dans horizon A
pH de l'horizon A	< 4] 4 - 4,5 [] 4,5 - 5 [] 5 - 5,5 [] 5,5 - 6 [] 6 - 6,5 [] 6,5 - 7 [> 7
Horizon(s) de diagnostic ^(b)	Bh et/ou Bs et parfois E	Bw, Bt ou Bs	Bw ou Bt		Bw		Bw et/ou B3Ca	A, R
Groupes écologiques ^(c)								
Acidiphiles des dysmoder et mor								
Acidiphiles du moder								
Acidiphiles large amplitude								
Acidiclines mull oligo et méso								
Neutronitroclines + large amplitude								
Neuroclines Large amplitude								
Neutrocalcicoles et calciclines								
Calcaricoles et calcicoles								

Couleurs obtenues lors de la détermination du pH avec un pH-mètre colorimétrique, dans l'horizon A.



> (a) Voir page 16 pour déterminer le type d'humus
> (b) Horizons de diagnostic : vers 30/40 cm, nomenclature FAO
> (c) Groupes écologiques : Flore forestière française, tome 1

majeurs, on considère plutôt le rapport calcium sur aluminium du complexe adsorbant, qui doit être supérieur à 1 pour sortir de la zone de risque.

Ajoutons qu'il existe un test chimique semi-quantitatif (test au fluorure de sodium) pour détecter la présence d'aluminium libre dans un sol, mis au point par les pédologues australiens pour les sols sur roches volcaniques basiques (riches en alumine) et utilisé en France pour reconnaître les sols à tendance podzolique (détails dans Baize, 2000).

Toxicité directe et indirecte du calcium

La notation de la présence de calcaire dit actif, qui désigne en fait la fraction fine, réactive, du calcaire total, ayant une incidence rapide sur les propriétés chimiques du sol et l'absorption racinaire, renvoie au comportement des essences face à la présence massive de calcium, et

à ces deux notions, à la fois liées et distinctes, que sont la calcifugie et la chlorose.

Les essences calcifuges sont celles dont la croissance et le développement sont perturbées sur les sols riches en calcium (sols calcimagnésiques, au pH dans l'horizon A supérieur à 6,5) : chez les feuillus, le châtaignier en est l'exemple-type. **La chlorose**, d'abord étudiée sur la vigne, désigne une pathologie aux symptômes peu spécifiques (jaunissement du feuillage), associée à des désordres physiologiques dans la photosynthèse, et provoquée par la carence en certains éléments. La plus connue est la chlorose ferrique. Cette carence peut être directe (teneur insuffisante de cet élément dans le sol), mais souvent elle est induite par l'abondance du calcium et le pH élevé qui y est associé, qui réduisent la solubilité et l'assimilabilité de la plupart des éléments et en l'occurrence du fer. Les mécanismes chimiques et

physiologiques précis de cette pathologie, qui se situent au contact sol-racine, sont du reste variables et sont loin d'être tous connus dans le détail. Les essences sont inégalement sensibles à la chlorose ferrique (pour les résineux, voir Riou-Nivert, 2005). Par ailleurs, il ressort de recherches en conditions contrôlées que la mycorhization – fréquente et spontanée *in situ* – joue un rôle important dans cette résistance à la chlorose.

La notation du pH, le test sur le terrain du calcaire actif, renforcé au besoin par son dosage en laboratoire apparaissent donc, sur tout sol développé sur une roche-mère calcaire, indispensables pour évaluer ce risque en fonction de la sensibilité des essences pressenties pour le boisement.

Les marges d'action de l'aménagiste

La phase de diagnostic, basée sur une description fine du sol et du

milieu, avec le recours ponctuel à des analyses ou à quelques mesures, se conclut par une liste des contraintes attachées à la station. Le rapprochement de ces contraintes avec les exigences connues des essences forestières (exemples dans Weissen, 1991) permet d'éliminer les cas flagrants d'inadaptation. Sans faire pénitence sur le dos d'autrui, il faut reconnaître que les connaissances autécologiques sont pour beaucoup d'espèces encore insuffisantes et que l'orientation actuelle de la recherche, centrée sur la modélisation plus que sur les études de cas *in situ*, ne permet guère d'espérer que ces lacunes soient comblées à court terme. Il est donc prudent, face à une expertise inégale et des normes d'interprétation perfectibles, de faire une place importante aux observations locales et à l'expérience du praticien.

L'autre voie, interventionniste, consiste à lever les contraintes, pour adapter – jusqu'à un certain point ! – le milieu à une ou des essences-objectif choisies en fonction de considérations économiques ou de directives administratives : c'est l'image des reboisements massifs d'après-guerre – il est vrai dans un contexte politico-économique différent – et dont certains bilans ont pointé les résultats aléatoires pour des investissements publics souvent colossaux. Ce que l'on peut en dire en substance, c'est que dans le domaine des propriétés physiques, les meilleures mesures

sont préventives (voir plus loin dans le même dossier, l'article sur le tassement), que la contrainte d'hydromorphie peut être évitée plutôt que levée par certaines techniques d'installation (Lévy et Lefèvre, 2001) alors que le drainage est techniquement difficile et peu rentable en forêt. Les propriétés chimiques ont toujours été plus faciles à corriger, mais après l'intérêt pour la fertilisation suscité il y a quelques décennies par le modèle landais, les bilans techniques et économiques sur le long terme faits ici et là par les Cetef ont significativement réduit le nombre des situations justiciables de cette pratique. Elle est maintenant restreinte (Cacot *et al.*, 2006) à la restauration de la fertilité des sols forestiers chimiquement épuisés par des pratiques sylvicoles intensives (selon les époques et les régions : feuillardage, étrépage, récolte des rémanents) et – sous la forme d'amendements calcaires – des sols acidifiés par des pollutions atmosphériques (Nys, 2006). Enfin et surtout, les marges financières actuelles dégagées par la production forestière rendent économiquement non envisageable ce qui est techniquement possible. Cette situation déplace la marge d'action de l'aménagiste, et l'orientent vers des sylvicultures naturalistes « à bas coût », qui s'appuient sur les mécanismes naturels (édaphiques, physiologiques, phytodynamiques) en renonçant à la transformation directe et massive du milieu. ■

Bibliographie

- **Baize D., (2000).** *Guide des analyses en pédologie (2^e édition)*. Editions INRA, Paris, 375 p.
- **Bonneau, M., (1995).** *Fertilisation des forêts dans les pays tempérés*. Editions de l'Engref, Nancy, 367 p.
- **Cacot E., Eisner N., Charnet F., Léon P., Rantien C., Ranger J., (2006).** *La récolte raisonnée des rémanents en forêt*. Collection « Connaitre et agir ». Brochure. Ademe, Angers, 36 p.
- **Charnet F., « Les racines face aux contraintes chimiques », in : Drenou C. (coord.), (2006).** *Les racines, face cachée des arbres*. Ouvrage collectif, IDF.
- **Lebourgeois F., Piedallu C., (2005).** Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices climatiques. *Revue Forestière Française*, LVII, n° 162, p. 331-356.
- **Lévy G., Lefèvre Y., (2001).** *La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire*. Editions de l'Engref.
- **Nys Cl., (2006).** La restauration des sols par les amendements calco-magnésiens. *La Forêt Privée*, n° 289, p. 33-40.
- **Riou-Nivert Ph., (2005).** *Les résineux, tome II : écologie et pathologie*. Institut pour le Développement Forestier, Paris, 447 p.
- **Weissen F. (coord.), (1991).** *Le fichier écologique des essences*. Groupe inter-universitaire – Ministère de la région wallonne (Belgique), 2 fascicules, 45 + 190 p.

Résumé

Au-delà de la caractérisation globale, l'orientation et l'exploitation des investigations sur le sol dans la perspective du diagnostic de fertilité fait appel au concept de contrainte. Dans un environnement pédoclimatique donné, les trois contraintes majeures sont l'enracinement, l'alimentation en eau et l'alimentation minérale. Les facteurs pouvant être, au gré des essences, contraignants par excès ou par défaut. Pour chacune de ces contraintes, on peut déjà procéder sur le terrain à d'utiles observations, qui au besoin pourront être complétées par des analyses ou des mesures.

Mots-clés : contraintes, enracinement, alimentation hydrique, nutrition minérale.

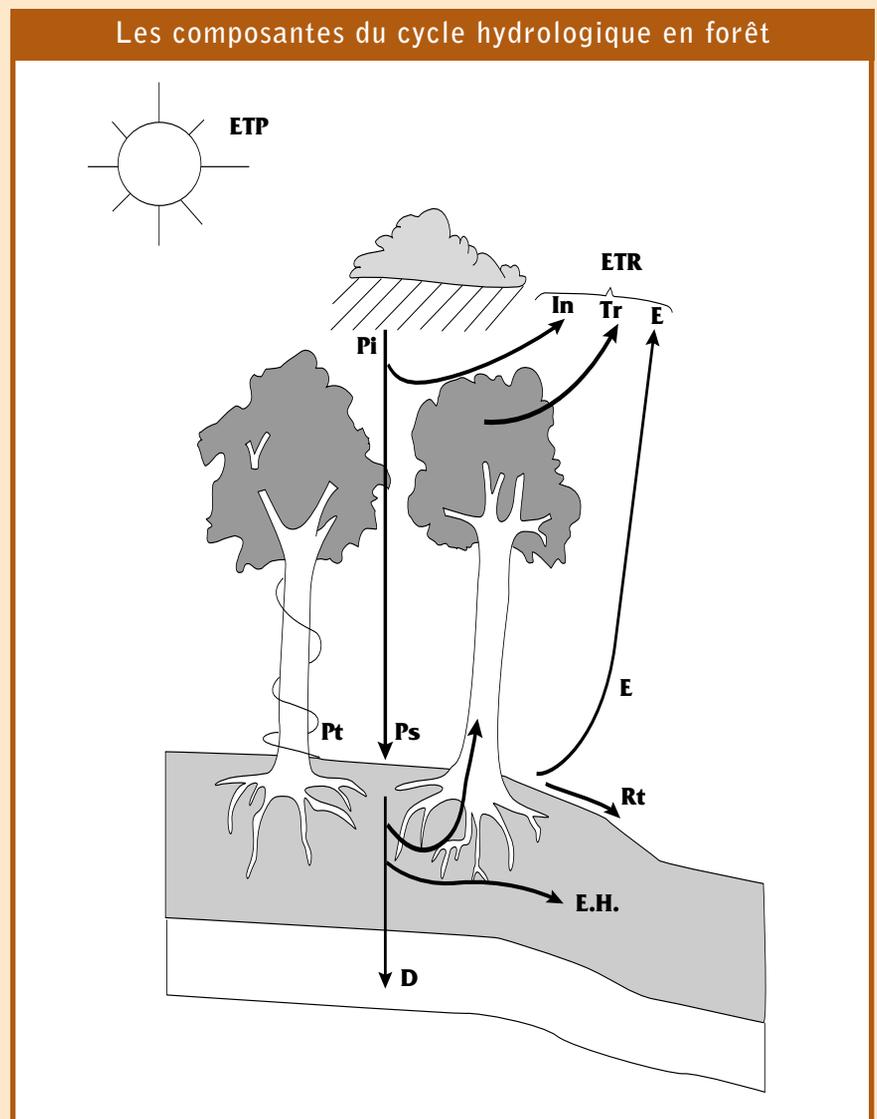
Le sol et l'eau : une clé de la productivité et de la santé des arbres

François Charnet, ingénieur à l'IDF

Les relations entre la forêt et l'eau sont multiples, complexes, et réciproques. L'importance des caractéristiques hydriques du sol sur la croissance des arbres et leur résistance aux stress climatiques (particulièrement mis en évidence depuis la série récente d'années sèches) justifie ici un article sur l'optimisation de ces caractéristiques hydriques du sol.

Rappels sur le cycle de l'eau en forêt

Le terme de cycle de l'eau rend compte du fait qu'il existe une rotation des masses d'eau entre océans et continents à l'échelle du globe. À l'échelle d'un peuplement ou d'une station, on identifie plusieurs flux d'eau entre l'atmosphère, le sol et le peuplement, dont l'intensité varie selon les situations, et au gré des événements climatiques. Ces diverses composantes locales du cycle de l'eau sont rappelées ci-contre. Le bilan de ces pertes et de ces gains conjointement avec l'évolution des stocks, détermine le régime hydrique du sol ou « économie en eau d'une station ». L'arbre ou le peuplement apparaissent dans ce cycle comme un compartiment de transfert entre le climat et le sol. Le climat est à la fois source d'eau (précipitations) et puits d'eau par le pouvoir évaporant de l'air (« demande climatique »), que les agrométéorologues ont formalisé par le concept d'évapotranspiration potentielle (ETP). Pour satisfaire cette demande climatique, une partie des précipitations (P) retourne dans l'atmosphère par évaporation directe (« interception nette » : *In*). L'autre partie provient de la transpiration de l'eau puisée dans le sol par le peuplement.



ETP: évapotranspiration potentielle; ETR: évapotranspiration réelle; Pi: précipitations incidentes; Ps: précipitations au sol; Pt: écoulement le long des troncs; In: interception; Tr: transpiration; E: évaporation; Rt: ruissellement; E.H.: écoulements hypodermiques; D: drainage.

D'après Aussenac, 1980, modifié

Les deux fonctions hydriques du sol : drainage et stockage

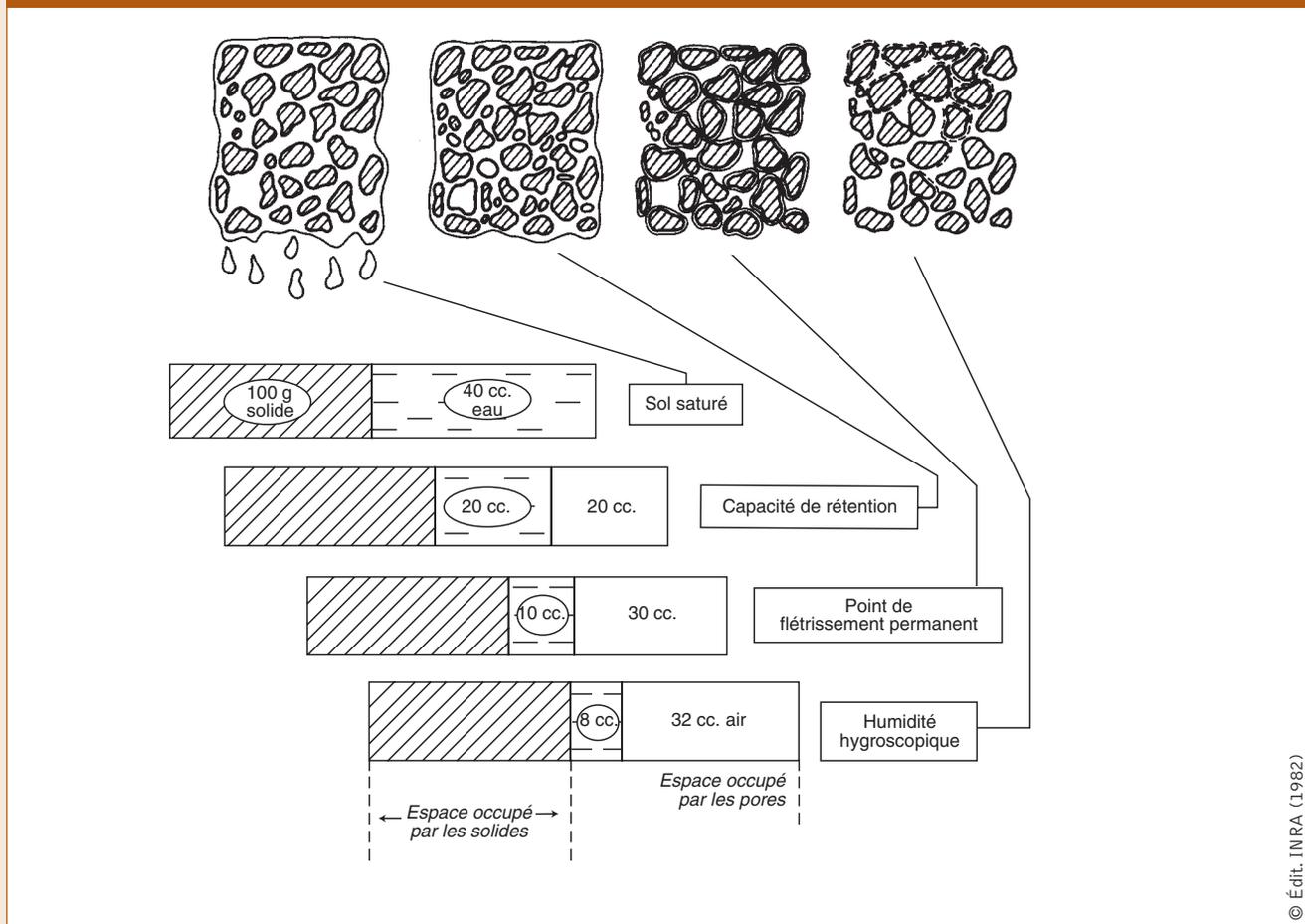
L'eau arrivant au sol percole au travers des fissures et des plus gros pores du sol (macroporosité) et se fixe à l'état de pellicules sur les particules élémentaires du sol, ou dans les pores les plus fins (microporosité). La première fonction du sol, dite « conductrice », conditionne, avec les facteurs de situation que sont la topographie et le relief, le drainage interne du sol (façon dont s'évacuent naturellement les eaux gravitaires, selon la perméabilité des divers horizons). L'autre fonction, « capacitive », rend compte de

la faculté du sol à stocker une fraction de l'eau infiltrée et constituer ainsi une réserve où l'arbre pourra puiser, notamment durant les mois d'été où le bilan hydrique est déficitaire ($P < ETP$).

Le drainage interne est conditionné – la situation topographique étant donnée – par la structure et la texture du sol. Les sols bien structurés de texture quelconque et les sols sableux sont généralement à drainage rapide. Les sols argileux ou limoneux mal structurés, les sols à horizons profonds imperméables sont à drainage interne défavorable ou pauvre, source d'excès d'eau temporaires pouvant s'exprimer par une nappe perchée. L'engorgement de tout ou partie du sol, s'il est suffisamment long (quelques semai-

nes) laisse une empreinte dans la physiologie du sol : ce sont des décolorations grisâtres et des tâches d'oxydation de couleur rouille. Ces signes d'hydromorphie, par leur intensité et leur profondeur d'apparition, constituent, avec les critères indirects du drainage externe évoqués plus haut, le principal élément de diagnostic sur le terrain. Pour aller plus loin et quantifier le drainage naturel du profil, on peut mesurer la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol, avec un perméamètre (ou infiltromètre). En revanche, la mesure d'un paramètre voisin comme la conductivité hydraulique (en cm/h), se fait plus facilement en laboratoire sur un volume de sol prélevé sur le terrain sans perturbation. Elle est maximale

Schéma indiquant les espaces occupés par les phases solide, liquide et gazeuse, dans un sol de limon argilo-sableux (In : Callot *et al.*)



© Édit. INRA (1982)

à l'état saturé, quand toute la porosité est occupée par l'eau. Ces mesures sont surtout pratiquées par les hydrauliciens pour le dimensionnement des réseaux de drainage en sol agricole, ou à des fins de recherche. Le forestier peut se contenter, avec les critères morphologiques, recoupés éventuellement par une analyse des groupes écologiques de plantes indicatrices, de situer le sol dans une échelle de drainage interne (comme celle en 9 classes élaborée par l'INRA, voir article précédent page 25), ce qui est suffisant pour juger de l'adaptation d'une essence à la station.

