



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
foretentreprise@cnppf.fr

Directeur de la publication
Alain de Montgascon

Directeur de la rédaction
Thomas Formery

Rédactrice
Nathalie Maréchal

Conception graphique
Jean-Éric Ridonat (High'com)

Maquettiste
Sophie Saint-Jore

Responsable Édition-Diffusion
Samuel Six

Diffusion — abonnements
François Kuczynski

Publicité
Helium Régie

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

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

Numéro d'imprimeur 00107

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

Périodicité : 6 numéros par an
Abonnement 2009
France : 47 € — étranger : 61 €
édité par le CNPPF

ISSN : 0752-5974
Siret : 180 092 355 00015

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

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

Dépôt légal : Septembre 2009



sommaire

2

agenda

3

éditorial

4

agenda

5

actus

6

cetef

Le GDF 41

M.-T. Fleury, J.-P. Grange,
H. Désiré

8

biodiversité

*Le programme
« Biodiversité et gestion
forestière »*

I. Bonhême, Ch. Gauberville

11



dossier

*LE DOUGLAS :
PLANTER... ET APRÈS ?*

41

tempête

*Évaluation des dégâts de la
tempête Klaus dans les peu-
piements de pin maritime*

S. Lucas

46

sylviculture

Vers une sylviculture économe

L. Dupayage

51

peuplier

Fiche station riche fraîche

E. Paillassa

56

herbicides

*L'utilisation des herbicides
en forêt : vers une dispari-
tion programmée ?*

M. Dodet, H. Frochet,
L. Wehrlen, F. Vast

60

sols/eaux

*La phytoremédiation, ou la
bonne santé des sols par les
plantes*

F. Charnet

Photo de couverture :

*Grume de douglas de
7,3 m³.*

© J.-P. Gayot, CRPF Limousin

InterCetef 2009

Les journées InterCetef, édition 2009, se dérouleront les jeudi et vendredi 1^{er} et 2 octobre, en Auvergne (région des monts du Livradois au sud de Clermont-Ferrand), sous la conduite du Cetef du Puy-de-Dôme, sur le thème de « La gestion des peuplements à risques ». Seront notamment abordées, les problématiques liées aux peuplements dépérissants, aux peuplements en retard de sylviculture, aux peuplements à fort capital sur pied et à la reconstitution après tempête. *Pour tous renseignements, vous pouvez vous adresser à Alain Colinot : CNPPF Orléans, tél. : 02 38 71 90 62 et 06 09 41 60 89, courriel : alain.colinot@cnppf.fr*

La phénologie : un observatoire des changements climatiques

Le Groupement de recherches « Systèmes d'information phénologique pour la gestion et l'étude du changement climatique » (www.gdr2968.cnrs.fr) organise son premier colloque les 21 et 22 octobre 2009 à Montpellier intitulé « La phénologie : un observatoire des changements climatiques ». Ce colloque a pour but de présenter et discuter les travaux de recherche effectués et les réseaux d'observation dans le cadre du GDR. Les inscriptions se font sur le site du colloque Sciences Citoyennes et Biodiversité. <http://colloquescb.tela-botanica.org>

Troisième rencontre nationale arbres et haies champêtres

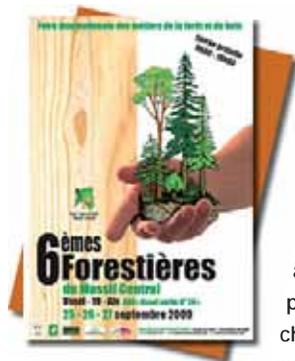
Le Parc naturel régional de l'Avesnois et l'Association française arbres et haies champêtres (AFAHC) organisent du 21 au 22 octobre 2009 à Fourmies dans le département du Nord (59), des conférences et débats autour du thème de l'agriculture, les arbres et la biodiversité.