La fonction de réserve, évoquée succinctement dans l'article précédent sous l'appellation « réserve utile » (RU) est quant à elle surtout conditionnée par la taille des grains (texture, granulométrie) et leur ajustement (dont rend compte la densité apparente). Ce réservoir est en fait délimité par deux caractéristiques hydriques correspondant à deux états d'humidité. La limite supérieure du réservoir est l'humidité dite « à la capacité au champ », qui correspond à la notion vieillie mais suggestive « d'eau suspendue », soit en gros l'humidité du sol après égouttement ou « ressuyage », concrètement en sortie d'hiver et 48 h après la dernière pluie. La limite inférieure, de nature biologique, est l'humidité au point de flétrissement permanent, qui correspond au taux d'humidité où l'eau résiduelle n'est plus absorbable par les racines (à une tension approximative de -16 bars). La différence entre ces deux valeurs seuils définit exactement l'eau utile, où fraction mobilisable pour la production. La réserve utile du sol est la somme, jusqu'à une profondeur donnée (celle de la prospection par les racines), de la réserve unitaire

des divers horizons entre la surface et la base de l'enracinement. Son estimation est souvent entachée d'imprécision, du fait de l'incertitude affectant ses déterminants (humidités caractéristiques plus souvent extrapolées que mesurées, profondeur d'enracinement, charge en éléments grossiers et contribution de ceux-ci à la mise en réserve d'eau, etc.). Il faut raisonnablement se contenter d'une évaluation à 10 mm près.

Aspects saisonniers du cycle de l'eau et bilan hydrique

Une année hydrologique, commençant par convention le 1^{er} septembre, peut être subdivisée en 4 saisons :

- une période de réhumectation, où les précipitations encore faibles s'infiltrent pour ramener l'ensemble du profil – dont la réserve utile en fin d'été a été vidée à 80 % au moins – à un état d'humidité proche de la capacité au champ. À ce stade, l'influence sur les nappes est quasi nulle.

- une période d'infiltration efficace, hivernale, où les précipitations maintenant abondantes s'infiltrent assez rapidement en profondeur et alimentent la nappe libre de surface. Celle-ci se met en charge et son niveau (surface piézométrique ou toit de la nappe) monte en proportion du bilan de cette période, selon des modalités variant en fonction de la géologie locale. Dans le cas d'un substrat ou d'horizons profonds peu perméables, on observe assez tôt la formation d'une nappe « perchée », temporaire et même fugace – affectant le sol lui-même et s'écoulant transversalement,

pendant que la nappe libre ou semi-libre sous-jacente est alimentée lentement et de façon différée par les pertes verticales du sol (jamais nulles). En cas de sous-sol perméable (formations sableuses, par exemple), les eaux gravitaires alimentent plus rapidement et plus directement la nappe libre, profonde de quelques mètres (notion commune de « nappe phréatique ») à quelques dizaines de mètres.

- une période de régression de la nappe, pouvant commencer dès le printemps pour les nappes perchées directement mobilisables par la végétation et aller jusqu'au tarissement complet en été. Pour les nappes libres, plus profondes, la baisse du niveau est lente, leur vidange naturelle (partielle) venant soutenir le débit des rivières en prenant progressivement le relais du ruissellement. En conséquence, la pente de la nappe (ou « pente motrice » dans le jargon hydrologique) – qui est à peu près parallèle à la pente de la surface du sol au maximum hivernal de leur niveau – s'amenuise pour devenir quasi nulle en période estivale, au moment de l'étiage des rivières.

La contrainte par excès d'eau : connaissance et maîtrise

L'engorgement hivernal du sol, se traduisant par l'hydromorphie, est préjudiciable à la végétation forestière pour plusieurs raisons : il apporte un excès d'eau à une période de repos végétatif où les besoins sont quasi nuls et déjà couverts par un bilan climatique excédentaire ; il occupe toute la porosité des sols, abaissant l'aération des racines et, par le jeu des équilibres

entre phase liquide et gazeuse, la teneur en oxygène dissous dans l'eau. Comme conséquence du fait précédent, il limite l'enracinement en profondeur et donc la réserve utile. Sur un sol hydromorphe, dont l'exemple type est le pseudogley, l'arbre souffre de conditions asphyxiques en hiver et en début de végétation, et d'une réserve utile insuffisante pour faire face à la sécheresse estivale.

Face à l'excès d'eau, il existe pour le forestier plusieurs solutions :

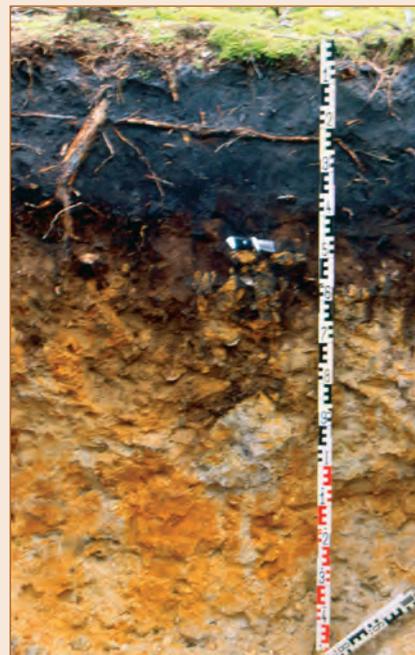
– **agir sur les causes** : la question du drainage artificiel en forêt, souvent posée, n'a de sens que si les causes (topographiques et géomorphologiques) de l'excès d'eau ont été identifiées. Dans beaucoup des cas en effet, la station considérée est dans un secteur bas et concave du paysage, lieu naturel de concentration et d'accumulation temporaire des écoulements conduisant à l'existence d'une véritable nappe en charge ; dans ces conditions, il est illusoire d'espérer améliorer significativement la situation par un réseau de fossés de drainage, dont le coût serait hors de proportion avec son efficacité, limitée par la faible conductivité hydraulique des sols colluviaux et par la faible pente générale. Dans le cas de sols de plateaux où l'engorgement est plus restreint et fugace, les travaux d'assainissement peuvent avoir un sens en abaissant le niveau moyen de la nappe perchée et en écourtant la durée de l'engorgement en sortie d'hiver, ce qui peut faciliter l'installation d'une plantation. Selon la morphologie du sol, on aura recours aux tranchées drainantes (sols à deux couches) ou au billonnage (sols argileux d'hydromorphie capillaire) : on trouvera les détails techniques dans le manuel de Lévy

et Lefèvre (2001). Notons enfin, pour faire transition avec les remarques sur la gestion du sous-étage, que le drainage peut favoriser des espèces sociales hygrotolérantes et nuire ainsi à la reprise par leur concurrence.

– **adapter l'essence à la station** : les espèces sont inégalement sensibles à l'engorgement des sols. Dans le cas d'essences spontanées « en station », le problème se pose différemment, pour savoir si la productivité dans les conditions d'économie en eau de la parcelle est compatible avec les exigences de rendement ou les contraintes technico-économiques de l'aménagiste. Pour les essences exotiques, la confrontation de la station à ce qui est connu de leur autécologie (voir les diagrammes de la Flore forestière, par exemple), si possible recoupée par des observations locales, permet (parfois) de choisir une essence adaptée à la situation et aux autres contraintes.

– **jouer sur la sylviculture** : le peuplement, à travers ses diverses strates, influence lui-même dans une certaine marge l'économie en eau du sol. Les choix et interventions sylvicoles représentent donc une possibilité de réduire – significativement ou à la marge selon l'inertie du régime hydrique – l'intensité et/ou la durée de l'excès d'eau. Les plantations avec accompagnement ligneux, par exemple, font jouer au sous-étage un rôle culturel d'assainissement du sol profitable à l'installation des arbres-objectif. Dans les stades mûrs, cet effet est moins sensible car il existe un effet d'auto-assainissement du peuplement, qui dépend alors de la densité en arbres dominants ou codominants. Ces problèmes s'effacent dans les modèles de sylviculture irrégulière proches de la nature.

La contrainte hydrique par manque d'eau



Podzol humique hydromorphe.



Podzol humique à drainage interne rapide.

Ce cas est devenu préoccupant ces dernières années, où les déficits hydriques ont été particulièrement fréquents.

Il existe plusieurs niveaux de risques :

– le premier lié aux contraintes stationnelles : un climat régional peu arrosé ou à forte ETP, et/ou un sol à

réserve utile médiocre ;
 – le deuxième lié à une ou des essences inadaptées à la station (plantation de frêne sur sol de plateau à faible RU, par exemple) ;
 – enfin les risques exceptionnels liés à des anomalies climatiques (sécheresses sévères, par exemple).
 Un sol favorable sur le plan de l'économie en eau réduira d'autant, en intensité et en durée, la période de sécheresse. De ce point de vue, deux sources de l'alimentation en eau sont à examiner : la réserve utile, et l'appoint apporté par les flux d'eau remontants (appelés improprement « remontées capillaires »).

La réserve utile dépend, on l'a vu, des caractéristiques intrinsèques du sol, mais aussi d'un paramètre à déterminisme (partiellement) biologique pouvant varier sur un même sol selon les essences : la profondeur d'enracinement.

Des RU inférieures à 50 mm sont rédhibitoires pour un objectif de production ; les RU entre 50 et 100 mm sont fortement contraignantes surtout sous climat local peu arrosé ; et au-delà de 100 mm, il n'y a que des effets positifs à attendre, tant en productivité qu'en résistance aux sécheresses (mais pas aux canicules, qui sont des chocs thermiques indépendants du bilan hydrique saisonnier – lequel peut être très déficitaire ou non). Quant à l'appoint des remontées depuis les horizons profonds, il

dépend beaucoup de leur nature et de leur humidité : maximal sur les textures limoneuses quant un niveau de nappe libre à faible profondeur sous les racines assure un renouvellement quasi continu de la ressource (flux en régime permanent) ; minimal quant il s'agit de sols sableux à nappe très profonde (2 m et plus) à faibles réserves et faible conductivité hydraulique (flux non conservatifs, en régime transitoire, avec sollicitation partielle du stock).

L'amélioration possible de la composante intrinsèque de la RU est à la marge (bonification du taux de matière organique), celle de la profondeur l'est dans certains cas un peu moins (amélioration par le sous-solage). L'appoint d'eau n'étant pas économiquement envisageable, l'action du forestier consistera à détourner au maximum les flux d'eau au profit de la végétation forestière, par des interventions sylvicoles appropriées. Sans prétendre examiner dans le détail toutes les situations, l'idée directrice est d'optimiser le partage des ressources hydriques au profit des arbres-objectif, en agissant sur la densité à tous les stades du peuplement (densité initiale, régime d'éclaircies) tout en veillant au développement du sous-étage, et à son contrôle éventuel, en tant qu'étage concurrent pour l'eau. Les sylvicultures dynamiques sont globalement favorables de ce point de vue, et les tra-

voux de l'INRA de Nancy (Ausse-nac, 1993) ont montré que l'effet des éclaircies sur le gain d'alimentation en eau pour les arbres marqués en réserve était significatif pendant les 5-7 ans qui suivent l'intervention.

Enfin et surtout, la principale marge de manœuvre de l'aménagiste reste le choix de l'essence, en fonction de l'économie en eau du sol, du climat local, et de spéculations éventuelles sur une évolution du climat (Ausse-nac, 1993 ; Charnet, 2002 ; Charnet, 2005). ■

Pour en savoir plus

Ausse-nac G., (1993) – *Déficits hydriques et croissance des arbres forestiers*. Forêt-Entreprise n°89 (1993/1), p. 40-47.

Charnet F., (1999) – *Douglas et stress hydrique*. Forêt-Entreprise n°127, pp. 41-44.

Charnet F., (1992) – *Étude du dépérissement du douglas dans l'Ouest, après les sécheresses de 1989 –*, Forêt-Entreprise n°107, p. 46-47.

Charnet F., Paillassa E., Dumé G., (1996) – *Étude des dommages causés par les sécheresses de 1989, 1990 et 1991 aux peuplements de douglas dans le Centre-Ouest*. Rapport IDF, Orléans, 37 p. + annexes.

Charnet F., (2002) – *Thèse INA-PG*,
Charnet F., (2005) – *Diagnostic stationnel et besoins en eau des principales essences forestières*. Forêt-Entreprise n°162, p. 42-48.

Lévy G., Lefèvre Y., (2001) – *La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire*. Éditions de l'ENGREF, Nancy, 223 p.

Résumé

L'eau, comme le facteur trophique, peut être une contrainte par excès ou par carence de la végétation forestière. Ces deux contraintes ont une composante d'origine stationnelle, représentée par le drainage interne et la réserve utile, et une composante aléatoire, manifestation des variations climatiques. Pour maîtriser le cycle de l'eau, l'aménagiste a des moyens plus limités qu'en agriculture. À défaut de contrôler le bilan climatique où le fonctionnement du sol, il lui reste une marge d'intervention en régulant la consommation du peuplement par la sylviculture. Toutefois, le bon choix de l'essence reste la mesure la plus sûre et la plus efficace pour éviter ou réduire les problèmes, donnant tout son intérêt à l'autécologie des essences.

Mots-clés : économie en eau, stress hydrique, hydromorphie.

Tassement des sols : attention danger !

François Charnet, ingénieur à l'IDF

Si l'on veut que le concept de gestion forestière durable soit autre chose qu'une nouvelle mode comme il en apparaît (et en disparaît) régulièrement, il faut qu'il renvoie à des objectifs, des actions et des critères. La conservation de la fertilité, en accord avec l'intégrité de l'écosystème, en est un. Or, si les composantes chimiques de la fertilité sont connues de longue date, on ne peut pas en dire autant des composantes qui relèvent de son état physique. Cet article est centré sur la nature, les causes et les conséquences d'une des formes majeures de la « dégradation physique des sols » : le tassement.

Les dégâts causés aux sols par l'exploitation d'arbres abattus par la tempête de 1999 ont entre autres relancé l'intérêt pour les études sur l'impact des travaux et de l'exploitation sur les sols. Alors qu'aux EU et au Canada, ces questions ont fait l'objet de recherches dès les années 60, l'expertise française ne remonte guère à plus de dix ans, à l'exception des travaux du CTBA dans les années 80 (Rotaru, 1983).

En préalable, il faut préciser la notion de tassement et la situer dans une typologie des dégâts ou perturbations au sol. Il existe au niveau européen une classification fine fondée sur une notation des états de surface, qui a été testée par Deonchat (2001), sur des chantiers d'exploitation de Haute-Garonne, et comparée à une méthode néo-zélandaise, pour aboutir à une typologie modifiée de 26 types de perturbations de surface. Plus récemment, une synthèse bibliographique et un suivi de chantiers ont été menés dans le cadre d'un programme de recherches inter-organismes (Lamandé *et al.*, 2005 ; résumé dans Ranger *et al.*, 2005).



© Lamandé *et al.* (2005)

Le genre d'impact que l'on voudrait ne plus voir.

Un phénomène multiforme

Pour s'en tenir aux perturbations du sol lui-même, il est importe de distinguer :

– la compaction ou tassement proprement dit, généralement révélée par l'empreinte laissée au sol (les

ornières, avec ou sans bourrelets). Certains distinguent un tassement sans ornière et superficiel sous l'appellation de « tassement dynamique » ou « martelage ».

– la prise en masse : c'est la destruction de la structure sans perte de volume (tous les vides étant occupés par l'eau) en conditions d'engorgement, conduisant à un état liquide, qui par séchage confère au sol une structure quasi continue. Les sols forestiers sont peu sensibles à cet aléa, sauf quand l'humus est décapé ou récolté.

– le scalpage est un arrachage d'une partie superficielle du sol par cisaillement, souvent dû au patinage des roues. Le tassement résultant est le plus souvent superficiel. Les surfaces affectées sont moindres.

– le remaniement (ou pédoturba-tion) : il s'agit d'un mélange essentiellement vertical des horizons du sol. Ce dégât est en fait le résultat d'une série de perturbations non limitée au passage d'engins, dont les travaux d'andainage.

Pour comprendre les transformations précises de l'état du sol que recouvrent ces désignations,

quelques rappels de physique du sol sont toutefois nécessaires.

Les propriétés physiques du sol

Ces propriétés relèvent de deux grandes catégories : des caractéristiques statiques essentiellement descriptives (densité, porosité, humidité), et des caractéristiques dynamiques qui révèlent des comportements et relèvent d'une branche spécialisée, la mécanique des sols (résistance mécanique à la compression, au cisaillement ; réversibilité des déformations ; etc.).

Du point de vue de la rhéologie (science des matériaux), le sol est un solide triphasé. Dans un volume de sol donné V_t , la phase solide, constituée pour l'essentiel des particules minérales – avec en surface des particules organiques – occupe un volume V_s . Le volume restant, correspondant aux vides de toutes tailles ménagés par l'arrangement des particules, est appelé **porosité totale Pt**. *In situ* et selon les saisons, la porosité peut être occupée en proportions variables par les deux autres phases : liquide et gazeuse. À l'égard de la mobilité de l'eau, on distingue la macroporosité, ensemble des vides les plus grands (entre les agrégats ou les grains) où l'eau circule, mobilisée par les forces de gravité, et la microporosité, où l'eau fixée sur la phase solide par adsorption, peu mobile, est mise en réserve (voir article précédent du dossier). La macroporosité, selon les points de vue, est appelée capacité pour l'air (ou en air) par les agronomes, car dans un sol ressuyé c'est la phase gazeuse qui l'occupe, alors que pour les hydrologues, elle corres-

pond peu ou prou à la notion de porosité efficace, désignant la fraction de l'espace poral où l'écoulement de l'eau est rapide – dans une nappe, par exemple.

La **densité apparente (sèche) d_a** est une grandeur physique qui exprime la masse volumique d'un sol en place. Celle-ci est le rapport de la masse (séchée en laboratoire pour avoir un état de référence) d'un horizon au volume qu'il occupe sur le terrain. Ainsi une densité apparente de 1,5 (valeur courante) correspond à une masse volumique sèche de $1,5 \text{ g/cm}^3$ ou $1,5 \text{ t/m}^3$. La plupart des sols présentent des densités apparentes comprises entre 1 et 2.

La **densité d_r , dite réelle** (l'autre ne l'est pas moins !), qu'il vaudrait mieux qualifier de densité solide, est celle des particules du sol, constituées de minéraux primaires ou de produits d'altération. Elle varie selon la nature minéralogique des particules. En dehors des sols sur calcaire, des horizons exclusivement argileux ou riches en humus, les horizons minéraux de la plupart des sols ont des d_r voisines de 2,6 : valeur qui correspond à la densité des minéraux les plus courants, parce que les plus résistants à l'altération : les quartz et les feldspaths. Pour un volume de sol donné, la différence entre d_r et d_a est due à l'existence *in situ* d'une porosité Pt. La formule reliant ces trois caractéristiques est :

$$Pt \text{ (en \%)} = \frac{(d_r - d_a)}{d_r} \times 100$$

Ainsi, un sol moyen répondant aux critères ci-dessus, dont la densité apparente mesurée est de 1,5, aura une porosité Pt calculée de $(2,6 - 1,5)/2,6 \times 100 = 42 \%$. Cela veut dire qu'un tel horizon, saturé d'eau, aura une humidité volumique voisine de 42 %.

Les propriétés mécaniques

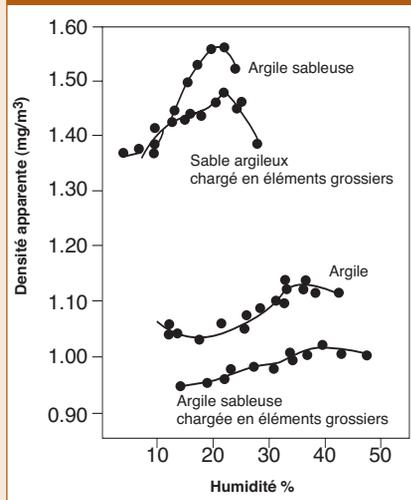
Ces propriétés sont encore moins communes aux praticiens que les précédents. Ce sont pourtant elles qui permettent de prédire la réaction des sols soumis à des contraintes.

Si l'on s'en tient aux deux principales formes de perturbation évoquées plus haut (tassement et scalpage), elles impliquent deux caractéristiques, la résistance à la compression (effort normal à la surface du sol) et la résistance au cisaillement (effort tangentiel). Le bilan global des forces détermine le comportement du sol, qui dans quelques cas peut être caractérisé par une loi.

En géotechnique, l'acquisition de ces données passe par des tests de laboratoires faits en conditions contrôlées (et normalisées) sur des « éprouvettes » ou sur des échantillons remaniés. Passons rapidement sur le cisaillement, étudié en laboratoire par la méthode de Casagrande ou les essais triaxiaux, sur le terrain avec un scissomètre, pour nous arrêter sur la contrainte en compression, qui est en jeu dans le tassement des sols.

Le test de référence, utilisé en génie civil, est l'**essai Proctor** ou **test de compactibilité**, qui consiste à mesurer, à divers états d'humidité, la densité apparente « compactée » de couches de sols soumises à une série normalisée de chocs avec un « mouton » (sorte de piston). Les résultats de ces expériences, reportés sur un même graphique, définissent une courbe densité compactée-humidité, spécifique de l'échantillon, qui illustre l'influence de l'humidité sur le compactage

Figure 1 : Effet de l'humidité sur le compactage de quatre sols



obtenu, lequel passe par un maximum (l'optimum Proctor). La figure 1 regroupe les courbes ainsi obtenues sur quatre grands types de sol.

Une analyse de la littérature sur ce sujet fait ressortir trois grandes catégories de comportements : les matériaux argileux sont peu compactibles car la microporosité qui y domine est difficile à réduire ; les textures grossières à large distribution telles que les sables limoneux ou limono-argileux (sables dits mal

classés ou hétérométriques), que l'on peut trouver dans les altérites ou les colluvions, sont sensibles à la compaction car il y a « serrage » des vides grossiers par les particules plus fines ; enfin les matériaux grossiers à distribution granulométrique « étroite » (sédiments bien classés ou homométriques) tels que les sables éoliens ou la plupart des sables fluviatiles, sont assez peu sensibles à la compaction.

Le test Proctor a l'inconvénient de tester des échantillons remaniés et avec des contraintes qui diffèrent sensiblement de celles rencontrées en forêt, où la compaction est due à des pressions au sol de pneumatiques ou d'outils, à des traînages de grumes. Aussi, malgré des tentatives d'adaptation (aux sols agricoles, notamment), et des essais dérivés comme l'essai uniaxial de consolidation, qui permet de calculer un indice de compression spécifique du sol, certains lui préfèrent des tests de terrain avec des protocoles moins lourds : **la pénétrométrie**.

Le pénétromètre classique (voir photo) est un outil portable mis au point par les agronomes pour étudier l'influence des passages d'engins sur la compacité des sols au champ, ou l'incidence de celle-ci sur le développement des racines. Il mesure la résistance d'un horizon ou matériau à l'enfoncement d'un cône en métal de surface connue et de profil standardisé (angle de 50°). Par suite, cette valeur, appelée aussi « indice de cône », s'exprime en unités de pression (pascals ou bars, entre autres). Les sols ayant un indice de cône élevé sont peu sensibles au tassement, mais sont aussi difficiles à prospecter par les racines. Comme cette valeur dépend du matériau, mais aussi de son humidité – l'eau jouant le rôle de lubrifiant en abaissant les forces

de friction internes – on ne peut comparer les valeurs mesurées sur divers horizons ou sols qu'en conditions hydriques semblables, avec toutes les difficultés théoriques quant au choix des critères définissant ces conditions (humidité, potentiel hydrique ou état de référence comme la capacité au champ). Les autres défauts attribués au pénétromètre sont la persistance d'un certain « effet opérateur » – car la vitesse d'enfoncement recommandée de 3 cm/s et la direction normale sont inégalement respectées, enfin une interprétation des résultats complexe (l'indice de cône peut difficilement être relié aux autres caractéristiques mécaniques du sol).



Intensité, causes et conséquences du tassement

Le tassement, ou son équivalent la compaction, ayant été définis comme une réduction de volume du sol, qui se fait pour l'essentiel aux dépens des vides les plus grands, ceux de la macroporosité ou capacité pour l'air, il convient d'en examiner l'intensité, l'étendue et la rémanence.

Pour en mesurer l'ampleur, les critères visuels peuvent être trompeurs, une ornière profonde pouvant être compatible avec un faible compactage, si le sol a flué latéralement pour créer des bourrelets. La densité apparente est un bon indice, et si on dispose de l'humidité volumique à la capacité au champ, on pourra en déduire par différence la capacité pour l'air, aux conséquences chimiques et physiologiques nombreuses.

Physiquement, il correspond aux situations où la résistance méca-



© F. Charret, IDF

Stagiaire IDF testant avec un pénétromètre la résistance mécanique d'un sol de prairie sur granite, en Côtes-d'Armor.

Tableau 1 : Capacité de portance de quelques types de sols (d'après Bailly, 2005)

	Capacité de portance	
	En kPa	En kg/cm ² ou bars
Sable sec	150-250	1,5-2,5
Sable humide	300-500	3-5
Argile sèche	400-1 200	4-12
Argile humide	200-300	2-3
Argile mouillée	50-150	0,5-1,5
Sol alluvial	500	5
Tourbière boisée	40-70	0,4-0,7
Tourbière ouverte	10-40	0,1-0,4

nique du sol est inférieure à la contrainte appliquée. C'est donc le résultat d'une conjonction de facteurs, certains intrinsèques (sol fragile) ; d'autres circonstanciels (contrainte forte, état du sol peu portant).

La capacité de portance définit le niveau de contrainte mécanique qu'un sol peut subir sans déformation irréversible (cette déformation révélant le passage de l'état élastique à l'état plastique). Elle dépend du type de sol (texture, charge en cailloux) mais aussi de son état d'humidité. Le tableau ci-dessus reproduit quelques ordres de grandeurs à connaître, et à comparer aux pressions moyennes appliquées lors des travaux forestiers, qui sont de l'ordre de 3 kg/cm².

Les pressions réelles exercées sur le sol sont du reste bien supérieures (environ 5 fois) à la pression de gonflage des pneus et à la pression moyenne, notamment au droit des crampons et des bords de la carcasse du pneu. L'usage des pneus basse pression n'est bénéfique que si le poids total de l'engin n'est pas supérieur, car c'est lui qui détermine la profondeur de l'impact. La plupart des travaux s'accordent par ailleurs sur le fait que l'essentiel du tassement est acquis dès les pre-

miers passages d'engin, concrètement dès les trois ou cinq premiers passages.

Les conséquences du tassement

Elles sont multiples : les plus directes sont une réduction de la porosité totale et une augmentation conjointe de la densité apparente, surtout dans les 30 premiers cm. Cette réduction affecte inégalement les classes de porosité : ainsi la macroporosité (ou capacité pour l'air) peut baisser de près de 80 %, quand la porosité totale ne baisse que de 20 % !

Les conséquences en sont une aération réduite, nuisant au bon fonctionnement des racines ; et une réduction de la perméabilité et de la rapidité de ressuyage du sol, qui entraînent une tendance à l'hydromorphie et à l'hypoxie (défaut d'oxygène). Celle-ci interfère d'ailleurs plus ou moins directement avec les caractères chimiques, dans la mesure où beaucoup d'entre eux sont liés par des réactions d'oxydoréduction.

Au total, toutes ces transformations se traduisent, dans la plupart des cas, par une baisse de la productivité forestière. Elle peut s'acquérir dès la phase d'installation, car la

mycorhization, la densité et la profondeur d'enracinement des plants sont affectés par des augmentations de densité apparente, la valeur de 1,8 (ou un indice de cône de 30 kg/cm²) apparaissant comme un seuil au-delà duquel l'enracinement est bloqué (Charnet, 2003). Les impacts chiffrés sur la productivité sont peu documentés dans les études européennes, mais on a quelques exemples circonstanciés ailleurs : il faut une augmentation de 10 % de la densité apparente pour voir apparaître une baisse significative de croissance. Une augmentation de 26 % peut causer une diminution (par rapport au témoin) de la croissance en hauteur de près de 20 %, et une diminution de l'accroissement en volume d'environ 50 % ! Concrètement, cette dégradation peut se traduire dans les tables de production par une descente d'une classe de productivité, voire plus.

La persistance des effets n'est qu'imparfaitement connue, mais des travaux nord-américains indiquent des transformations persistant après 30 ou 40 ans. Les phénomènes de restauration en jeu in situ sont d'ordre physique (alternances gel/dégel ; humectation/dessiccation) et surtout biologique (action perforatrice des animaux fouisseurs ; traction et affouillement par les racines). Quant à la restauration par le travail du sol, elle est coûteuse et de résultats incertains (Club des six, 2001).

Prévention avant toute chose

L'incertitude quant aux possibilités et la vitesse de restauration donne toute son importance à la préven-

tion du risque, basée sur quelques critères, et au respect de quelques règles.

Concernant la prévention du risque, il existe des grilles ou clés de prévision plus ou moins sophistiquées, élaborées par des services forestiers au Canada ou aux EU (Lewis *et al.*, 1990), et plus récemment en France (« Club des Six », 2001 ; Ranger, *in* Lamandé *et al.*, 2005). On en donne un exemple dans le tableau 2, adapté d'un guide de terrain canadien.

Cette clé prend en compte des critères sans doute moins « fins » que ceux étudiés par la recherche discutés plus haut, mais accessibles à l'utilisateur final sans instrumentation particulière. L'entrée de la clé est en effet la granulométrie à 20 cm de profondeur (charge volumique en éléments grossiers et texture de la terre fine). Le niveau de risque est ensuite modulé selon l'état d'humidité du sol, en fonction de trois états de base : sec, frais (en gros, à la capacité au champ : la terre tache un peu les doigts) ou humide (le sol est brillant et exsude l'eau sous la pression des doigts).

On voit bien dans ce tableau que les facteurs de « rigidité » des sols, qu'ils soient intrinsèques (forte charge en cailloux) ou circonstanciels (sol sec) ont un effet positif qui masque celui des autres facteurs. L'existence d'un humus épais (plus de 20 cm) fait baisser le niveau de risque d'une classe par rapport aux valeurs du tableau.

Précautions à prendre : les bonnes pratiques

En guise de conclusion opérationnelle à tout ce qui a été précédemment écrit, les enseignements actuellement disponibles peuvent être synthétisés sous la forme d'un cahier des charges ou guide des bonnes pratiques dont tout propriétaire-sylviculteur ou aménagiste soucieux de préserver son capital-sol pourra faire son profit. La liste qui suit résume les prescriptions déjà données dans d'autres publications spécialisées par l'AFOCEL (Cacot, 2001 ; Cacot et Pischedda, 2005) ou l'ONF (Richter, 1999 ; Richter et Durand, 2005) auxquelles on se reportera pour les précisions. Un important travail d'évaluation de

ces problèmes a été fait récemment sur des chantiers de démonstration, dans le cadre du programme « Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt », coordonné par l'ONF (Bartoli *et al.*, 2006).

Les points principaux sont :

- Organisation générale du chantier
 - Ouverture de cloisonnements pérennes de 3-4 m de largeur, suffisamment espacés (15-20 m en éclaircie, 30-40 m en amélioration), afin de limiter la surface tassée.
 - Étaler les rémanents dans les cloisonnements pour protéger le sol sur les cloisonnements (couches de 70 cm minimum).
 - Installer les places de dépôt sur des zones saines.
 - Organiser le réseau de cloisonnements afin de limiter les déplacements des engins de débardage.
 - Assurer la connectivité du réseau (busage des fossés et tranchées, franchissement de rivières, entre autres).
- Organisation du débardage

Si l'on est sur un sol à risque (voir clé), éviter de travailler sur un sol non ressuyé (en hiver : après 2-3 jours sans pluie).

Orienter le travail de bûcheronnage pour faciliter de débardage. Terminer le façonnage sur les places de dépôt.

En conditions très particulières, envisager des solutions inhabituelles (débardage par câble, à cheval ; etc.).

● Matériel utilisé

Choix du matériel le plus adapté, en fonction de la topographie (en particulier les pentes) des dimensions du réseau de cloisonnements, de la capacité de portance des sols, etc.

Dans la mesure du possible, et surtout en conditions difficiles, utiliser

Tableau 2 : Clé de détermination du risque de compaction du sol (d'après Lewis *et al.*, 1990, adapté)

Granulométrie (à 20 cm)		Niveau de risque, selon l'humidité du sol		
Charge grossière (%)	Texture de la terre fine	Sol sec	Sol frais	Sol humide
> 75 %	Quasi indifférent	Nul	Faible	Moyen
35-75 %	Sableux S, SL	Nul	Faible	Moyen
	Limoneux s.l. L, LS, LSA	Faible	Moyen	Fort
	Argileux A, AS, AL...	Moyen	Fort	Très fort
< 35 %	Sableux S, SL	Très faible	Faible	Moyen
	Text. moyenne LAS, LSA...	Faible	Moyen	Fort
	Limoneux S, SL	Moyen	Fort	Très fort
	Argileux A, AS, AL...	Fort	Très fort	Très fort

pour les engins de débardage des équipements réduisant les impacts au sol, comme les pneus basse pression, les chaînes ou les tracks (semi-chenilles sur roues couplées). Dans ces zones, éviter les engins trop lourds.

Sans doute, le réalisme technique et surtout économique de ces mesures préventives dépendra du contexte. En forêt privée, et dans beaucoup de régions, l'équipement moyen des sociétés d'exploitation forestière rend illusoire le recours aux derniers progrès du machinisme. Il reste donc au gestionnaire, en fonction de sa connaissance du terrain et des conditions socio-économiques, à hiérarchiser ces prescriptions et à les adapter. ■

Résumé

Le tassement ou compaction est la forme la plus courante et la plus dommageable de la dégradation physique des sols, caractérisée par une perte de volume aux dépens de la macroporosité, qui s'accompagne d'une série de modifications des caractéristiques physiques du sol (aération, perméabilité, etc.) avec des manifestations visuelles de dégâts – en particulier d'orniérage – variées. Parmi les conséquences moins directes, on dénote des modifications de la biodiversité (singulièrement de la flore) et surtout une altération de la productivité forestière, plus ou moins pérenne selon l'intensité du tassement et les conditions de station. Si les travaux de recherche s'appuient sur un socle théorique initialement développé par les géotechniciens et les agronomes, ayant recours à des protocoles de mesure complexes, les forestiers – notamment anglo-saxons – ont mis au point des outils opérationnels d'évaluation du risque basés sur des observations de terrain et accessibles au praticien non spécialiste. L'intérêt pour ces questions a été relancé en France par les dégâts causés par les exploitations qui ont suivi la tempête de 1999, comme en témoigne les programmes de recherche récents ou en cours. Le coût et l'efficacité incertaine des travaux de restauration du sol donnent tout son intérêt à une démarche préventive qui se traduit dans l'organisation des chantiers et l'utilisation d'un matériel adapté.

Mots-clés : tassement, compaction, dégradation des sols, gestion durable des sols.

Bibliographie

- **Bartoli M., Pischedda D., Chagnon J.-L., (2006)** – *Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt, Les chantiers de démonstration*. Rapport Final de la Convention DGFAR n° 61.45.80.24/04). Ministère de l'Agriculture et de la Pêche -ONF-CTBA, 74 p.
- **Cacot E., (2001)** – *Exploitation forestière et débardage : pourquoi et comment réduire les impacts ?* – Informations-Forêt n°4, fiche n° 637, 6 p.
- **Cacot E., et Pischedda D., (2005)** – *Récolte des bois et respect des sols : un dialogue à développer entre acteurs*. Dossier « tassements du sol... ». Rendez-vous Techniques de l'ONF, n°8, p.36-43.
- **Charnet F., (2005)** – *La protection des sols : sensibilisation et études en forêt privée*. Dossier « Tassements du sol... ». Rendez-vous Techniques de l'ONF, n°8, p. 50-51.
- **Charnet F., (2003)** – *L'enracinement des arbres et les propriétés physiques des sols*. Forêt-entreprise, n°154, p. 37-43.
- **Club des Six, (2001)** – *Après la tempête, que faire avant de reconstituer la forêt ?* Dossier de 10 fiches techniques. ENGREF-CEMAGREF-INRA-ONF-IDF-CRPF Lorraine-Alsace.
- **De Paul A. et Bailly, M., (2005)** – *La compaction des sols forestiers, définition et principes du phénomène*. La Forêt Wallonne, n°76, p. 48-57.
- **De Paul A. et Bailly, M., (2005)** – *Effet de la compaction des sols forestiers*. La Forêt Wallonne, n°76, p. 21-33.
- **De Paul A. et Bailly, M., (2005)** – *A propos de la pression exercée par les pneus, chenilles et sabots*. La Forêt Wallonne, n°78 (sept./oct.), p. 21-33.
- **Deconchat, M., (2001)** – *Effets des techniques d'exploitation forestière sur l'état de surface du sol*. Annals of Forest Science, v. 58, p. 653-661.
- **Jabiol B., Ranger J., Richter C., (2000)** – *Sol sensible ou résistant ? Eléments simples de diagnostic de la sensibilité à la dégradation chimique ou physique*. La Forêt Privée, n°253, p. 30-46.
- **Lamandé M., Ranger J., Lefèvre Y., (2005)** – *Effets de l'exploitation forestière sur la qualité des sols*. Office National des Forêts, Les Dossiers Forestiers n°15 (Janvier 2005), 131 p.
- **Ranger J., Lamandé M., Lefèvre Y., (2005)** – *Perturbations au sol liées à l'exploitation forestière et conséquences pour l'écosystème*. Dossier « Tassements du sol... ». Rendez-vous Techniques de l'ONF, n°8, p. 27-35.
- **Richter C., (1999)** – *Mieux respecter les sols forestiers lors des opérations mécanisées : un enjeu de gestion durable*. La Forêt Privée, n°249, p. 51-58.
- **Richter C. et Durand P.-E., (2005)** – *Les cloisonnements d'exploitation : pourquoi et comment les protéger ?* Dossier « Tassements du sol... ». Rendez-vous Techniques de l'ONF, n°8, p. 48-49.
- **Rotaru C., (1985)** – *Les phénomènes de tassement du sol forestier dus à l'exploitation mécanisée du bois*. Revue Forestière Française, XXXVII, n°5, p. 359-369.
- **Sutter B., (1994)** – *Débardage à cheval : utopie ou réalité ?* Afocel-ArmeF, Informations-Forêt n°1, p. 105-116.

Coup d'envoi des chartes régionales bois-construction en Limousin

Samuel Six, IDF

En Limousin, la première charte « Bois construction environnement » a été signée entre le conseil régional et la fédération française du bâtiment. Son objectif : augmenter significativement la part du bois dans la construction. D'autres régions s'apprêtent elles aussi à signer leur charte régionale, économique et environnementale.

Le 28 mars 2001, 8 ministères et 9 organisations professionnelles signent l'accord cadre national « Bois construction environnement ». Cet accord vise à augmenter la consommation de bois dans la construction, donc de stocker durablement le carbone (voir Forêt-entreprise n°168). Par ce document, l'État et les professionnels s'engagent à faire progresser la part du bois dans la construction de 10 à 12,5 % d'ici à 2010.

Première déclinaison régionale de l'accord cadre national

Le Limousin par la signature de la première charte « Bois construction environnement », le 12 avril 2006, a une fois encore montré le dynamisme de la région. Professionnels et politiques ont décidé de valoriser les atouts économiques et environnementaux du bois pour contribuer au développement économique de la région, notamment par la création d'emplois. D'après les données de l'IFN et une étude réalisée sur la ressource exploitable, la production annuelle de bois en Limousin représente 4 735 000 m³, dont 3 869 000 m³ mobilisables. Avec

une récolte actuelle de 2 600 000 m³/an environ, un accroissement de la mobilisation de 1 000 000 m³/an est envisagé. « Il est couramment admis que 1 000 m³ de bois récoltés créent un à deux emplois directs » assure-t-on au conseil régional. L'augmentation de la récolte du bois en forêts limousines pourrait ainsi créer plus de 1 000 emplois directs et autant d'emplois induits.

Modernisation de la première transformation

Cette charte associe les acteurs du bâtiment et les collectivités locales au développement de la filière bois en partenariat avec les professionnels de l'amont et de la transformation. « L'un des objectifs premiers est de stimuler la demande et d'organiser l'offre de bois, afin de développer l'aval de la filière vers une économie du bois transformé créatrice de plus de valeur ajoutée » explique le président de la région, Jean-Paul Denanot. La priorité que se fixe la région consiste à poursuivre la modernisation de la première transformation de manière à parvenir à un volume de sciage en mesure de répondre parfaitement aux besoins. Par ailleurs, la création

de matériaux en bois reconstitué ou d'isolants à base de fibres de bois, ouvre de nouveaux débouchés dont les volumes s'annoncent importants. Le défi est d'augmenter la part de bois dans un marché où il est actuellement en position modeste. Notamment au travers de la promotion de l'usage du bois et de ses dérivés auprès des opérateurs du bâtiment ; mais aussi par le développement d'une ingénierie adaptée au bois, la mise en place d'une assistance technique auprès des entreprises et la formation des prescripteurs et architectes. Le recours au bois dans la construction est logique, notamment du fait de la diminution des ressources de la planète, combustibles fossiles et matériaux non renouvelables. C'est ce qui motive le terme « environnement » de la charte, fondée sur le constat que les qualités du bois permettent de répondre aux exigences de développement durable et de qualité environnementale.