Renseignements par téléphone au 03 27 77 51 60 ou sur le site www.parc-naturel-avesnois.fr

Forêt et paysage

À Besançon (25) se déroulera, du 16 au 18 septembre 2009, le colloque sur la forêt et le paysage organisé par le Groupe d'histoire des forêts françaises. Seront abordés les thèmes de l'esthétique et des valeurs du paysage forestier, des pratiques et des usages de l'espace forestier, de la protection et de la mise en valeur du patrimoine forestier ; une visite en forêt de Chaux clôturera ces journées.

Plus d'informations sur le site : www.ghff.ens.fr



6^e Forestières du Massif central

Sur la commune d'Aix, près d'Ussel en Corrèze, du 25 au 27 septembre, la filière forêt-bois auvergnate et limousine présente les différentes facettes des métiers de la forêt et du bois, avec des démonstrations de travaux d'exploitation et un parcours de découverte à l'intention des scolaires. La forêt et les tempêtes, la place du bois dans la construction et la production de chaleur, la certification forestière seront les thèmes de nombreuses tables rondes, organisées à cette occasion.

Informations sur le site : www.les-forestieres.com

Campagne pour l'isolation par l'extérieur en bardage de bois

Jusqu'au 30 septembre, France-Bois-Forêt organise l'opération « Résolument Bois ! » visant à fournir, aux professionnels, artisans et architectes, tous les arguments pour prescrire le bois pour les projets d'isolation par l'extérieur et de rénovation. Cette campagne a pour but d'augmenter la consommation de bois et produits à base de bois sur un marché d'opportunité clairement identifié : l'isolation par l'extérieur et le bardage bois pour la rénovation des façades.

Informations sur le site : www.franceboisforet.fr

Colloque sur la transformation des feuillus

À Paris, dans les locaux de l'Institut technologique FCBA (Forêt, Cellulose, Bois-construction, Ameublement), se déroulera les 28 et 29 septembre le 2^e colloque international sur la transformation des bois feuillus. Des experts internationaux, des scientifiques et des représentants de l'industrie des bois feuillus présenteront les différents travaux et les récents progrès dans le domaine de la transformation des bois feuillus.

Plus d'informations sur le site : www.fcba.fr

Le sylvopastoralisme, un atout

Une journée de présentation des atouts du sylvopastoralisme pour l'élevage et la mise en valeur des espaces boisés du grand Sud aura lieu le 15 décembre à Montpellier. Proposée par l'Institut de l'élevage et ses partenaires, cette rencontre permettra de découvrir les nouveaux outils et méthodes d'aide, les conditions technico-économiques de réalisation à l'échelle d'une exploitation d'élevage ou d'une propriété forestière de projets sylvopastoraux à partir de cas concrets et témoignages. *Inscriptions auprès de l'Institut de l'élevage, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 1.*

éditorial

URMATT...

Le discours du président de la République, à Urmatt en Alsace, le 19 mai dernier, a été salué à juste titre par l'ensemble des professionnels de la filière forêt bois comme un puissant coup de projecteur sur l'intérêt pour l'économie nationale de cette filière trop souvent oubliée, un acte volontariste pour améliorer la situation paradoxale dans laquelle se situe la France forestière : une forêt productive, importante, une consommation de produits bois en hausse... et un déficit du commerce extérieur considérable.

Sur le volet amont, la forêt privée est interpellée : la récolte est trop faible par rapport à la production, tout le monde en convient même si les évaluations ne sont pas unanimes, du bois dort dans les forêts, privées principalement puisque très majoritaires en surface, même si le Président ne lui impute que la moitié de l'accroissement non mobilisé.