Un plan de 5 ans

La signature de la charte « Bois construction, environnement » devra se poursuivre par la définition d'actions concertées et d'engagements des partenaires, ainsi que par

la mobilisation de crédits publics dans un premier temps sur la période 2006-2010 pour sa mise en œuvre. « Aujourd'hui, l'enjeu de notre région est de rendre opérationnels les engagements des différentes parties prenantes » souligne Jean-Claude Darmengeat (photo), vice-président de la région, chargé de la forêt et du développement de la filière bois.



© J.-P. Gayot, CRPF Limousin

Les signataires s'engagent pour la durée d'application de ce plan à définir des priorités de manière concertée. Un comité de pilotage sera mis en place pour suivre l'application de cette charte. Il définira

les indicateurs de suivi de la part de bois utilisé dans les constructions, assurera l'inventaire et l'évaluation des actions menées, ainsi que l'animation du plan d'actions. Le CNDB (Comité national pour le développement du bois), même s'il n'est pas directement signataire, constitue un interlocuteur de référence pour ses compétences techniques, sa vocation à promouvoir le bois matériau et ses contacts privilégiés auprès des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre. Par ailleurs, dès 2007, le conseil régional s'engage à inclure dans ses appels d'offres, un cahier des charges techniques de l'utilisation du bois dans les constructions. Mais aussi à étudier les modalités d'aides adaptées, afin de promouvoir les bâtiments publics, sociaux, industriels et agricoles utilisant le bois de manière significative. À titre d'exemple, 1 500 € d'aides supplémentaires sont accordées aux bâtiments agricoles comportant une charpente, des menuiseries, et au moins 30 % de bardage extérieur en bois.

Et les autres régions ?

Les autres régions ne sont pas en reste avec la signature en cours de chartes régionales similaires à celle du Limousin en Aquitaine, Auvergne, Bourgogne, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées et Rhône-Alpes. Ces prochaines signatures laissent augurer de possibles actions interrégionales. ■

Résumé

Le Limousin a signé le 12 avril 2006 la première charte « Bois, construction, environnement » dont l'objectif est d'augmenter significativement la part du bois dans la construction dans sa région. La première étape est de développer l'aval de la filière en stimulant la demande auprès des prescripteurs et en organisant l'offre, afin de créer valeur ajoutée et emplois.

Mots-clés : charte bois construction environnement, Limousin, filière bois.

Forêt-entreprise

La revue technique des forêts et des arbres



Bulletin d'abonnement

Oui, je m'abonne*

Abonnement France :

1 an - 6 numéros 46 €

* Tarifs 2006

Abonnement étranger :

1 an - 6 numéros 60 €

RAISON SOCIALE :

NOM : PRÉNOM :

ADRESSE :

CP : VILLE : TÉL :

Je règle par chèque libellé à l'ordre de Agent comptable SUF IDF et retourne l'ensemble (bulletin + chèque) dûment complété sous enveloppe affranchie à : SUF IDF-CNPPF, 23 avenue Bosquet, 75007 Paris, Tél. : 01 40 62 22 81.

Nouveauté ! Vous pouvez vous abonner en ligne sur notre site www.foretpriveefrancaise.com

Groupe de travail châtaignier : des perspectives encourageantes dans le diagnostic de la roulure



René Lempire, Président du groupe de travail châtaignier

En 2006, trois évènements ont rythmé les activités du groupe de travail national châtaignier.

Le premier est la mise sur pied d'une étude consacrée à l'impact des éclaircies sur le risque d'apparition de la roulure. Nous y reviendrons plus longuement à la fin de cet article. Le deuxième est la réunion annuelle du groupe de travail. Elle s'est tenue au mois de juin 2006 en Pays de la Loire et a été l'occasion de valider la clé de détermination du potentiel d'amélioration des taillis. Ce travail financé, par le Conseil général de la Sarthe, a été mené par le CRPF et l'Institut pour le développement forestier. Cette clé, à partir de mesures dendrométriques simples, permet de définir l'objectif de production de son taillis et les itinéraires sylvicoles associés. Le détail de cette clé paraîtra bientôt aux éditions IDF, mais une première version est déjà disponible dans Bois et forêts en Pays de la Loire, magazine du CRPF (1). Cette réunion a aussi été l'occasion de présenter l'autécologie du châtaignier en France.

Fin juillet, le groupe de travail a participé à Châlus (87) à l'organisation du deuxième salon « Châtaignier en Projet(s) » organisée par la Parc naturel régional Périgord-Limousin. Une petite centaine de personnes sont venues apporter leur expérience

du développement de la sylviculture du châtaignier lors d'une table ronde. Des visites de terrain avec le CRPF Limousin ont également été organisées. De nombreuses autres réunions consacrées à la filière, aux valorisations du châtaignier, ainsi qu'une exposition en la présence de nombreux artisans ont jalonné ce salon qui a tout d'un grand !

Genèse de l'étude consacrée à la roulure

Fin août, le groupe de travail s'est réuni à l'Engref Nancy pour la soutenance du mémoire de fin d'études de Guillaume Cousseau. Ce travail consacré à la roulure, plus particulièrement à l'impact des éclaircies des taillis sur ce défaut, est l'aboutissement d'une longue réflexion menée au sein du groupe de travail.

Dès 2005, suite aux présentations d'un état de l'art bibliographique et des résultats d'études menées en Limousin par l'IDF, C. Riboulet et Gilles Pichard du CRPF Bretagne, il est envisagé d'étudier l'impact des éclaircies sur le risque de roulure dans les taillis de châtaignier. Deux

réunions sont alors effectuées en Poitou-Charentes et dans l'Aisne pour construire un protocole et le valider sur le terrain. Le projet est formalisé en 2006 par la mise sur pied d'un Fogefor de référence dans l'Aisne et l'Oise piloté par le CRPF Nord Pas de Calais-Picardie. Cette structure temporaire a permis de réunir des propriétaires intéressés par l'étude. Ces derniers ont mis à disposition de Guillaume Cousseau les parcelles, les grumes et les bûcherons pour la réalisation du projet. Afin de répondre à la question de l'impact des éclaircies sur le risque de roulure, des couples de placettes ont été recherchés : l'une était éclaircie fortement depuis au moins 10 ans et l'autre indemne d'intervention sylvicole. Ces placettes devaient présenter sensiblement le même âge, le même historique, sur des stations similaires et géographiquement proches (2 km à vol d'oiseau maximum). Pour mener à bien l'étude, il s'est avéré nécessaire d'étendre la zone d'étude au Nord-ouest de la France. Au total, 14 couples et 5 placettes expérimentales comportant une seule modalité (éclaircie ou témoin) ont été étudiés. L'encadrement technique et scientifique a été assuré par l'IDF.



© J. Lemaire

Le Fogefor de référence sur une placette témoin dans l'Oise.

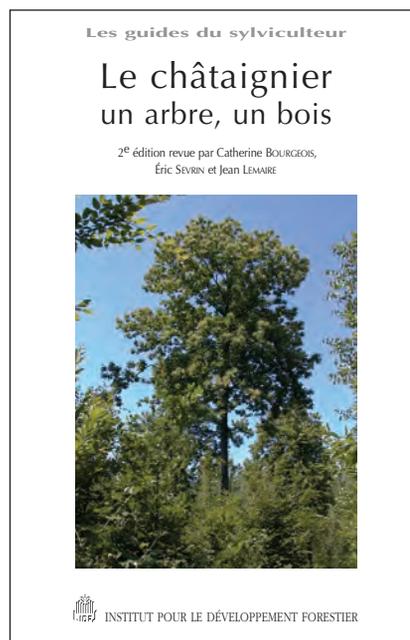
Les résultats sont intéressants et permettent de mieux appréhender le mécanisme d'apparition de la roulure. Ils seront publiés prochainement.

Un modèle simple de terrain a été validé et permet de préciser à +/-15 % la proportion de tiges affectée par la roulure sur une parcelle. Ce modèle prend en compte la station, l'âge du taillis et la sylviculture. Il a été également démontré que l'à-coup de croissance engendré par l'éclaircie a un impact négatif. Les peuplements éclaircis trop tardivement comptaient systématiquement plus de tiges roulées, en moyenne 20 %. Des modèles économiques et des itinéraires sylvicoles sont en cours de validation pour prendre en compte la perte économique engendrée dans ce type de peuplement. **Dernière information qui n'est pas des moindres : la roulure présente sur l'arbre est généralement détectable sur pied.** Ce

qui vient en opposition avec la littérature.

En conclusion

Fort de ces 25 années d'expérience, le groupe de travail dispose à ce



jour d'outils de terrain pertinents pour diagnostiquer les taillis de châtaignier : clé de détermination, cubage, autécologie, clé de risque de présence de la roulure, itinéraires sylvicoles et réseaux d'expérimentations. Ces outils sont en partie disponibles dans l'ouvrage « Le châtaignier un arbre un bois » (2) et seront prochainement complétés par de nouvelles publications.

Mais comme le montre ces différents travaux, l'avenir est au rajeunissement. Plantations avec du matériel végétal performant, régénérations naturelles, techniques d'enrichissement sont autant de thèmes sur lesquels le groupe concentre dès à présent son travail. Nos connaissances sur ce sujet restent sommaires et elles s'avéreront de plus en plus nécessaires au vu du réchauffement climatique annoncé. ■

(1) Disponible auprès du CRPF Pays de la Loire, 36 avenue de la Bouvardière, 44800 Saint-Herblain, tél : 02 40 76 84 35, fax : 02 40 40 34 84, courriel : paysdelaloire@crpf.fr

(2) Consulable à la librairie de l'IDF, 23 avenue Bosquet, 75007 Paris. Commande au 01 40 62 22 81, par fax : 01 40 62 22 87, par courriel : IDF-librairie@cnpff.fr ou sur le site : www.foretpriveefrancaise.com

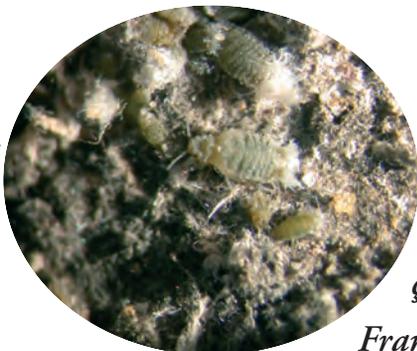
Remerciements

Nous tenons à remercier très vivement les personnes et organismes qui ont participé à ce projet et tout particulièrement les propriétaires qui ont mis à disposition leur temps et le matériel nécessaire. Nous remercions les CRPF Poitou-Charentes, Pays de la Loire, Normandie, Ile de France-Centre et Nord Pas de Calais-Picardie. Nous n'oublions pas également l'ONF, l'ENGREF, l'INRA et la société SDMO Quiniou pour le prêt de matériels.

Le puceron lanigère, un nouveau ravageur des peupliers en France ?

Olivier Baubet, Département de la santé des forêts

© O. Baubet, DSF



*Voici maintenant plus d'une dizaine d'années que le puceron lanigère du tronc du peuplier (*Phloeomyzus passerinii*) est à l'origine de dommages importants sur les peupleraies françaises. D'abord repéré par ses attaques dans le Sud-Ouest de la France en 1995, puis dans le Nord-Ouest en 1998, de gros dégâts lui ont été attribués depuis 2002 en Bourgogne.*

L'extension du puceron lanigère et la virulence des dégâts occasionnés aux peupliers euraméricains, surtout le cultivar I 214, remettent en cause l'avenir de nombreuses peupleraies, d'autant que la lutte curative est difficile à mettre en œuvre. Des essais seront réalisés afin de l'améliorer. Au niveau de la sélection des nouveaux cultivars, le Groupement d'intérêt scientifique Peuplier (GIS) devra prendre en compte ce nouveau ravageur. Les recherches sur le parasitisme des pucerons s'annoncent quant à elles, longues et difficiles.

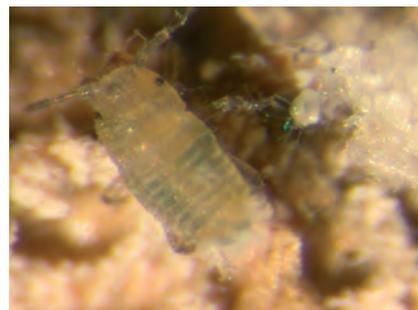
Quelques éléments de biologie

Le puceron lanigère réalise l'ensemble de son cycle biologique sur le peuplier. Après l'hiver passé sur les troncs et les principales racines, il reprend son cycle au printemps, et ensuite, plus de dix générations parthénogénétiques (reproduction

sans fécondation) peuvent se succéder jusqu'à l'automne. Les températures douces (entre 18 et 24 °C) associées à une forte hygrométrie ainsi qu'un léger ombrage sont favorables au développement de l'insecte. Dans le Sud-ouest, dès le mois de mai, le tronc des peupliers se recouvre d'une pulvérulence blanchâtre qui débute dans le tiers supérieur de l'arbre pour ensuite redescendre. En Bourgogne, le développement des colonies semble plus tardif : la présence des colonies est détectable à la fin de



Tronc colonisé.



© O. Baubet, DSF

Détail d'un puceron lanigère.

l'été et début de l'automne. Le repérage initial des premières colonies nécessite un œil averti et une bonne luminosité. **Le cultivar I 214 est de loin le plus affecté et ce dans tous les secteurs où l'insecte est présent.** Les autres cultivars Euraméricains tels I 45/51, Triplo et Dorskamp sont eux aussi attaqués mais l'impact reste plus limité (1). De façon générale, **l'attaque survient lorsque les arbres dépassent 80 cm de circonférence à 1,30 m du sol, ce qui correspond à la fermeture du peuplement.** Les dégâts ne concernent pratiquement que les arbres qui dépassent les 100 cm de circonférence. Par rapport au niveau trophique des parcelles, le puceron a une réelle préférence pour les milieux riches

(présence d'orties) et bien alimentés en eau ; ce qui correspond aux meilleures stations populicoles. L'attaque initiale débute souvent au centre des parcelles, les lisières sont systématiquement épargnées.

Impact variable

L'intensité d'une attaque peut se caractériser par le taux d'arbres colonisés dans une parcelle, mais aussi par la proportion de tronc recouvert par les colonies.

Le puceron est un insecte piqueur-suceur (homoptère de la famille des *Aphididés*) qui avec ses stylets buccaux très développés réussit à transpercer l'écorce pour se nourrir de sève élaborée. Lors de la prise de nourriture, l'insecte injecte des sécrétions toxiques qui perturbent le fonctionnement de l'arbre à l'origine de différents symptômes qui apparaissent l'année suivant l'attaque :

– le symptôme de « **peau de lézard** » qui correspond à une perte d'élasticité de l'écorce sur les zones occupées par les colonies de pucerons. L'écorce se craquelle



Détail d'une colonie.

mais les tissus sous-corticaux continuent à fonctionner, ces symptômes sont observés dès les premières colonisations ;

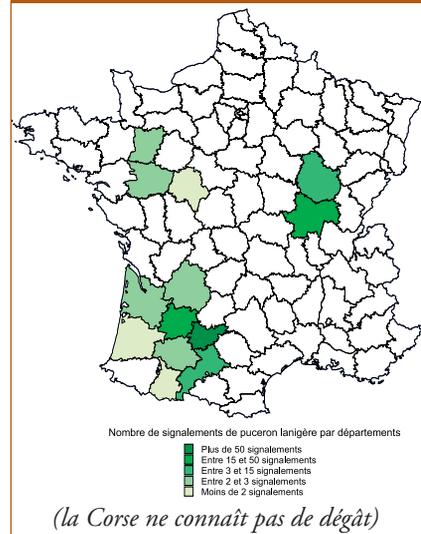
– les **écoulements noirâtres** et les **nécroses corticales** qui correspondent à des attaques plus fortes conduisent à d'importants bris de cimes et de branches ;

– des **mortalités**, les arbres ne débourrent pas au printemps et divers pathogènes de faiblesse sont présents sur les écorces (*Dothichiza* et *Cytospora*).

Le cycle bisannuel n'est pas généralisé

Bien que décrits en France depuis 1939, les premiers dégâts importants sont apparus en 1995 dans la **Vallée de la Garonne**. Un réseau de placettes a été installé et fonctionne depuis 1995. Il a permis de confirmer le cycle bisannuel du puceron, avec quelques variations entre les différentes années d'attaques (Figure 2). Des attaques particulièrement virulentes ont été notées en 1995, 1999, 2001 et 2003. Le taux de mortalité peut atteindre 55 % des arbres du peu-

Figure 1 : Signalements de puceron lanigère en France de 1996 à 2005



© Fabien Carouille, DSF

plement. En 2003, malgré une forte présence des pucerons, il semble que l'effet canicule ait bloqué leur développement. D'après les observations réalisées en 2004, les colonisations importantes de 2003 n'ont eu que peu d'impact sur les peupleraies affectées. En 2005, une nouvelle pullulation était attendue et n'a pas eu lieu, seules des populations d'automne se sont développées.

L'expérience acquise dans le Sud-ouest pour des attaques de printemps confirme que des dommages commencent à apparaître

Figure 2 : Recouvrement du tronc par les colonies de puceron lanigère Réseau de placette DSF Sud-ouest

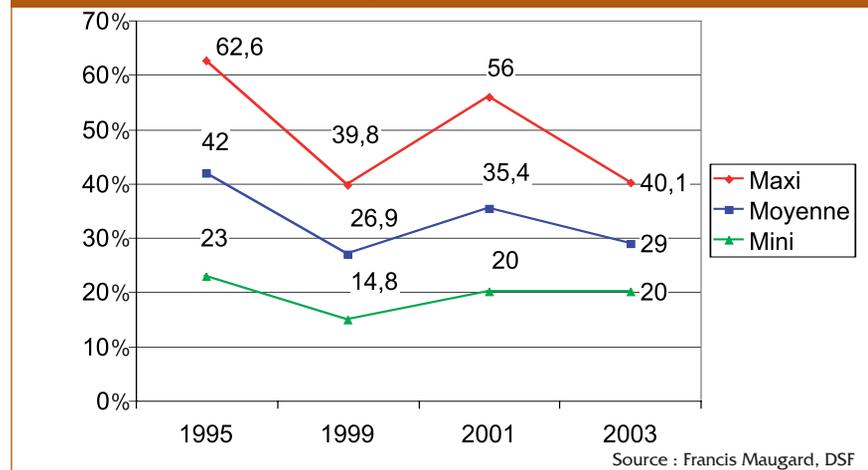
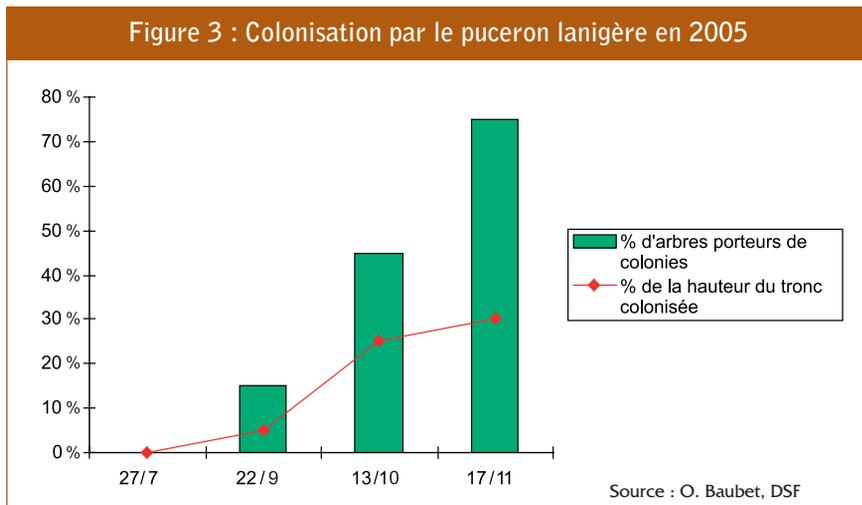


Figure 3 : Colonisation par le puceron lanigère en 2005



dès que plus de 20 % du tronc de l'arbre (par rapport à la hauteur totale) est couvert par les colonies de pucerons.