Certes, sur les 10,5 millions d'hectares de forêt privée, nous avons le handicap de 2 millions d'hectares de toutes petites propriétés, de fait hors des circuits commerciaux, issues du boisement spontané de terres agricoles à structure foncière éclatée du XIX^e siècle. Au-delà des nombreuses opérations de gestion groupée mises en place, le problème est d'ordre foncier et la question doit être abordée de façon très volontariste, comme le fait le rapport du Ministre Puech, sans que cela soit d'ailleurs repris dans le discours d'Urmatt. Certes, notre production est très fragmentée sur de nombreuses essences forestières commercialisables, nécessitant souvent des micros marchés peu adaptés à la demande industrielle, ce qui rend leur récolte chaotique et sélective. À noter que cette faiblesse est également une force par ailleurs, dans un contexte de changement climatique. Mais la majeure partie de nos forêts privées est accessible, organisée,

sensibilisée par nos techniciens de développement, contactée par nos organismes de gestion forestière ou nos experts. Si le marché est acheteur à un prix satisfaisant, ce qui n'est pas le cas actuellement, il ne reste plus qu'à passer à l'acte d'exploitation, trop souvent différé.

Pour orienter nos actions de développement, sensibilisation, formation, il nous faut absolument mieux comprendre les facteurs de déclenchement de l'exploitation, le "consentement à couper" du sylviculteur. L'appel du marché, par des prix attractifs, constitue évidemment le principal moteur de la mobilisation. Mais cet appel n'est pas suffisant, il faut aussi vaincre les freins techniques (desserte, par exemple), les difficultés entraînées par le morcellement de la propriété, les lourdeurs réglementaires et environnementales, les différences entre les qualités produites et les demandes du marché, le prix de la tranquillité (pour certains propriétaires tout chantier paraît perturbant par le risque commercial d'impayés, de dégâts aux arbres restants ou aux accès, de disparition de bois, de contentieux, etc. et la valeur du lot doit prendre en compte ce prix), l'apparition des problèmes techniques de renouvellement des peuplements... Le tour de la question n'est pas fait, loin de là !

Diverses études régionales récentes, en Bourgogne, Rhône-Alpes, Auvergne, Aquitaine, Limousin ou en région Centre, apportent des éclairages extrêmement intéressants, susceptibles de réorienter en partie les axes de développement forestier. Ces initiatives sont maintenant reprises au niveau national, dans le réseau d'observation de la forêt privée (Résofop) qui se met en place actuellement à l'initiative de l'IDF et de la fédération Forestiers Privés de France, et nous permettra de mieux connaître le comportement économique des forestiers.

Thomas Formery

Au Salon MAISON BOIS 2009 d'Angers, pas de question sans réponse

À tous ceux qui s'interrogent sur l'éco-construction et les possibilités d'utilisation du bois dans la maison, le 11^e salon maison-bois mobilise tous les professionnels pour informer sur la construction, la rénovation, l'aménagement, le chauffage avec un éco-matériau, le bois.

Du 16 au 19 octobre au parc des expositions d'Angers, des porteurs de projets pourront rencontrer, lors de rendez-vous-conseils, des experts techniques du bois, ou de l'architecture. Les internautes peuvent déjà poser leurs questions sur le site : www.salon-maison-bois.com/visiter



Consultez d'autres événements sur le site www.foretpriveefrancaise.com



Calendrier des ventes groupées organisées par des experts forestiers, membres de la C.N.I.E.F.E.B. Ventes Automne 2009

Le calendrier reproduit ci-dessous a été dressé par la Compagnie nationale des ingénieurs et des experts forestiers et des experts en bois (C.N.I.E.F.E.B.). Il ne représente qu'une partie des ventes préparées par les experts forestiers de la Compagnie. Dans la majorité des cas, la Compagnie préconise pour le compte des propriétaires forestiers les ventes groupées par appels d'offres. Tous les experts forestiers contribuent à l'organisation de ces ventes, soit personnellement dans leur propre cabinet, soit regroupés entre eux, soit parfois avec le concours d'organismes professionnels, type syndicat ou coopérative.

CNIEFEB - 6 rue Chardin - 75016 Paris - tél. : 01 40 50 87 34

Région	Lieu de la vente	Département	Date	Expert coordonateur	Sigle
Auvergne	Clermont-Ferrand	63	03/10/09	Ph. Imbert	CNIEFEB
Bourgogne	Saulieu	21	18/11/09	R. Susse	CNIEFEB
	Dijon	21	06/10/09	T. Susse	CNIEFEB
	Poisson	71	30/10/09	D. Lauvernier	CNIEFEB
	Nevers	58	29/10/08	J.-L. Bartman	GEGPS
Centre	Cormery	37	22/10/09	J.-P Sadoux	VEFOCO* CST*
	St Julien-sur-Cher	41	22/10/09	J.-Ph. Angenault	BCE
	Vignoux-sur-Barangeon	18	07/10/09	J. Morvan	SFCDC
Champagne-Ardennes	Rolampont	52	10/09/09	J. Rousselin	CNIEFEB
Lorraine-Alsace	Bains-les-bains	88	21/09/09	A. Chavane	GRIEF
	Cirey-sur-Vezouze	54	15/10/09	A. Michaut	GRIEF
	Nancy	54	13/10/09	A. Michaut	GRIEF
Normandie	Conches	27	03/11/09	Ph. David	ANEF
Paris Île-de-France	Paris	75	28/11/09	P. Costaz	FPIDF
	Paris	75	28/11/09	E. de Grandcourt	Comité des Forêts
	Paris	75	21/11/09	Chavet	FPE
Pays de Loire	Sablé Solesmes	72	07/10/09	J. de Clermont-Tonnerre	FOE
Poitou-Charentes	Poitiers - Montamisé	86	26/11/09	J.-F. de La Motte	APCEF

* Vente réalisée conjointement avec celle d'un organisme de la forêt privée.

Le rôle de régulateur de carbone des forêts menacé

L'Union internationale de la recherche forestière (IUFRO) présente un rapport rédigé par 35 scientifiques internationaux mettant en doute les capacités futures des forêts à maintenir leur rôle de puits de carbone : « Dans les prochaines décennies, les perturbations causées par le changement climatique pourraient amener les forêts à libérer de grandes quantités de carbone. »

Les plantes en général, et les arbres en particulier, absorbent le gaz carbonique en poussant et le stockent. Le CO₂ n'est libéré que si les arbres sont dégradés. Or, selon le rapport, « des températures plus élevées auraient pour conséquence la destruction et la dégradation de la forêt » en raison de sécheresses prolongées, d'invasions plus fréquentes de ravageurs, d'une augmentation du nombre d'incendies, etc., principalement dans les forêts subtropicales et tempérées de l'hémisphère Sud et dans les zones arides ou semi-arides.

www.foret.info.net

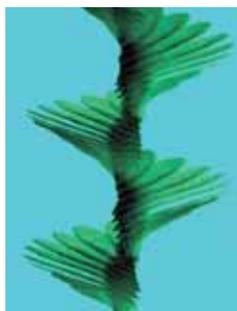
L'aérodynamique de la samare

L'érable, comme d'autres arbres qui produisent des fruits à hélice, profite du vent pour disséminer très loin ses graines. L'aérodynamique de cette graine-hélicoptère équipée d'une aile est comparable à celle d'un oiseau-mouche ou d'un insecte se maintenant en vol, expliquent David Lentink (université de Wageningen, Hollande) et ses collègues du Caltech (Californie, USA). Fascinés par la lente descente de la samare de l'érable (le nom de son fruit) tournoyant autour de la graine, ces chercheurs ont modélisé ce petit hélicoptère végétal à l'aide d'un robot plongé dans un liquide visqueux. Ils ont constaté qu'un tourbillon semblable au vortex d'une tornade se formait sur l'aile de la samare. Bien connu en aérodynamique, ce vortex allège la pression sur l'aile et permet ainsi à la graine de résister à l'attraction terrestre, de descendre lentement et d'avoir la chance d'être emportée plus loin par le vent.