Dans le **Nord-Ouest** de la France, l'insecte est ponctuellement présent, son impact est pour l'instant limité, on ne constate aucune cyclidité dans le rythme des attaques.

En **Bourgogne**, les premiers dégâts ont été repérés en 2003 (correspondant à des attaques de 2002) où plus de 90 ha de peuplements ont été fortement endommagés (Communication personnelle, Robin, DDAF71), les mortalités variant selon les parcelles entre 10 et 70 % des arbres. Suite à ces attaques, un réseau de placettes a été mis en place en **2004** et suivi entre début juin et fin juillet. Aucu-

ne attaque de puceron n'a été notée. Pourtant, en repassant dans les parcelles au printemps suivant, des traces de colonies de pucerons ont été observées et correspondaient à des attaques tardives. Dans certaines parcelles, l'impact est limité avec seulement le dessèchement des branches basses. Dans d'autres parcelles, d'importantes mortalités ont été notées au printemps 2005. Le suivi du réseau de placettes au cours de l'année **2005** a permis de constater sur la plaine de Saône une montée en puissance généralisée des populations de pucerons au cours des mois de septembre et d'octobre (Figure 3). Cette colonisation tardive a entraîné des dessèchements anormaux de branches basses d'autant plus forts

que la proportion du tronc recouverte était importante. Les peaux de lézards étaient peu visibles en fin d'été 2006 et les mortalités quasiment absentes.

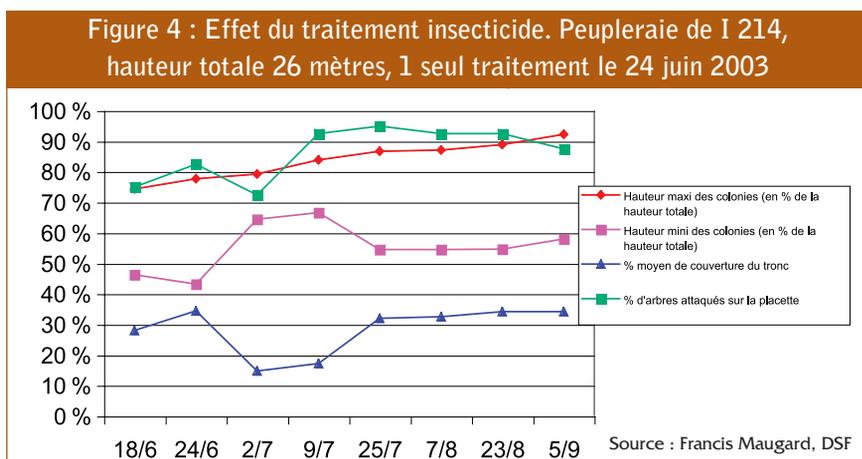
Une lutte difficile

Les différents réseaux de suivi du Sud-ouest ou de la Bourgogne informent des pullulations en cours, ce qui doit inciter les propriétaires et gestionnaires à surveiller leurs parcelles.

Dans le cadre d'une lutte curative contre ces insectes, la seule possibilité réside actuellement dans l'utilisation d'insecticides dès que le parasite a colonisé plus de 20 % de la hauteur totale des arbres.

Depuis l'année 2001, le « Karaté Xpress », insecticide à base de lambda-cyhalothrine, est homologué contre les pucerons des feuillus en traitement des parties aériennes (Maugard, 2002). Les traitements opérationnels ont concerné plus de 200 ha dans la Vallée de la Garonne en 2003. Après ces interventions, les contraintes liées à ces traitements ont été mises en évidence. Malgré l'utilisation de quantités importantes de bouillie (800 à 1 000 litres à l'hectare), il est difficile d'atteindre la partie haute des colonies, notamment sur les parcelles les plus âgées. De plus, le puceron est capable en trois à quatre semaines de reconstituer des colonies équivalentes à celles précédentes le traitement (Figure 4). Enfin, ce type d'insecticide polyvalent est connu pour détruire toute la faune auxiliaire qui s'attaque aux pucerons ; ce qui réduit à néant toute possibilité de régulation naturelle des populations.

Figure 4 : Effet du traitement insecticide. Peupleraie de I 214, hauteur totale 26 mètres, 1 seul traitement le 24 juin 2003



Perspectives

Le puceron lanigère du peuplier est un problème qui concerne principalement le cultivar I 214. Or ce dernier fait partie des plus plantés en France depuis de nombreuses années. Ce puceron devrait donc continuer à poser problème en France. **L'extension de ce ravageur ne semble pas terminée et il devrait continuer à s'étendre sur la partie Est de la France mais aussi dans le Nord-ouest.**

Les réseaux de suivis réalisés par les correspondants-observateurs du DSF du Sud-ouest et de la Bourgogne sont en mesure d'apporter aux gestionnaires des données sur la dynamique des populations pendant la saison de végétation afin qu'ils puissent organiser la lutte curative dans leurs peuplements.

Un essai appuyé par le DSF est prévu pour tester un insecticide spécifique des pucerons, moins néfaste pour les insectes auxiliaires. L'objectif est d'obtenir un insecticide qui diminue les populations de pucerons, afin que les prédateurs (insectes auxiliaires) puissent prendre le relais et réguler naturellement les populations.

Quant à la faune auxiliaire présente sur les colonies de pucerons, des prédateurs sont fréquemment identifiés mais semblent peu efficaces. Les parasites de pucerons, souvent

plus efficaces, ne sont pas identifiés. Les recherches visant à sélectionner et introduire des parasites spécifiques de ces pucerons nécessiteraient l'appui d'organismes de recherche. En ce qui concerne la gestion des parcelles attaquées, diminuer la densité pour retarder les attaques est certainement une voie à explorer, mais les aspects économiques risquent de constituer un frein à ces techniques.

Actuellement dans le cadre de la constitution de nouvelles peupleraies dans les zones effectivement attaquées ou potentiellement menacées, il convient d'utiliser avec prudence les cultivars sensibles surtout sur les stations les plus riches pour le I 214 et dans une moindre mesure pour I 45/51, Triplo et Dorskamp. À l'instar des préconisations établies pour la problématique rouille, la diversification des cultivars – au niveau de la propriété et de la région – est essentielle.

En ce qui concerne la recherche forestière, la sensibilité au puceron lanigère va être prise en compte par les sélectionneurs (GIS Peuplier), les premiers tests méthodologiques ont été engagés (voir encadré). ■

Merci à F. Carouille (DSF), C.-M. Favre (DSF) et A. Berthelot (AFOCEL) pour leur relecture.

(1) Les données italiennes de l'Istituto di sperimentazione per la pioppicoltura (2001) évaluent également A4A et Ghoy comme faiblement résistants.

Mise au point d'une méthodologie pour tester précocement la sensibilité des nouveaux cultivars au puceron lanigère

Par Alain Berthelot, AFOCEL

Comment tester précocement la sensibilité à un insecte qui occasionne des dégâts dans des plantations d'âge moyen ? C'est la question qui se pose au GIS Peuplier, au moins pour les hybrides euraméricains (*P. deltoïdes* x *P. nigra*), qui entament leur processus de sélection sur le terrain ces dernières années. À partir d'un constat réalisé par F. Maugard (DSF) sur l'apparition de colonies de puceron à l'intérieur de protections anti-gibier, l'AFOCEL a mis en place un test méthodologique au printemps 2006. Une douzaine de cultivars, de sensibilité connue (données italiennes), ont été installés dans une parcelle de Côte-d'Or, à une dizaine de kilomètres d'une parcelle où le puceron a été identifié en 2005. À partir de la deuxième année, une partie des arbres recevra une protection individuelle plastique, l'autre restera sans protection. Des observations périodiques permettront de savoir :

- si le puceron apparaît sous les protections ;
- si les notations de sensibilité fournissent des résultats conformes aux données de la littérature. Le cas échéant, le GIS disposerait d'un moyen simple et précoce de vérifier la sensibilité de ses propres obtentions.

Résumé

Depuis plus de dix ans, le DSF suit l'extension rapide et continue du puceron lanigère qui cause d'importants dommages aux peupleraies françaises, particulièrement sur le cultivar I 214. La lutte curative est difficile à mettre en œuvre car elle s'appuie sur des traitements chimiques. Dans les régions les plus touchées, l'utilisation de cultivars sensibles est remise en cause. En ce qui concerne la création de nouveaux cultivars, le GIS Peuplier souhaite intégrer la sensibilité au puceron lanigère aux critères de sélection.

Mots-clés : peuplier, puceron lanigère, propagation, lutte.

Valorisation du bois par sa chimie : applications antiques, présentes et futures

Tatjana Stevanovic, ingénieur (1)

À l'heure où le développement durable est un leitmotiv, une connaissance plus fine de la chimie des arbres et du bois assurera la valorisation optimale de cette ressource importante qu'est la forêt, tout en préservant notre environnement de façon durable.

Comment définir l'arbre, cette forme de vie extraordinairement ancienne, dont le modèle architectural ne trouve pas de comparaisons dans le monde vivant ? Ces arbres de nos jardins et de nos forêts sont la source d'un matériau magnifique, le bois, qui se transforme couramment dans la flambée à l'âtre pour nous chauffer, pour torréfier le café ou, dans les fours des boulangers, pour une cuisson qui donne au pain un arôme et/ou un goût particulier. Les saules ont une écorce riche en dérivés de l'acide salicylique, à la base de l'aspirine, ce médicament si couramment utilisé aujourd'hui. Les exsudats du bois d'hévéa ont servi à la fabrication des premiers pneus à base de caoutchouc – le terme caoutchouc est repris de l'expression indienne « cao » (bois), « tchu » (qui pleure). Les extraits du feuillage de ginkgo sont utilisés pour fabriquer les compléments alimentaires le plus recherchés sur le marché. Ces extraits sont riches en ginkgolides utilisés dans les traitements des maladies cérébrales, tandis que les extraits du feuillage de l'if sont la source du taxol utilisé en chimiothérapie pour soigner plusieurs cancers. Les extraits du bois de chêne comblent les consommateurs de

vin et de cognac depuis des siècles. Du bureau ou du lit au papier sur lequel on lit ce texte, il y a peu de domaines de notre vie où l'arbre et/ou le bois n'ait sa place. Quel que soit le niveau de transformation du bois, l'implication plus ou moins évidente de la chimie de ses constituants est toujours présente. Une utilisation donnée d'un bois fait intervenir d'une façon ou d'une autre, le niveau moléculaire.

La couleur du bois : une question de phénols

La coloration du bois provient de l'absorption de la lumière dans le domaine visible. Les applications du bois sont souvent déterminées par sa couleur. Le bois est utilisé pour ses caractéristiques esthétiques dans la fabrication des œuvres d'art (les sculptures en bois, la marqueterie, les instruments de musique), ainsi que pour la fabrication des meubles et même de belles charpentes.

La couleur du bois est toujours plus noble et plus douce que celle du métal ou du plastique, ce qui donne aux objets en bois une élégance et une chaleur particulières. La couleur du bois change lors du

séchage, de l'étuvage et du vieillissement. La chimie du bois est au cœur de ces processus. La couleur du bois – liée à la provenance, l'âge des arbres et les traitements que le bois subit lors de sa transformation – fait actuellement l'objet de nombreuses études afin de mieux classer les bois dans l'optique d'ajouter de la valeur à sa transformation par la fabrication de nouveaux produits, ainsi que pour comprendre les caractéristiques chimiques qui déterminent la coloration du bois.

Les trois constituants structuraux du bois – cellulose, hémicelluloses et lignines – n'absorbent pas la lumière visible et par conséquent ne contribuent pas à la coloration du bois. En fait, ce qui donne au bois sa couleur est la présence des extractibles phénoliques de type stilbène, des lignanes, des tannins ou des structures quinoniques (2). Les tannins catéchiques dans le bois de cœur, sont classiquement responsables de sa coloration, mais certaines essences contiennent des pigments spécifiques qui confèrent au bois sa couleur. Les bois clairs sont appréciés pour leur aspect propre et frais (le bois de peuplier, de bouleau blanc, de cyprès jaune, de sapin). Les bois japonais de couleur rouge, le sugi et l'hinoki, sont traditionnellement utilisés pour

construire les maisons de style japonais. Le bois de rose (les espèces appartenant au genre *Dalbergia*) et le bois de cognassier chinois sont très appréciés pour leurs propriétés décoratives et sont aussi utilisés dans la construction des maisons, les instruments de musique et divers objets d'art. Les bois très foncés, noirs comme le bois d'ébène, ont des applications particulières pour les meubles de luxe, en décoration des maisons, etc.

À la faveur des échanges commerciaux, plus de cinquante variétés d'essences exotiques et quarante essences indigènes étaient disponibles vers la fin du XVIII^e siècle en France. Au tournant du XX^e siècle, la flore inspira les créateurs de l'école de Nancy, et on peut aujourd'hui admirer au Musée de l'école de Nancy, les œuvres (meubles et marqueterie) exécutées entièrement en bois. Le grand artiste de l'art nouveau, Émile Gallé était d'ailleurs un botaniste passionné, ce dont témoigne la marqueterie des petits meubles du Musée et le plateau de table présenté ci-dessous.

Le bois et le vin : une question de molécules bioactives

L'utilisation du bois pour conserver et transporter les vins a commencé à l'époque des Gaulois dans le but de remplacer différents récipients antiques fragiles (amphores en céramique) trop susceptibles de se briser lors du transport. Le bois de chêne de qualité est utilisé depuis pour la fabrication des fûts et deux essences de chêne ont été retenues en France pour améliorer la qualité des vins : le chêne pédonculé (*Quercus robur* ou *Quercus pedunculata*) et le chêne sessile (*Quercus petraea* ou *Quercus sessilis*), tout deux adaptés à l'élevage des vins et des eaux-de-vie.

L'interaction entre le bois de chêne et le vin débute dès la fermentation pour les vins blancs et lors de l'élevage pour les vins rouges, après la fermentation alcoolique en cuve.

Le bois de chêne est susceptible d'apporter au vin des notes aromatiques particulières : les whisky-lactones (méthylactolactone, odeur de

noix de coco), les polyphénols : la vanilline (odeur de vanille) et l'eugénol (odeur de clou de girofle). Les phénomènes du séchage du bois et de brûlage lors de la fabrication des barriques interviennent également dans la formation de

certains polyphénols, par exemple les aldéhydes aromatiques tels que la vanilline. Toutes ces transformations impliquent les constituants chimiques du bois. Les aldéhydes cinnamiques, coniféraldéhyde et sinapaldéhyde, sont les arômes naturels provenant du bois de chêne. Les tannins catéchiques sont des constituants importants du bois de chêne qui sont aussi solubilisés par extraction alcoolique. Tous ces composés sont des polyphénols qui contribuent également au pouvoir antioxydant des vins (avec les polyphénols provenant des raisins, bien sûr). Le fameux « paradoxe français » – une incidence moins importante des maladies cardiovasculaires chez les Français – est attribué aux effets bénéfiques d'une consommation (modérée) de vin. Une étude récente a démontré que les agents anti-cancérogènes retrouvés dans les vieux vins rouges élevés dans les fûts de chêne proviennent d'une transformation en milieu alcoolique, des polyphénols extractibles du bois de chêne. Les ellagitannins sont extraits par l'alcool lors de l'élevage des vins en fût en chêne (milieu très acide : pH = 3 à 4) et par la suite participent à des réactions de type substitution nucléophile avec les nucléophiles originaires des raisins : l'éthanol, les flavanols, les anthocyanidines et les thiols. Quideau *et al.* (2005) ont démontré que les produits de ces réactions ont une activité inhibitrice sur l'enzyme topoisomérase-II (enzyme qui stimule le désenroulement des doubles hélices d'ADN, donc un risque de cancer). Ces auteurs ont



Plateau supérieur d'une table à thé d'Émile Gallé, 1898. Décor de feuilles et de fleurs de *Rheum officinale*, une rhubarbe de Chine et du Tibet. Inscription en haut : Sicut hortus semen suum germinat, sic Deus germinabit justitiam. Is., ou en français : Comme un jardin fait germer sa semence, Dieu fera germer la justice. Isaïe. Cette citation est tirée de l'Ancien Testament, Les Livres prophétiques, Isaïe LX 61. Signée Ap Gallé Anno D 1898 pour Apud Gallé, ou chez Gallé l'année du Maître (Domini) 1898. Collection privée.

démonstré la transformation en trois étapes de la (-)-vescalagine (un extrait du bois de chêne), en vescalène (un puissant inhibiteur de la topoisomérase-II).

Les arbres sont caractérisés par la présence dans leurs tissus de polyphénols « ligneux », dont les proanthocyanidines. Les proanthocyanidines sont des constituants importants des écorces des arbres, des canneberges (*Vaccinium macrocarpon*, airelle américaine), des pépins de raisins, du feuillage, et du bois... La légende veut que lorsque le navire de Jacques Cartier resta coincé durant de longues semaines au Québec en 1534, dans les glaces du Saint-Laurent, l'équipage, victime du scorbut, fut soigné par les Amérindiens qui préparèrent des infusions d'aiguilles et d'écorce de pin. Presque 500 ans plus tard, on s'intéresse aux proanthocyanidines d'origines diverses.

L'étonnante chimie du pin

La Société « Dérivés résiniques et terpéniques », basée à Dax, réalise plus de 250 produits à partir du pin maritime pour des applications aussi variées qu'adhésifs, encres d'imprimerie, chewing-gum, caoutchouc, désinfectants, détergents, huiles industrielles et sur des produits à haute valeur ajoutée tels que parfums, arômes, médicaments, cosmétiques... et cela pour un chiffre d'affaires de 90 millions d'euros.

Il existe actuellement deux sources principales d'oligo-proanthocyanidines sur le marché : le raisin rouge (extraits de pépins) et le pin maritime, dont les extraits sont commercialisés sous des marques diverses (Pycnogénol®, Oligopin®...). Ils sont recherchés principalement pour leur activité antioxydante, mais aussi pour leur activité

antifongique, anti-radicalaire, ainsi que pour les effets bénéfiques qu'ils exercent sur la circulation sanguine. Nos recherches actuelles démontrent également, pour de telles applications, une efficacité importante des extraits de l'écorce d'espèces canadiennes : épinette noire (*Picea mariana*) et peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) dû aux propriétés anti-oxydantes remarquables des oligo-proanthocyanidines isolés de leurs extraits.

Les nombreuses applications des exsudats

Au sein des plantes vasculaires, les arbres sont les principaux producteurs d'exsudats : 95 % des producteurs d'exsudats sont des arbres. La production de résines et de gommes provient habituellement des parties aériennes des arbres – même s'il existe des exsudats provenant des racines – comme avec *Pinus strobus* (Lambert et al., 2005). Les exsudats des plantes sous forme de gommes, de résines, d'oléorésine et de caoutchouc ont une longue histoire. Ils peuvent avoir un aspect et des propriétés physiques comparables et être cependant très différents au niveau moléculaire. Les résines sont insolubles dans l'eau. La fossilisation les rend encore plus insolubles : on les

connaît sous le nom de « résines fossiles » ou, terme moins approprié, d'« ambres ». Nous connaissons bien les applications artistiques des ambres, pour la fabrication des bijoux, etc.

Les résines de type myrrhe et encens, utilisées pour des rites religieux depuis l'antiquité, proviennent des arbres appartenant à la famille indigène africaine des Bursacées. L'encens est une résine produite par l'arbre *Boswellia sacra*, tandis que la myrrhe est une gomme-résine provenant de l'arbre *Commiphora myrrha*, les deux essences appartenant à une des rares familles de feuillus qui produisent les triterpènes. L'arbre *Boswellia sacra* serait originaire du Dhofar, dans l'actuel sultanat d'Oman, tandis que les petits arbres épineux de *Commiphora myrrha* poussent dans les régions arides d'Afrique orientale. On considérait l'encens dans l'antiquité comme plus précieux que l'or. L'évangile selon Matthieu évoque que les mages offrirent en présent à l'enfant Jésus, de l'or, de l'encens et de la myrrhe. L'application de l'encens en parfumerie est courante tandis que la myrrhe est considérée comme une véritable plante médicinale. Elle est appliquée, incorporée à des baumes, pour hydrater la peau et renforcer les ongles et aussi pour ses propriétés régénératrices, cicatrisantes et anti-inflammatoires.

Bernard Descottes, le chirurgien qui soigne à la propolis

Chirurgien spécialiste de la cancérologie du système digestif au centre hospitalier régional universitaire de Limoges, le Pr Bernard Descottes fait des miracles avec de la propolis (substance résineuse que les abeilles extraient des bourgeons et de l'écorce pour obturer les fissures de leur ruche et qui agit comme un antibiotique naturel). Depuis 1984, il travaille sur l'une des propriétés les plus surprenantes de la propolis, celle d'être un cicatrisant très efficace. Plaies béantes, nécroses, staphylocoques et streptocoques... aucune de ces pathologies ne résiste au traitement.

Nos recherches actuelles portent sur un autre genre de feuillus riches en triterpènes bioactifs : les bouleaux. Ces triterpènes ne sont pas disponibles sous forme d'exsudats, mais on peut les extraire de différents tissus de bouleaux par des solvants lipophiles. Nous avons identifié les triterpènes appartenant à la famille des lupanes, des triterpènes polycycliques, comme les constituants majeurs des extraits lipophiles de l'écorce, du feuillage, des ramilles et du bois de bouleau. Dans le cas du bouleau jaune, l'arbre emblématique du Québec, nous avons identifié le lupéol, un anti-inflammatoire puissant, comme le constituant majeur des extraits de l'écorce, tandis que les extraits du bois sont riches en squalène, un triterpène non cyclique et constituant important des huiles d'olive et en acide bétulonique, un triterpène cyclique de type lupane. Des applications nutraceutiques (3) ou pharmaceutiques pour les extraits des bouleaux sont attendues prochainement.

Les caoutchoucs

Les caoutchoucs sont des liquides laiteux, constitués de polymères à base d'isoprène (les poly-isoprènes) en suspension ou dispersés dans l'eau. Le caoutchouc naturel datant de l'ère pré-hispanique du nouveau monde, provenait de la plante *Castilla elastica*. La production mondiale du caoutchouc provient aujourd'hui entièrement de l'arbre brésilien *Hevea brasiliensis* qui est cultivé principalement sous forme de clones en plantations. Le caoutchouc naturel a une résistance largement supérieure à celle des caoutchoucs synthétiques fabriqués à partir de pétrole. La densité du caoutchouc naturel est bien supérieure à celle des caoutchoucs syn-

thétiques, ce qui favorise leurs applications hautement spécialisées, comme les pneus d'avion, les gants chirurgicaux et les ballons. La demande croissante de caoutchouc naturel a incité la recherche de ressources alternatives à *Hevea brasiliensis* (Cornish, 2001).

Les gommages

Les exsudats de type gomme sont par nature des glucides. Les gommages sont solubles ou dispersables dans l'eau. La plupart des gommages naturelles utilisées industriellement sont obtenues comme exsudats de différentes espèces d'arbre : gomme arabique, gomme de karaya et gomme adragante.

Ces trois gommages trouvent des applications dans le secteur agro-alimentaire, mais aussi dans le domaine pharmaceutique, comme adhésifs, dans l'industrie papetière, textile, etc.

La flotte égyptienne transportait déjà la gomme arabique comme marchandise. Les Égyptiens l'utilisaient comme liant pour fabriquer des pigments et des adhésifs pour les hiéroglyphes, ainsi que comme liant en cosmétique et pour les encres et comme agent adhérent les bandelettes de lin pour l'embaumement des momies. Le nom de gomme arabique vient du fait qu'elle était introduite en Europe à travers divers ports arabes. Elle provient de diverses essences d'acacia, d'où son autre nom de gomme d'acacia.

L'utilisation des gommages arabiques en alimentation est réglementée et elles sont principalement utilisées en confiserie et comme agent émulsifiant pour les boissons gazeuses, ainsi que comme source de fibres solubles dans les boissons de basse valeur calorique. La gomme arabique est aussi un agent efficace d'encapsulation pour protéger les saveurs et empêcher l'échappement des substances volatiles, comme agent émulsifiant et comme adhésif ou agent collant dans la fabrication des comprimés et des sirops en pharmacie. En cosmétique, la gomme arabique est utilisée pour stabiliser les lotions, les crèmes protectrices et les savons liquides (Verbeken *et al.*, 2003).

La gomme adragante a une composition chimique très variable car elle provient d'exsudats de *Astragalus gummifer* et d'autres espèces asiatiques du genre *Astragalus*, le genre le plus important de la famille des légumineuses, qui comporte plus de 2 000 espèces poussant sous forme de petits arbustes dans les déserts et les montagnes de Turquie, de Syrie, d'Afghanistan et de Russie. Les gommages adragantes sont constituées d'une partie soluble dans l'eau, et d'une autre qui gonfle au contact de l'eau pour former un gel.

La gomme karaya est tirée principalement du grand arbre *Sterculia urens* qui pousse en Inde et d'où provient la majeure partie de cette



© DR

60 millions d'euros pour la gomme d'acacia

La PME française « Colloïdes naturels international », basée à Rouen, vient de recevoir le prix Cap Export 2006 du meilleur exportateur de l'année. L'entreprise familiale est spécialisée dans la gomme d'acacia (*Acacia senegal* et *A. seyal*), utilisée dans les jus de fruits, les confiseries, la colle des timbres, le vin... Son chiffre d'affaires s'élève à 60 millions d'euros.

gomme sur le marché mondial. Le Sénégal est le plus grand producteur de cette gomme en Afrique. De toutes les gommes, la gomme de karaya est la moins soluble dans l'eau. Cette gomme gonfle dans l'eau jusqu'à 60 fois son volume initial. Comme elle est stable en milieu acide on l'utilise pour la stabilisation des sauces et des vinaigrettes en concentration de 0,6 à 1 %, pour stabiliser la crème fouettée, dans la fabrication des saucisses comme agent collant les particules de viande ainsi que pour prolonger la vie des produits en boulangerie.

La gomme de karaya est utilisée en chirurgie pour assurer le drainage, ainsi que comme laxatif car ses constituants ne sont ni absorbés ni digérés dans l'intestin humain. Comme elle est résistante à l'attaque microbienne elle est utilisée dans la fabrication des tampons pour former des milieux gélatineux en contact avec les fluides corporels (Verbeken *et al.*, 2003).

Ces deux types de gommes (arabique et adragante) sont constituées de polysaccharide extractibles (dérivés des galactanes, caractérisés par une liaison β -1,3 dans la chaîne

principale). Il est intéressant de noter que le mélèze (*Larix*) est lui aussi caractérisé par un contenu important en polysaccharides extractibles. Le bois et l'écorce de différentes espèces de mélèze en renferment d'importantes quantités (arabinogalactanes). L'écorce du mélèze est connue pour combattre diverses infections. Les arabinogalactanes sont facilement extractibles à l'eau chaude du bois de mélèze, avec des rendements de 10 à 25 %, quelle que soit l'espèce de mélèze. Leurs propriétés physiques, leur solubilité et leur localisation extracellulaire rendent les arabinogalactanes des mélèzes plus proches des gommes d'exsudats et des mucilages que des hémicelluloses, malgré les similitudes de la nature chimique des glucides.

On trouve sur le marché des arabinogalactanes extraits du bois de mélèze dans des compléments alimentaires qui se présentent sous forme de poudre vendue en vrac, en capsules, ou en comprimés. Les recherches médicales ont confirmé les effets immunostimulants des arabinogalactanes du mélèze (Hauer, Anderer, 1993). Une poudre contenant des arabinogalac-

tanes est déjà utilisée par l'industrie alimentaire comme émulsifiant, liant et édulcorant. Les arabinogalactanes de mélèze restent donc une ressource très intéressante pour des applications alimentaires, médicales, ou les deux, c'est-à-dire nutraceutiques.

Dans le prochain numéro de Forêt-entreprise, un article présentera les nouvelles applications technologiques du bois et les futurs débouchés qui en découlent. ■

Bibliographie

■ **Cornish K., (2001).** *Similarities and differences in rubber biochemistry among plants species.* Phytochemistry 57, 1123-1134.

■ **Hauer J., Anderer F.A., (1993).** *Mechanism of stimulation of human natural killer cytotoxicity by arabinogalactan from Larix occidentalis.* Cancer Immunol. Immunother., 36, 237-244.

■ **Lambert J.B., Wu Y., Santiago-Blay J.A., (2005).** *Taxonomic and Chemical Relationships Revealed by Nuclear Magnetic Resonance Spectra of Plant Exudates.* J. Nat. Prod. 68(5), 635-648.

■ **Quideau S., Jourdes M., Lefevre D., Montaudon D., Saucier C., Glories Y., Pardon P., Pourquier, (2005).** *The Chemistry of Wine Polyphenolic C-Glycosidic Ellagitannins Targeting Human Topoisomerase II.* Chem. Eur. J. 11, 6503-6511.

■ **Verbeken D., Dierckx S., Dewetinck K., (2003).** *Exudate gums : occurrence, production and applications.* Appl. Microbiol. Biotechn., 63, 10-21.

Résumé

Tatjana Stevanovic, spécialiste serbe de la chimie du bois, explore dans cet article des applications les plus courantes du bois comme matériau de construction, aux applications les plus innovantes dans les domaines pharmaceutique, cosmétique ou nutraceutique. Ces propriétés et usages présents et passés laissent présager au bois d'autres utilisations futures qu'il nous reste à découvrir.

Mots-clés : chimie, bois, applications innovantes.

(1) *Ir PhD, professeur au Département des sciences du bois et de la forêt, Pavillon Gene H. Kruger, local 2367, Université Laval, Québec, G1K 7P4 Canada. Cet article est un extrait d'un document original plus complet et précis, notamment du point de vue des éléments chimiques constituant le bois. L'article est disponible dans son intégralité auprès de l'auteur.*

(2) *Les extractibles sont situés dans la structure poreuse du bois et par conséquent sont accessibles aux solvants organiques ou à l'eau. On peut les obtenir par des extractions simples, sans dégrader la structure du bois.*

(3) *Un produit nutraceutique est un produit alimentaire rendu disponible sous forme de comprimé, de poudre, de potion ou autres formes médicinales, et qui a un effet bénéfique ou protecteur contre les maladies chroniques. Ces produits en pleine expansion représentent actuellement, près de 800 millions d'euros de chiffre d'affaires (Le Quotidien du Médecin, 29 mars 2005).*

Il est urgent de rajeunir la forêt feuillue privée

Michel Hubert, IGGREF er



« En Picardie, à la cadence où s'effectue actuellement le renouvellement des peuplements feuillus à base de chêne en forêt privée, il faudrait près de

800 ans pour terminer cette opération ! » estime Bernard Rocher-Barrat, ancien ingénieur à l'IDF, aujourd'hui directeur de la coopérative forestière de l'Oise, Bois-Forêt. La situation est probablement analogue dans d'autres régions : on accumule le bois, la forêt se transforme en « asile de vieillards », les arbres deviennent plus fragiles, l'avenir est compromis.

En forêt, récolter et régénérer sont deux nécessités absolues. Malgré cet impératif, nos peuplements feuillus restent trop peu exploités, les plantations ont fortement diminué et ne sont pas remplacées par des régénérations naturelles. Il est vrai que l'on engage peu les sylviculteurs à les pratiquer en leur assurant qu'une régénération naturelle est parfois aussi coûteuse qu'une plantation ! Mais en prenant certaines précautions on peut réduire sensiblement ces coûts.



© Eric Sevrin

Régénération naturelle de chêne sessile dans une trouée.

Pourquoi un tel désintérêt ?

Cette inquiétante diminution des travaux en forêt résulte en premier lieu de la baisse de sa rentabilité, mais aussi du manque de disponibilités financières et du découragement des propriétaires.

La baisse de rentabilité

Depuis plus de 40 ans, en euros constants, les coûts de la main-d'œuvre, des services, des carbu-

rants... n'ont cessé d'augmenter. Dans le même temps, toujours en euros constants, les prix de vente des bois – si on ne tient pas compte des évolutions conjoncturelles – se sont maintenus pour les bois de qualité moyenne, ont un peu augmenté pour les bois de très bonne qualité, mais se sont dégradés pour les bois de qualité secondaire, de loin les plus abondants.

À moins de conserver sa forêt par tradition familiale, pour la chasse ou pour le plaisir, il faut être lucide : en

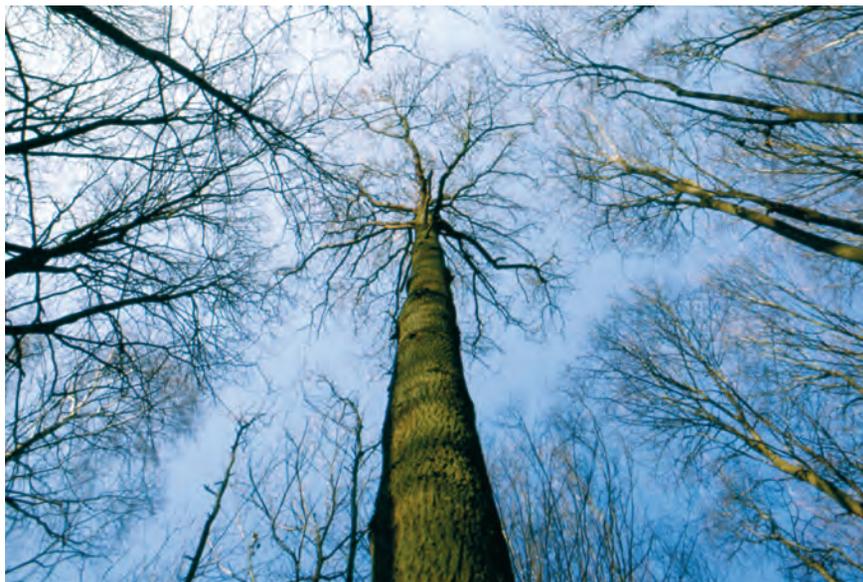
ce qui concerne la production de bois, le rendement financier de beaucoup de forêts diminue jusqu'à devenir négatif dans des stations peu productives si en outre par manque de temps, de compétence, ou du fait de l'éloignement du propriétaire, la gestion doit être totalement confiée à des tiers.

Les disponibilités financières

Si l'on compare le prix du mètre cube de bois au coût d'une heure de main-d'œuvre en forêt, on constate que le nombre de mètres cubes que l'on doit vendre pour payer une journée de main-d'œuvre ne cesse de s'accroître. À cela s'ajoute la pression croissante de la fiscalité générale et une diminution sensible des aides aux propriétaires privés.

Le découragement des propriétaires

Parallèlement, les contraintes réglementaires s'accumulent. Non seulement les propriétaires doivent s'engager vis-à-vis de la loi, avec leur plan simple de gestion, mais en cas de catastrophe – comme les tempêtes de ces dernières années – ils ne peuvent pas toujours compter



© IDF

Arbre d'avenir réservé dans un balivage ; droit, vertical, sans défaut et situé dans l'étage dominant.

sur un engagement réciproque. Les réglementations environnementales restrictives limitent leur liberté d'action, surtout pour les bois situés à proximité de zones très urbanisées qui servent aux citadins de lieu de détente, service non rémunéré et source d'aléas divers (incendies, piétinement, déchets, etc.).



© CRPF PACA

Arbre d'avenir (marqué en jaune) ; droit, sans défaut, vertical et élagué sur une hauteur suffisante.

Le contrôle de la chasse, en ce qui concerne les animaux susceptibles de dégrader la forêt (cerfs, chevreuils...) ne leur appartient plus qu'en partie ; là encore, sans compensation.

Et leurs bois ne sont jamais à l'abri d'attaques parasitaires, d'effondrement des cours de certaines essences ou de dégâts d'origine météorologique...

Les changements climatiques

À toutes ces contraintes s'en ajoute une nouvelle ou, au moins, une grave incertitude dont peu de forestiers ont encore bien pris conscience. Si les prévisions concernant les modifications des climats se réalisent, quelles seront, dans les différentes régions, les espèces adaptées dans 40 ou 50 ans (1) ? L'INRA s'est livré à des pronostics sur la migration des espèces (voir FE n°162) peut-être un peu inquiétants mais qu'on ne peut ignorer.

Espérons que, parmi les espèces présentes en chaque lieu, certaines sauront s'adapter progressivement à ces changements grâce à leur diversité génétique (mais lesquel-

les ?) et qu'on n'en arrivera pas à planter des espèces méditerranéennes très peu rentables dans le Centre de la France...

À la recherche de solutions pratiques

Toutes ces considérations, peu optimistes mais réelles, ne doivent pas faire oublier que la forêt, dans nos climats, est un état naturel et qu'elle est capable d'envahir les sols laissés à l'abandon. Elle peut se maintenir et se perpétuer sans frais si rien ne vient la détruire. Mais elle n'évolue pas nécessairement seule dans le sens souhaité, à savoir la production d'arbres présentant les qualités recherchées.

Pour que les travaux en forêt reprennent, **il apparaît absolument indispensable de réduire considérablement les coûts de production** car, mis à part le cas de quelques rares espèces (peuplier, pin maritime...), **on ne peut guère espérer augmenter sensiblement la productivité**, façon classique de maintenir la rentabilité quand les coûts de production augmentent (en effet, le sol et le climat conditionnent le nombre de mètres cubes produits et il est difficile ou impossible de modifier durablement ces deux facteurs). En revanche, **on peut améliorer la qualité des arbres futurs producteurs de bois d'œuvre**, en faisant en sorte qu'ils aient un tronc vertical, rectiligne, sans défaut, d'une longueur et d'une grosseur suffisantes en les choisissant parmi des essences au bois apprécié et, bien sûr, adaptées aux conditions de station. Ces arbres, ne l'oublions pas, doivent être en nombre limité

Peut-on obtenir des arbres de valeur à peu de frais ?



© CRPF PACA

Balivage.

Une réponse partielle a été apportée à cette question par les constats faits après que les anciens taillis simples et taillis sous futaie aient été exploités durant la dernière guerre pour produire du bois de feu, très souvent le seul combustible disponible pour se chauffer. En général, on avait pour cela totalement exploité le taillis et partiellement les réserves.

Durant les années qui ont suivi la guerre, le manque de bois de feu disponible et les prix bas du fioul ont incité à préférer ce combustible au bois. Quand les taillis sont redevenus à nouveau exploitables, ils étaient invendables faute de débouchés si bien que pour permettre de reboiser, (essentiellement en résineux et peuplier), ils étaient rasés au bulldozer et brûlés sur place ou rassemblés en andains. Cette situation s'est prolongée jusqu'au début des années soixante-dix, époque à partir de laquelle les papetiers ont commencé à utiliser les bois feuillus.

À partir de ce moment, toujours en vue de reboiser, l'exploitation par coupe rase de taillis âgés de 20 à 30 ans, vendus à la papeterie ou à la trituration, a repris. On s'est alors aperçu que certains de ces taillis comportaient des tiges capables de produire à terme un bois d'œuvre apprécié (chêne, hêtre, frêne, merisier, érable...) En coupant à ras ces taillis, les sylviculteurs n'avaient pas pris conscience qu'ils détruisaient des tiges d'avenir venues toutes seules, sans dépenser un centime.

Pour mettre un terme à ce gaspillage, la technique du « balivage intensif » fut largement vulgarisée par l'IDF vers la fin des années soixante-dix. Consistant en une éclaircie adaptée aux arbres d'avenir, cette méthode ne coûtait rien, sinon les frais éventuels de marquage

des arbres qui se trouvaient compensés par la vente des bois d'éclaircie abattus (en bois de feu ou en papeterie). Par rapport à toute plantation dont environ un tiers est généralement plus ou moins voué à un échec, technique ou économique (2), le balivage intensif permettait – presque sans risque et sans frais – de gagner 20 à 30 ans (l'âge du taillis) durant lesquels la seule dépense avait été la marque des arbres d'avenir et de ceux à enlever en éclaircie.

R. Curdel, à cette époque directeur du CRPF de Nord-Pas-de-Calais-Picardie, fit exécuter dans cette région une enquête pour estimer la proportion de taillis pouvant être traitée par balivage intensif, c'est-à-dire contenant un nombre suffisant de tiges d'avenir (environ 100/ha). Les résultats furent surprenants : environ 40 % de la surface des taillis exploités pendant la guerre pouvaient être mis en valeur par balivage intensif. Comment expliquer cette situation ? Peut-on la reproduire tout en l'améliorant ?