Revue « Science » du 12 juin 2009.

L'Union européenne veut réduire les importations illégales de bois

Flegt est l'acronyme anglais pour Application des réglementations forestières, gouvernance et échanges commerciaux. Environ un quart des importations de bois dans l'Union européenne serait illégal. En l'absence d'un cadre réglementaire de l'OMC (Organisation mondiale du commerce), l'Union européenne veut encourager, via le Flegt, les pays en voie de développement à contrôler l'exploitation de leurs forêts par l'amélioration de leur souveraineté nationale. Le gouvernement de la république du Congo et l'Union européenne ont signé à Brazzaville en mai 2009 un accord de partenariat volontaire, le premier en Afrique centrale. Les bois et produits dérivés exportés du Congo vers l'Union européenne seront en conformité avec l'ensemble des lois et réglementations forestières congolaises. Après le Ghana, signataire en septembre 2008, cinq autres pays sont en négociation (Cameroun, Libéria, Vietnam, Indonésie et Malaisie). Le Gabon et la République centrafricaine sont également en discussions préalables.



*Au cours de sa chute, la graine d'érable tournoie autour de son centre de gravité, et cette autorotation freine sa vitesse.
(Photo D. Lentink)*

Fermeture définitive de l'usine de pâte M. Real

L'unité de fabrication de pâte à papier M. Real d'Alizay (Eure) ne s'approvisionnera plus en bois feuillus, mais uniquement en papiers recyclés et pâte à base d'eucalyptus importée d'Uruguay. Cette usine absorbait 900 000 t de bois feuillus par an en provenance du quart nord-ouest de la France. Les contrats pourtant renouvelés pour le 1^{er} semestre 2009 furent dénoncés dès février 2009. Les conséquences sont importantes et brutales pour les entreprises d'exploitations forestières, et de transports de produits forestiers de ces régions et de fait pour les sylviculteurs. Un compromis a dû être trouvé pour écouler 100 000 t de bois sur le stock de 350 000 t de bois « contractuels » accumulé. Le stock restant vient perturber durablement la filière bois énergie récente et les circuits bois de chauffage (bûches).

Une grande muraille verte

Le projet de reboiser une bande de 15 km de large, s'étendant de Dakar à Djibouti sur près de 7 000 km de long, est une initiative des pays africains pilotée par le Sénégal pour lutter contre la désertification et les sécheresses récurrentes dans le Sahel, manifestation du changement climatique au sud du Sahara. L'Institut de recherche pour le développement (IRD) et leurs partenaires apportent leur expertise de reboisement des zones sèches. Le défi scientifique est considérable : sélectionner les espèces à planter et les méthodes de reboisement adaptées au milieu sahélien, définir les modalités d'intégration dans le milieu déjà occupé, tout en permettant une valorisation des ressources par les économies locales concernées.

« Sciences au Sud » n° 48

Le Groupement de développement forestier de Loir-et-Cher

Marie-Thérèse Fleury*, Jean-Pierre Grange**, Hubert Désiré*** (1)

La longévité et l'efficacité d'un groupement de développement dépendent de l'engagement de ses adhérents, de son animateur et de ses moyens financiers

Une fusion de trois organismes

Sur le département du Loir-et-Cher, il existait initialement trois organismes de développement forestier : deux Cetef et le Centre départemental des jeunes forestiers (C.D.J.F. 41).

Après une vingtaine d'années d'activités soutenues, le Cetef du Perche présidé par monsieur de Jouffroy d'Abbans, et le Cetef de Sologne présidé par monsieur de Saint Pol, cherchaient un nouveau souffle. Quant au C.D.J.F. 41, présidé par Charles de Boisfleury, ses adhérents réduisaient progressivement leurs participations aux réunions, étant de plus en plus pris par leurs activités professionnelles et familiales.