Concernant les 40 % de taillis balivables, il est probable qu'au moment de la coupe existaient des semis déjà installés ou des graines fraîchement tombées au sol ou éventuellement apportées par le vent et les animaux. On peut aussi penser que la faible densité des animaux herbivores avait considérablement réduit les risques de dégâts d'abroussement de ces semis.

En revanche, les 60 % des taillis non balivables où la régénération ne s'était pas installée peuvent s'expliquer, par l'absence de semis préexistants ou de graines sur le sol au moment de la coupe, mais aussi par bien d'autres facteurs, à savoir :

- Envahissement du sol, après la coupe rase, par une végétation herbacée et buissonnante ayant étouffé les semis (ronces, genêts, lianes telles que chèvrefeuille ou la redoutable clématite, rejets de taillis trop vigoureux).
- Défaut d'ambiance forestière par mise à nu de surfaces trop importantes ou par absence d'un léger couvert. Soumis aux effets du vent, de la sécheresse, d'un excès d'ensoleillement en été ainsi qu'à des gelées tardives, les semis ne survivent pas.
- Exploitation de trop de semenciers sur la coupe ou à proximité, alors qu'il n'existait ni semis ni graines sur le sol ;
- Excès d'herbivores tels que les lapins qui ont autrefois pullulé jusqu'à l'apparition de la myxomatose.

(100 à 200 tiges/ha) et **c'est sur eux, et sur eux seuls que doivent se concentrer les dépenses**. Et l'on peut se prémunir contre les divers aléas économiques, météorologiques ou sanitaires en maintenant ou augmentant la diversité des espèces.

Observer et tirer parti des observations

Pourquoi ne pas recommencer à tenter des régénérations aux moindres frais, mais cette fois en mettant l'expérience à profit pour obtenir un pourcentage de peuplements balivables supérieur à 40 %, grâce à quelques précautions particulières prises au moment de la coupe ?

Les causes d'échec de la régénération naturelle, autres que l'absence de semis préexistants ou de graines sur le sol au moment de la coupe, sont les animaux et la végétation concurrente. Nous allons voir qu'elles peuvent être corrigées partiellement.

L'abondance d'herbivores

Les chevreuils, les cerfs qui ont pris le relais des lapins peuvent anéantir la régénération en quelques années. Le contrôle de la densité de ces animaux est une condition *sine qua non* de la réussite. Seules deux modalités de contrôle sont envisageables : soit réduire la densité par la chasse, soit protéger les zones de petite surface en cours de régénération par des engrillagements qui, de ce fait, peuvent être relativement légers ou des protections individuelles (une tous les 5 à 6 m autour des semis les plus vigoureux).

La végétation concurrente

La destruction des semis par une végétation concurrente envahissante dont certaines espèces, par leur abondance, leur vigueur ou leur rapidité de croissance en hauteur, peuvent avoir un effet très néfaste. Toutefois, il faut savoir que la densité de semis à l'hectare n'a pas à être très élevée, à condition qu'ils soient bien répartis ; et que la destruction systématique de la végétation concurrente n'est pas souhaitable car elle remplit un rôle d'accompagnement des semis.

C'est pourquoi la connaissance de la végétation qui risque de surgir suite à un éclaircissement brutal du sol est un préalable indispensable. On y parvient en examinant ce qui s'est passé sur des parcelles ou secteurs de parcelles proches (analogues en tous points à celles où l'on souhaite obtenir de la régénération : nature du sol, végétation arbustive et exposition) mises à nu soit à la suite d'une coupe, soit à la suite de tempêtes. La nature de cette végétation favorisée par l'éclaircissement donne une idée des précautions à prendre à titre préventif.

Deux cas sont alors à envisager :

Faible probabilité d'apparition d'une végétation dangereuse après la coupe

Dans la mesure où l'on peut prévoir qu'aucune végétation envahissante et dangereuse pour des semis ne va se développer, les probabilités de réussite d'une régénération naturelle sans frais sont grandes, à trois conditions :

- Exécuter la coupe seulement après avoir constaté la présence de semis préexistants ou à défaut, de graines abondantes sur le sol ;
- Limiter la surface de la coupe à quelques dizaines d'ares pour

conserver une ambiance forestière ;

- Maintenir à faible densité des arbres assurant un léger couvert du sol, pour protéger les semis du gel, des coups de soleil, et compléter éventuellement la régénération.

Dès que les semis atteignent ou dépassent 40 à 50 cm, ces arbres conservés, s'ils sont exploitables, peuvent être exploités en totalité ou en partie puis débardés avec précautions en suivant un cloisonnement d'exploitation débouchant sur les chemins. En revanche, s'ils sont de bonne qualité et en pleine croissance, on les conservera pour éviter « les sacrifices d'exploitabilité (3) ».

Forte probabilité de végétation dangereuse après la coupe

Si par contre, d'après les observations réalisées, une végétation dangereuse risque de se développer, il importe de prendre des mesures, adaptées à la nature des espèces qui vont pousser.

Les lianes peuvent être redoutables. Deux espèces sont à combattre particulièrement : la clématite et le chèvrefeuille.

- La clématite se développe sur les terrains à tendance calcaire ; elle s'accroche aux arbres et peut monter jusqu'à une vingtaine de mètres. Les cimes des arbres envahis sont écrasées et ombragées.

Après une forte coupe, la clématite peut recouvrir totalement le sol et pratiquement le stériliser si bien que d'excellentes stations adaptées à la production des feuillus précieux sont devenues totalement improductives. Les graines de la clématite sont légères, présentent une arête plumeuse et de ce fait, disséminées très loin par le vent.

Pour se débarrasser de la clématite qui craint l'ombre, il faut la couper

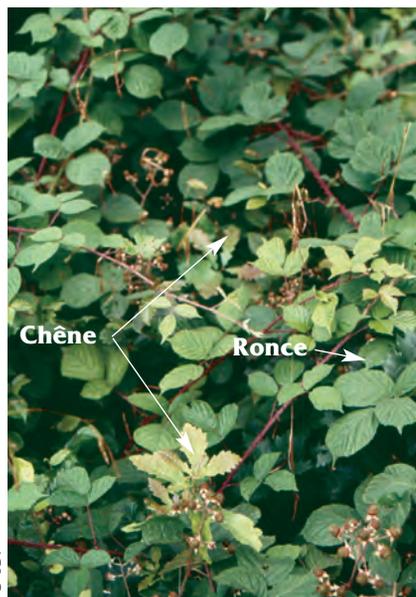
au ras du sol avant toute exploitation et, s'il apparaît ensuite quelques repousses, les traiter avec un phytocide.

Compte tenu de la large dissémination des graines par le vent, la coupe et le traitement des lianes doivent être faits jusqu'à une distance de 50 à 100 m de la périphérie de la parcelle à régénérer.

De même il faut attendre, avant d'engager la coupe de régénération, que les graines de clématite tombées au sol aient germé et soient mortes par manque de lumière.

Les lisières, zones éclairées qui favorisent leur propagation, sont à surveiller de près.

- Le chèvrefeuille, moins spectaculaire, monte moins haut que la clématite mais déforme les semis en s'enroulant autour et parfois les écrase. Il supporte un peu l'ombre et reste présent au ras du sol sous le couvert des peuplements âgés. On doit pouvoir le détruire avant l'exploitation en le traitant pied à pied avec un phytocide.



Régénération : semis de chêne dans la ronce. Des semis pré-existants apparus, avant le départ de la ronce seraient moins menacés d'étouffement que ceux signalés sur la photo.

La ronce est à la fois utile et dangereuse selon sa vigueur. Elle protège les plants contre les dégâts de chevreuil et en recouvrant le sol, maintient sa fraîcheur. Mais dans les secteurs où elle a tendance à prendre un très fort développement, il est recommandé, avant la coupe, de dévitaliser les brins qui traînent sur le sol. Une fois le sol dénudé, il est parfois nécessaire de la détruire en partie mécaniquement ou chimiquement lorsqu'elle a tendance à devenir trop haute et à étouffer les semis.

La fougère doit être traitée chimiquement dans la mesure où elle risque d'écraser les semis.

Les rejets de taillis très vigoureux restent le principal ennemi des jeunes semis. Cette concurrence est considérablement réduite en pratiquant la coupe de régénération sur semis acquis. L'avance prise par le semis réduit le nombre d'interventions en dégagements qui restent cependant nécessaires face à la vigueur des jeunes repousses de certaines espèces de taillis. Une dévitalisation d'une partie des souches, quand elles sont très proches les unes des autres, permet aux semis de se développer dans de bonnes conditions d'éclairément. Quoi qu'il en soit, si la végétation concurrente peut provoquer à court ou moyen terme la destruction des semis malgré les différentes interventions préalables préconisées ici, il est prudent de prévoir environ tous les 10 mètres des layons « de sylviculture » étroits s'ils sont ouverts et entretenus à la main, ou un cloisonnement classique. En les parcourant une ou deux fois par an dans les premières années, on s'efforce de repérer, tous les 4 ou 5 m, un semis vigou-

reux situé dans l'étage dominant et, au besoin, au passage on lui dégage largement la tête. Ce type d'intervention doit être très léger, rapide et réalisé en priorité au profit des essences de valeur peu représentées, pour assurer une certaine diversité.

Dans tous les cas, le respect des semis acquis doit être pris en compte dans la conduite de l'exploitation. Quelques précautions doivent être prises, par exemple, on évitera de brûler les rémanents (opération longue et chère), qui seront étalés sur le sol où ils se transforment en humus et constitueront une protection naturelle des semis contre le gibier ; on peut également les entasser sur les souches des feuillus produisant des rejets très vigoureux.

Favoriser l'installation des semis

Attendre la présence de semis sous un peuplement refermé ombrageant fortement le sol peut être illusoire, surtout dans les régions où la fructification des arbres n'est pas régulière. Par exemple avec le chêne, les glandées (années abondantes en glands) sont irrégulières. Les forestiers estiment leur fréquence tous les dix à douze ans dans l'Est de la France, tous les trois ou quatre ans dans le Centre-Ouest. Il apparaît cependant assez fréquemment des glandées ou faînées (avec le hêtre) partielles ; il faut toujours être prêt à en profiter.

Actuellement le bois de feu recommence à se vendre facilement, tout simplement parce que le coût du chauffage à l'électricité, au gaz ou

au fioul, a considérablement augmenté. C'est une occasion à saisir. L'abattage du taillis pour récolter du bois de feu dans des layons de 3 m de large environ espacés de 10 m, doit apporter un éclaircissement suffisant pour permettre l'apparition de semis. Cet abattage peut s'accompagner du prélèvement, dans l'intervalle des layons, de quelques brins de taillis exploitable. Ainsi on laisse venir un peu de lumière au sol tout en limitant l'apparition de la végétation concurrente qu'il faut parfois contrôler et les conditions de germination des futurs semis sont améliorées. Les layons serviront au débardage du bois du taillis et ultérieurement, à la surveillance de la régénération.



© S. Six

Conclusion

La faible rentabilité de la forêt ne doit pas amener à la laisser vieillir inconsidérément. Sa gestion doit être conduite avec un souci constant de limiter des dépenses, tout en la rajeunissant. Et c'est sans état d'âme et sans perdre de temps qu'on saisira les opportunités offertes par la nature ou par le marché pour récolter des bois tout en facilitant une régénération gratuite ou peu coûteuse.

On n'oubliera pas que la régénération naturelle doit se faire sur semis acquis sans nécessairement rechercher une trop grande abondance de semis ; qu'au préalable, la densité de gibier doit être contrôlée (chasse ou pose de protections) ; et que certaines mesures préventives sont parfois nécessaires contre une végétation qui risque de concurrencer les semis, une fois les coupes réalisées. ■

Une occasion ratée

Dans l'Oise, sur une parcelle d'environ 9 ha d'un vieux taillis sous futaie à base de chêne pédonculé et de hêtre, un extraordinaire semis de chêne – un véritable gazon – a levé en 1976 sous le couvert du peuplement adulte. La mise en régénération de cette parcelle était prévue au plan de gestion quelques années plus tard. Lorsqu'elle a débuté, les semis étaient morts par excès d'ombre. Après la coupe de régénération, le sol s'est couvert progressivement d'une abondante végétation : ronces, fougères, herbe... Après plusieurs années d'attente sans apparition de semis, il a été décidé de procéder à un travail du sol au covercrop. Puis, après encore quelques nouvelles années d'attente, toujours pas de semis ! Le travail du sol a donc été recommencé, sans aucun résultat. Finalement, plus de dix ans après la coupe d'ensemencement, on a eu recours à la plantation avec les soins et les investissements qu'elle implique. En 2006, la parcelle n'est toujours pas tirée d'affaire. Ceci illustre qu'il est indispensable d'engager une régénération sur des semis acquis et de les mettre à la lumière, en la dosant en fonction de leurs besoins.

(1) *Durée minimum de production de la majorité des espèces pour obtenir du bois-d'œuvre vendable.*

(2) *Résultat d'enquêtes sur les reboisements.*

(3) *Sacrifice d'exploitabilité = couper son blé en herbe.*

Suggestion aux Cetef

En s'inspirant des recommandations contenues dans cet article, des membres de Cetef propriétaires de peuplements feuillus vieillissants pourraient tenter la régénération naturelle sur des surfaces voisines d'un demi-hectare, après avoir pris les dispositions nécessaires pour éliminer les risques dus au gibier.

Afin que cette expérience soit utile à tous, il est recommandé, avec le concours du technicien du Cetef :

- 1/ de noter avec précision l'état de la végétation au sol avant toute intervention et la végétation prévisible suite à une mise à la lumière ;
- 2/ s'il n'y a pas de semis naturels en quantité suffisante, de provoquer leur apparition après avoir pris les précautions indiquées dans l'article, pour limiter l'impact d'une végéta-

tion concurrente dangereuse ;

3/ de suivre cette expérience en notant chaque année les opérations effectuées ainsi que l'évolution des semis et de l'éventuelle végétation concurrente ;

4/ de faire circuler les informations auprès des autres membres du Cetef et de l'IDF qui – dans la rubrique Cetef de Forêt-entreprise – pourrait les faire connaître aux autres Cetef.

La règle de base reste :

- attendre que les semis soient bien installés avant d'apporter une importante lumière au sol ;
- éviter des sacrifices d'exploitabilité ;
- enfin, dépenser le minimum d'argent.

Douglas français et classement du bois

Jean-Denis Lanvin*, Romuald Chatelu*, Joël Godard*, Didier Reuling*, Jean-Louis Ferron** (1)

Convaincue d'avoir affaire à une essence de qualité supérieure parmi les résineux, l'Association France Douglas s'attache à mettre en avant les atouts du douglas. Ce qui passe obligatoirement par la reconnaissance de ses spécificités pour la normalisation européenne et leur valorisation par des méthodes de classement des bois adaptés. Jean-Denis Lanvin (CTBA) fait ici le point sur le délicat sujet de la normalisation et du classement en structure (2), c'est-à-dire principalement pour les utilisations en charpente (premier débouché actuel du douglas) dont les propriétés mécaniques sont déterminantes.

Le bois présente de grandes variations de qualité selon les essences, la génétique et la station forestière. Ses propriétés ne varient pas seulement d'arbre en arbre, mais aussi au sein d'un même arbre du cœur vers la périphérie et du bas vers le haut du tronc.

Par ailleurs, les processus de sciage va, lui aussi, entraîner des variations importantes pour les propriétés mécaniques des planches selon l'angle de tranchage des fibres par rapport au fil du bois ou à l'axe des nœuds.

Les propriétés mécaniques d'un bois non classé d'une essence donnée peuvent varier au point que la pièce la plus résistante en flexion est parfois 10 fois supérieure à la pièce

Tableau 1 : Contrainte à la rupture des bois (base de données CTBA)

Essence	Contrainte à la rupture (flexion 4 points) en MPa			
	Minimum	Moyenne	Maximum	Nombre d'éprouvettes
Sapin	6,5	44,9	92,8	1 742
Épicéa	5,3	44,9	86,4	1 591
Pin sylvestre	17,3	44,3	80,6	2 145
Douglas	17,4	39,2	71,1	3 851

la moins résistante (Tableau 1), d'où la nécessité d'un classement.

Le classement est supposé garantir l'adéquation entre les propriétés du bois et son utilisation, pour que les caractéristiques de résistance et de rigidité soient fiables dans une classe donnée – c'est ce qui conditionnera l'achat des bois. Deux méthodes coexistent pour trier la matière première dans le but d'une

utilisation structurelle :

- la méthode visuelle (norme NF B 52-001). Trois classes sont possibles : ST I, ST II, ST III,
- la méthode par machine, qui identifie directement les classes mécaniques des bois. Trois classes sont possibles : C30, C24, C18 – par référence à la pression à exercer pour casser la pièce : 30, 24 ou 18 méga pascals : MPa (3).

Tableau 2 : Correspondance entre les catégories visuelles, les classes mécaniques et les propriétés du bois

Classes visuelles	Classe de résistance mécanique	MOE (GPa)	MV (kg/m ³)	MOR (MPa)
ST - I	C 30	12	380	30
ST - II	C 24	11	350	24
ST - III	C 18	9	320	18

MOE : module d'élasticité (en giga pascals). Ce coefficient caractérise la raideur d'un matériau. Un morceau de bois ayant un module d'élasticité élevé subira une déformation faible (il est très rigide).

MV : masse volumique.

MOR : contrainte à la rupture en flexion (en méga pascals).

Ces trois propriétés du bois sont d'autant plus élevées que le bois est résistant.

Les performances du douglas français

Les premières études de caractérisation du douglas ont commencé au CTBA avec un prélèvement en forêt sur cinq régions (Haute-Normandie, Limousin, Bourgogne, Bretagne et Midi-Pyrénées). Ce prélèvement a permis d'assurer la traçabilité entre les arbres et les éprouvettes testées. La correspondance établie entre arbres et performances mécaniques des éprouvettes donnent des indications aux sylviculteurs pour orienter leur gestion future. Pour un nombre d'éprouvettes supérieures à 1 900, le prélèvement comprend :

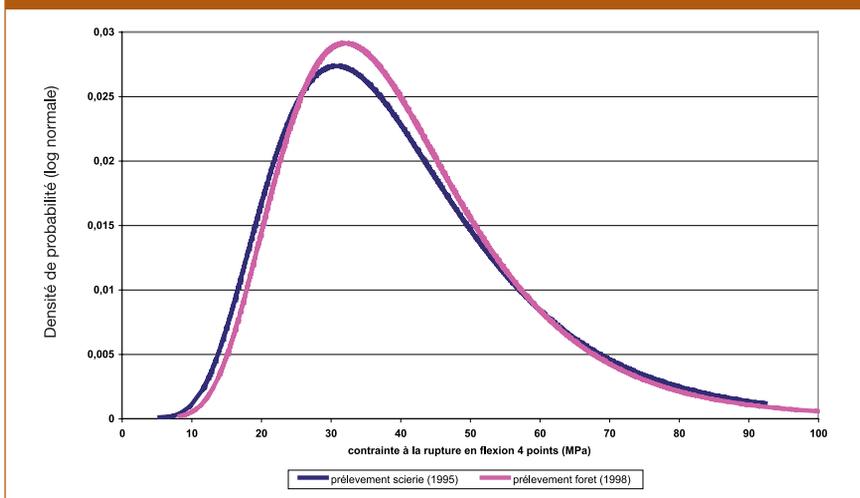
- 34 placettes de bois « jeunes » (moyenne = 28 ans), soit 170 arbres
- 14 placettes de bois « âgés » (moyenne = 50 ans), soit 70 arbres

Les premiers résultats ont permis de proposer des règles simples consignées dans le cahier CTBA N°128 en 1986. Avec l'avènement de l'espace européen, ces règles ont été optimisées en 1992 en fonction de la normalisation européenne pour proposer trois classes (ST I, ST II, ST III) au sein de la norme NF B 52-001.

Tableau 3 : Comparaison des performances mécaniques entre populations selon l'âge

	MOE (GPa)	MV (kg/m ³)	MOR (MPa)
Bois jeune (< 40 ans)	11	475	34,5
Bois âgé (> 40 ans)	13,4	530	46,5

Figure 1 : Comparaison des performances mécaniques lors de deux prélèvements différents



Suite au développement des techniques de contrôle et à la maturation des massifs, il a été nécessaire de réactualiser les données sur les performances mécaniques. Vingt ans plus tard, une deuxième étude a donc été réalisée en prélevant des planches directement en scierie tout en gardant une information grume (en provenance de trois départements). Les caractéristiques de l'échantillonnage sont les suivantes pour un nombre d'éprou-

vettes supérieures à 1 900 :

- 124 arbres de bois « jeunes » (moyenne = 34 ans)
- 49 arbres de bois « âgés » (moyenne = 55 ans).

La figure 1 permet de constater que vingt ans plus tard, les performances mécaniques du deuxième prélèvement n'ont pas été modifiées, ce qui valide la fiabilité des valeurs mécaniques annoncées pour la ressource et montre la stabilité du massif du point de vue sylvicole.

France Douglas : leader incontesté de la filière douglas

Depuis plus de 10 ans, France Douglas œuvre infatigablement pour la promotion du douglas. L'enjeu est de taille car les perspectives d'évolution de cette essence en France sont énormes. Le volume de bois récolté devrait passer de 2 Mm³ aujourd'hui à 6 Mm³ en 2030, rejoignant ainsi celui des massifs de pin maritime ou de sapin-épicéa.

Convaincue d'avoir affaire à une essence de qualité supérieure parmi les résineux, l'Association s'attache à mettre en avant ses atouts. Le point de passage obligé est donc de faire reconnaître ses spécificités au sein de la normalisation européenne et de les valoriser par des méthodes de classement des bois adaptés. Dès le départ, France Douglas a donc œuvré dans ce but avec les scieurs de son conseil d'administration et avec le CTBA.

Les différentes méthodes de classement des bois en fonction de la résistance mécanique

La méthode visuelle

Chaque pays de la communauté européenne a actuellement une

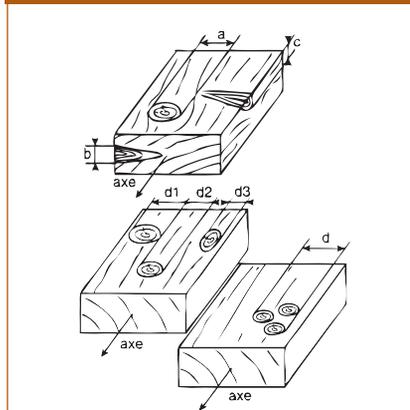
norme de classement visuel applicable sur les essences dudit pays. Chacune d'entre elles diffère par le nombre de classes et par les limites de classes mais la méthode de mesure des nœuds et autres singularités est commune (NF EN 1310).

- La largeur des cernes est mesurée aux deux extrémités de la pièce. Sur chaque extrémité, on compte le nombre de cernes sur des distances repérées. La valeur retenue est la moyenne de ces deux mesures.

- La dimension des nœuds est toujours mesurée perpendiculairement à l'axe de la pièce. Des nœuds sont dits groupés si la distance d'entraxe entre deux ou plusieurs nœuds est inférieure à 15 cm. Dans ce cas, on additionne les dimensions de chacun des nœuds.

Les travaux réalisés à ce jour au CTBA ont permis de qualifier la plupart des essences françaises qui peuvent trouver un débouché valorisant en structure. La norme NF B 52-001 (1998) démontre qu'il est possible, en appliquant des critères de classement simples, d'atteindre des valeurs de résistance mécanique conformes aux performances exigées pour une utilisation en structu-

Figure 3 : Principe de mesure des nœuds (NF EN 1310)



re. La page 64 reprend le tableau de classement visuel du douglas.

La méthode par machine

L'importance accrue de l'assurance qualité et la demande croissante d'un matériau bois de haute qualité ont conduit au classement par machine et initié le développement de nouvelles machines avec une précision de prédiction plus importante.

La plupart des machines de classement en service à ce jour sont aussi appelées machines de flexion. Elles déterminent un « module d'élasticité moyen en flexion 3 points » sur de faibles portées. Toutefois,

l'épaisseur maximale des planches est limitée à 80 mm. La détermination du module d'élasticité est également possible par des méthodes autres que la flexion : vibrations et ultrasons.

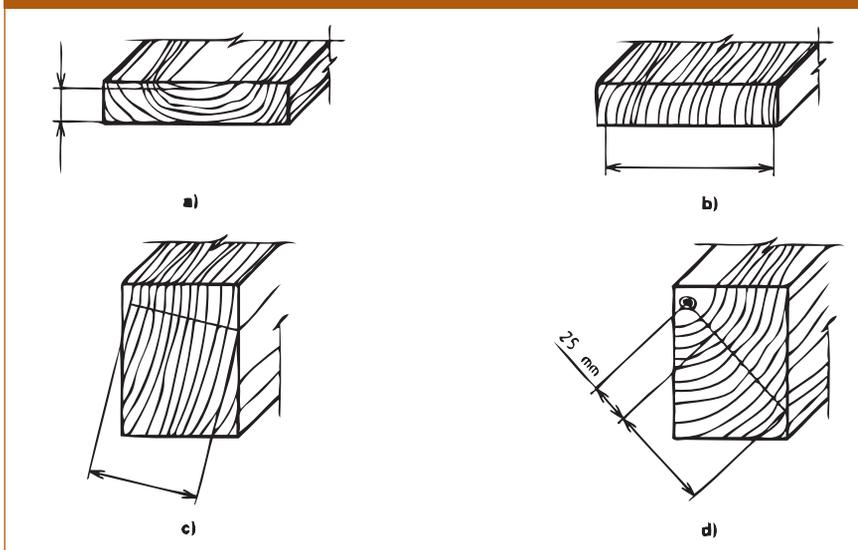
En ce qui concerne les techniques optiques, les quatre faces du bois sont examinées simultanément par caméra vidéo. Les nœuds sont détectés *via* des nuances de gris et l'analyse de la texture environnante permet de les différencier des autres caractéristiques qui ne sont pas corrélées à la résistance telles que la saleté ou les taches. La détermination des proportions en surface des nœuds s'effectue par des techniques d'analyse d'image. Les premières mesures de densité du bois par rayonnement gamma sont apparues dans les années 1950. L'utilisation des rayons X est plus récente. Cependant, le passage du rayonnement gamma aux rayons X pour la mesure de la masse volumique permet d'augmenter considérablement la vitesse de défilement des bois.

Naturellement, plus l'efficacité d'une machine de classement est importante, plus son coût est élevé. La comparaison de différentes machines de classement avec le classement visuel doit prendre en compte le coût, la performance et la vitesse de classement.

Comparaison des méthodes de classement

Pour bien comprendre l'intérêt du classement du douglas pour une utilisation structurelle, il est préférable dans un premier temps de comparer les rendements du classement issu de la méthode visuelle et du classement optimal. Ce dernier se réfère aux propriétés réelles des pièces de bois, déterminées après essais destructifs. L'apport

Figure 2 : Principe de la mesure des largeurs de cernes (NF EN 1310)



qualité du bois

des machines sera présenté dans un deuxième temps.

Comparaison entre classement visuel et classement optimal

Pour apprécier les limites du classement visuel, prenons deux exemples :

- pour un peuplement adulte proche de la coupe rase (60 ans), 90 % des pièces ont potentiellement (Figure 5) de très bonnes propriétés mécaniques (C30), mais le classement visuel (Figure 4) n'en identifie que 23 % (STI égale C30). Par ailleurs, il rejette 17 % des pièces au lieu de 3 % ;

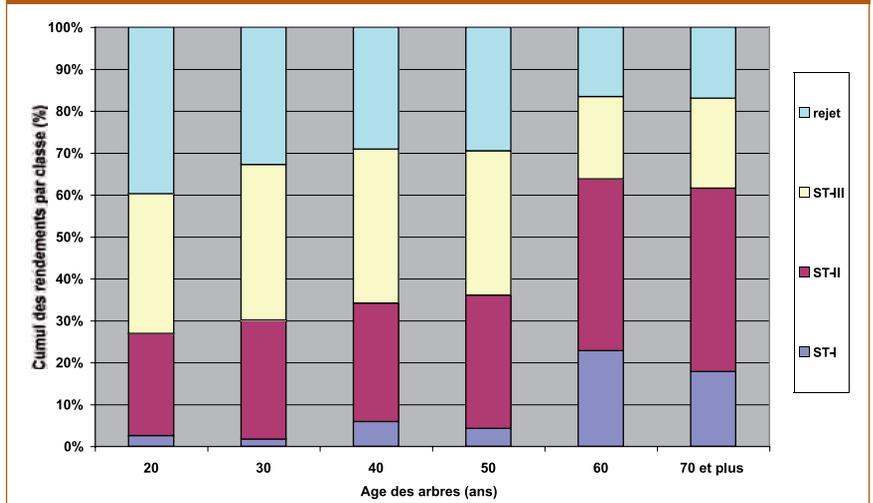
- pour un peuplement jeune au stade des premières éclaircies donnant du bois d'œuvre (30 ans), 60 % des pièces pourraient déjà être classées excellentes (C30) alors que le classement visuel n'en détecte quasiment pas. À l'inverse, il rejette 32 % des pièces au lieu de 6 %.

Comparaison entre les différentes machines de classement

Les machines sont capables de corréler des paramètres non destructifs avec les performances attendues. L'expérience acquise au cours des campagnes d'essais à l'aide des machines existantes au CTBA permet d'affirmer que les rendements d'un classement machine du douglas vont se situer entre ceux obtenus par méthode visuelle et par le classement optimal.

L'analyse de la figure 6 permet de constater que le rendement issu des machines de classement est nettement meilleur que celui de la méthode visuelle. Par ailleurs, la différence entre les 70 % (classement optimal) et les 5 % (classement visuel) montre bien la limite du classement visuel dans la classe C30. Ce dernier a une tendance à déclasser les pièces vers le rejet.

Figure 4 : Classement visuel du douglas selon la norme NF B 52-001 (3 851 éprouvettes)



Ces performances médiocres du classement visuel ont incité à rechercher d'autres méthodes de classement mécanique non destructif, notamment par machines.

Figure 5 : Classement optimal du douglas (3 851 éprouvettes)

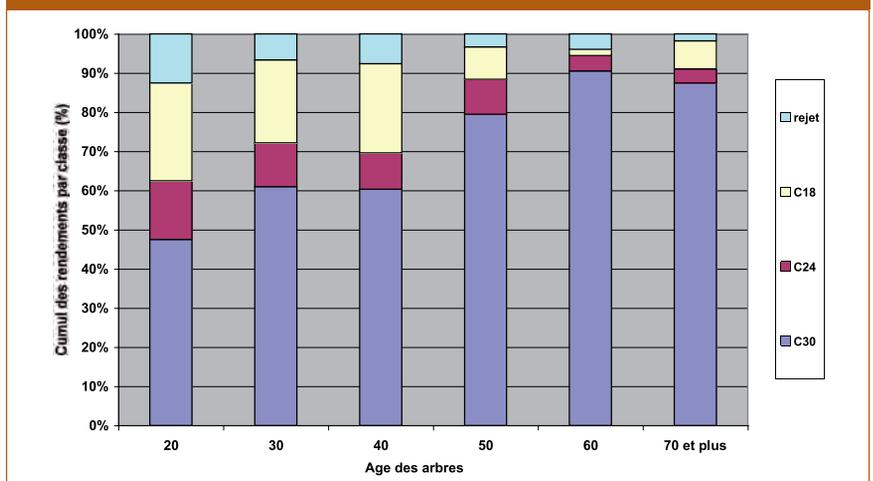
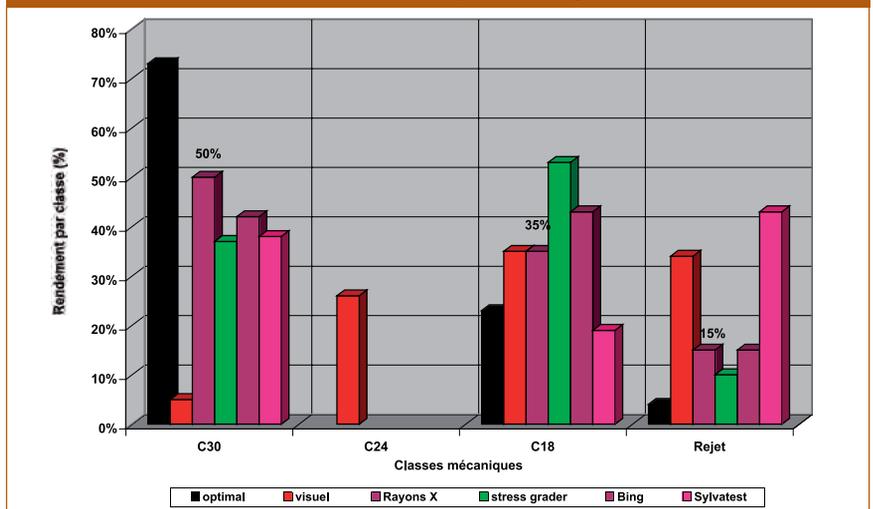


Figure 6 : Comparaison des rendements par classe mécanique entre machines (Joyet et al., 2003)



Machine de Classement	Rendement	Simplicité	Fiabilité	Faible coût
Rayons X	+++	+	+++	+
Stress grader	+	+++	+	+
Bing	++	++	++	+++
Sylvamatic	++	++	+	++

Critères de choix d'une machine

La machine retenue doit assurer les aspects suivants :

- **Rendement** : ce paramètre a pour objet de tester la capacité du classement à extraire le maximum de pièces de caractéristiques mécaniques acceptables ;
- **Simplicité** : ce critère a pour objet d'apprécier la facilité d'intégration du classement dans les entreprises;
- **Fiabilité** : Pour une classe donnée, 95 % des pièces classées présentent des valeurs supérieures aux valeurs de la classe (en accord avec le contrôle qualité de produit).

Perspectives

Le classement par la résistance permet de garantir que les propriétés mécaniques du douglas sont satisfaisantes pour une utilisation structurale et en particulier que les propriétés de résistance et de rigidité sont fiables. C'est une essence qui a

toute sa place sur le marché des bois de construction. Son aspect et ses performances mécaniques permettent de concurrencer à moyen terme les importations des bois scandinaves.

Toutefois, la résistance ne peut être déterminée qu'indirectement par des paramètres visuels ou par d'autres méthodes non destructives. La méthode visuelle ne permet pas un tri vers les hautes classes mécaniques. Un classement au moyen d'une machine est nécessaire pour trier convenablement la

ressource. Le choix de la machine de classement est donc très important pour un emploi économique du bois.

Un transfert technologique pour installer une machine opérationnelle chez un industriel aura lieu fin 2006 pour trier du douglas, d'autres industriels ou centres de tri-séchage devraient suivre. Les volumes importants et la possibilité de trier la ressource permettent au douglas d'envisager avec sérénité l'avenir. ■

(1) * CTBA, Pôle Construction – Laboratoires de Mécanique, Allée de Boutaut, BP 227, 33028 Bordeaux Cedex.

** Suite à l'article de J.-M. Leban (INRA) sur la caractérisation de la ressource de douglas (Forêt-entreprise n°163).

(3) Le pascal est l'unité de pression égale à 1 newton par m², soit environ 100 g/m². L'unité « méga » signifie un million de fois et « Giga » un milliard de fois. Par exemple, 30 MPa ≈ 3 000 tonnes/m².

Résumé

Le douglas est une essence à fort potentiel économique, relativement nouvelle sur le sol français, et profitant d'une sylviculture dynamique. Les travaux sur ses performances mécaniques entamés dès 1985, ont permis d'élaborer des règles de classement par méthode visuelle essentiellement par une mesure de la dimension des nœuds (norme NF B 52-001). Ce processus de contrôle est comparativement lent et surtout sujet aux erreurs humaines. Pour pallier les imperfections du classement visuel, le CTBA a analysé au moyen de contrôles non destructifs 2 000 éprouvettes avant rupture. L'analyse statistique a permis d'établir des relations entre les caractéristiques mécaniques *in fine* des produits (classement optimal) et les paramètres mesurés par divers contrôles non destructifs. Le transfert technologique de ces nouvelles méthodes non destructives vers l'industrie est en cours de réalisation auprès de scieurs et de lamellistes.

Mots-clés : douglas, classement des bois, résistance mécanique.

Bibliographie

- Cahier CTBA. N°128 « Le Douglas » 1986.
- Joyet *et al.*, Mokuzaï, (2003). Développement du classement mécanique des sciages de douglas. Rapport final en partenariat avec la Derf, Eurolamelle, et Fibra.
- Lanvin *et al.* (1997). Etude européenne CR-1840-91 « Timgrad : Improving grading methods for structural timber by non destructive techniques ».
- Rapport CTBA. « Caractérisation physique et mécanique du douglas » Régions Bretagne (1986), Midi Pyrénées (1986), Haute Normandie (1985), Limousin (1987), Bourgogne (1987).
- Rouger F., (1996). « Application of a modified statistical segmentation method to timber machine strength grading », Wood & Fiber Science, 28(4).
- Rouger F *et al.*, (1994). « Predicting bending strength of structural timber by local density measurements » Proceedings of the Pacific Timber Engineering Conference (PTEC 94), July 11-15.
- Sandoz J.-L., (1990). « Triage et fiabilité des bois de construction, validité de la méthode ultrason ». Thèse de l'École polytechnique fédérale de Lausanne.

Règles de classement du douglas selon la NF B 52-001 (proposition 2005)

Pour des sections inférieures à 18 000 mm²

CLASSES CRITÈRES	ST-I (*)	ST-II	ST-III
Largeur des cernes d'accroissement (mm)			
	≤ 6	≤ 6	≤ 8
Diamètre des nœuds			
sur la face (**)	∅ ≤ 1/6 de l et ≤ 30 mm	∅ ≤ 1/2 de l et ≤ 50 mm	∅ ≤ 3/4 de l et ≤ 100 mm
sur la rive (**)	∅ ≤ 2/3 de l'épaisseur de la rive ∅ ≤ 40 mm		
Fentes (***)			
traversantes	longueur ≤ deux fois la largeur de la pièce		longueur ≤ 600 mm
	longueur ≤ moitié de la longueur de la pièce		non limitée
Grosse poche de résine			
	non admise	admise si < 80 mm	
Entre-écorce (due le plus souvent aux fourches)			
	non admise		
Pente de fil (en fraction)			
locale	1:10	1:4	
générale	1:14	1:6	
Flaches (écorce ou manque de bois sur la rive d'une pièce)			
longueur	non admises	< 1/3 de la longueur de la pièce et < 100 cm < 1/3 de l'épaisseur de la rive	
Altérations biologiques			
bleu - traces de gui	Admis		
piqûres noires	Admises si elles apparaissent sur une seule face		
échauffure	Non admise		
Déformation maximale en mm pour une longueur de 2 m			
flèche de face (mm)	< 10		< 20
flèche de rive (mm)	< 8		< 12
Gauchissement	1 mm / 25 mm large		2 mm / 25 mm large
Tuilage	pas de restrictions		

Pour des sections supérieures à 18 000 mm²

CLASSES CRITÈRES	ST-I (*)	ST-II	ST-III
Largeur des cernes d'accroissement (mm)			
	≤ 8	≤ 10	≤ 12
Diamètre des nœuds			
sur la face (**)	∅ ≤ 1/6 de l et ≤ 40 mm	∅ ≤ 1/2 de l et ≤ 70 mm	∅ ≤ 3/4 de l et ≤ 130 mm
sur la rive (**)	∅ ≤ 2/3 de l'épaisseur de la rive ∅ ≤ 80 mm		

(*) Pour le douglas uniquement dans les sections inférieures à 50 x 150 mm, les pièces contenant de la moelle sont exclues et donc déclassées en ST II. Cette mesure tient compte de la relative jeunesse du massif de cette essence, et pourra donc être révisée lorsque des éléments nouveaux le permettront.
(**) l = largeur de la pièce, e = épaisseur de la rive.
(***) La longueur des fentes est reliée à l'humidité et par conséquent, les limites données au tableau sont seulement applicables au moment du classement.

Les autres critères restent inchangés. Toutefois, le critère fente des bois de fortes sections reste difficilement prédictible si les bois sont classés « humides ».