Le C.D.J.F. 41, crée au début des années 1980 par de « jeunes futurs » forestiers, s'était donné pour objectif d'apporter une connaissance forestière de base aux descendants des propriétaires forestiers. Les adhérents bénéficiaient alors d'une dizaine de jours de formation par an comprenant une demi-journée de théorie en

Réunion technique sur le bois de chauffage - Parc de Ménars.



salle, suivie d'une application immédiate sur le terrain. On peut considérer avec un peu de recul que le C.D.F.J. 41 a été l'un des précurseurs des premiers FOGEFOR.

Dans un souci de dynamisme et d'unification du développement forestier dans le Loir-et-Cher, la fusion de ces trois groupes en 1988, a donné lieu à la création du G.D.F. du Loir-et-Cher.

Une organisation adaptée

Le Loir-et-Cher est le département le plus boisé de la région Centre (32 % de son territoire). Depuis les années 1970, la chambre d'agriculture soutient le développement forestier et apporte un appui à travers son conseiller forestier auprès des structures techniques forestières.

Actuellement, le G.D.F. 41 bénéficie de 65 jours du temps du conseiller forestier de la chambre d'agriculture, dans le cadre d'une convention. En ressources financières, outre les cotisations de ses adhérents, le G.D.F. 41 perçoit des aides de la chambre d'agriculture et du C.R.P.F. pour la mise en œuvre de ses activités.

Depuis sa création, le G.D.F. 41 intègre au sein de ses activités, les fortes variabilités des deux grandes régions forestières qui composent le département : au nord, le Perche avec des sols à texture majoritairement limoneuse et des préoccupations sylvicoles concernant essentiellement la gestion du chêne ; au sud : la Sologne

avec des sols sableux, et une gestion forestière mixant taillis avec réserve de chêne, futaies résineuses de pins et taillis simple de bois blancs. Soucieux de mieux prendre en compte cette diversité, et d'être plus proche des préoccupations de chacun de ses adhérents, le Conseil d'administration a récemment souhaité la création de deux pôles techniques « pilotés » par les deux vice-présidents. Cette nouvelle organisation vise aussi à une meilleure appréhension et prise en compte de l'ensemble des problèmes forestiers locaux au sein des projets de territoires (contrats de pays, programmes leader, Natura 2000...).

Un développement au service des adhérents

Favoriser la formation et l'information de ses adhérents sur les aspects techniques, économiques, administratifs et humains liés à la gestion de la forêt, tels sont les objectifs que s'est fixé le G.D.F. 41.

En liaison avec le C.R.P.F. d'Ile-de-France et du Centre, la coopérative forestière Unisylva, les Forestiers privés de Loir-et-Cher, les Experts forestiers, etc..., le G.D.F. 41 s'attache à favoriser au cours de ses 6 réunions annuelles les échanges de savoir-faire entre ses adhérents. Pour répondre à son objectif d'information, les propriétaires forestiers non adhérents et proches du lieu de la réunion (cantons mitoyens) sont invités à

participer à 4 réunions dites « élargies ». Pour chaque réunion, un document technique d'une dizaine de pages, établi par le conseiller forestier et centré sur le thème traité, est distribué aux participants.

De plus, on peut citer parmi les autres services proposés aux adhérents : une visite gratuite de propriété tous les 5 ans, une lettre interne « Le Fil » (2 à 3 numéros par an de 4 pages) et un bulletin d'information technique, annuel et commun avec le syndicat des Forestiers privés de Loir-et-Cher (une vingtaine de pages), des tarifs préférentiels lors d'intervention du conseiller forestier, etc....

Les activités ou actions du G.D.F. 41 sont conduites en associant au maximum l'ensemble des organismes et intervenants forestiers du département.

Avec ces partenariats souvent informels, le G.D.F. 41 est régulièrement engagé dans la mise en œuvre ou le pilotage de projets : par exemple, une étude sur la mobilisation des bois moyens résineux en région Centre, ou encore l'animation de projets de restructuration du foncier forestier sur des massifs du département, la réalisation d'une exposition itinérante présentant la filière forêt - bois...

Grâce à l'étroite collaboration entre le G.D.F. 41 et la chambre d'agriculture, une cellule d'animation entre acteurs de la filière a vu le jour en 2003. La chambre d'agriculture a mis en place un Comité d'orientation Forêt - Bois regroupant l'ensemble des acteurs de la filière forêt - bois départementale. Cette instance permet la conduite de

projets sur des thématiques différentes : promotion du bois, développement du bois énergie, collaboration autour des expérimentations et références forestières...

Expérimenter ensemble...

C'est ainsi qu'en 2004, le G.D.F. 41 a piloté la réalisation d'un référentiel départemental recensant l'ensemble des expérimentations ou références forestières qui ont été mises en place sur le Loir-et-Cher. Une cinquantaine de référence ont ainsi pu être répertoriées auprès des organismes privés et publics.

Depuis, le G.D.F. 41, en collaboration avec le C.R.P.F., suit une douzaine d'expérimentations, spécifiques aux problématiques et types de stations rencontrées au nord de la Loire (Perche, Gâtine Tourangelle, Petite Beauce) ou au sud (Sologne).

Par exemple, au nord du département le thème de la sylviculture d'essences nobles permet l'étude de placettes de merisier, de noyer, ou d'éclaircies précoces du frêne ; en Sologne, le suivi de croissance du pin laricio, la valorisation de semis naturels de bouleau, la régénération naturelle de pin laricio, et la comparaison de provenances de chênes rouges et sessiles sont les thèmes à l'ordre du jour.

Depuis 20 ans, le G.D.F. 41 a, malgré quelques turbulences, su remplir sa mission et garder une unité départementale grâce au soutien sans faille des organismes professionnels, à la compétence de ses animateurs et à la confiance de ses adhérents. Mais,

malgré ces aides indispensables, la diminution des soutiens financiers ne permet plus d'engager des actions nouvelles d'envergure. Seule, l'augmentation du nombre d'adhérents pourrait y contribuer car la vie du G.D.F. 41 dépend du nombre de membres, de la compétence de ceux-ci et de leur disponibilité. ■

(1)* Marie-Thérèse Fleury, vice-présidente,

** Jean-Pierre Grange, secrétaire,

*** Hubert Désiré, animateur du G.D.F. 41, conseiller chargé de projets Forêt - paysage et bois énergie à la chambre d'agriculture.

Carte d'identité du G.D.F. de Loir-et-Cher



Siège : chambre d'agriculture, Blois.

Création : 1988 par la fusion des deux CETEF et du CDJF 41.

Président : Bernard de Sachy secondé par deux vice-présidents, Marie-Thérèse Fleury pour le nord du département et Daniel Lombardi pour le sud.

Conseil d'administration : 12 membres

Animation : Hubert Désiré appuyé par Leslie Constantin, respectivement conseiller forestier et conseillère en aménagement à la chambre d'agriculture

Adhérents : 100 répartis sur l'ensemble du Loir-et-Cher.

Objectifs : formation et information des propriétaires - sylviculteurs pour développer leurs connaissances et leur savoir-faire forestier, au travers notamment de réunions techniques, dont certaines sont élargies à des propriétaires forestiers non adhérents.

La forêt en Loir-et-Cher

Taux de boisement : 32 %, soit 205 700 ha dont 90 % de forêts privées.

Propriétaires : près de 4 500 de plus de 4 ha représentent 90 % de la surface privée.

Peuplements : composés à plus de 50 % de chênes (pédonculé et sessile), les pins (sylvestre, laricio et maritime) couvrent 25 % de la surface forestière et le reste étant occupé par le bouleau (7 %) et autres feuillus - châtaignier, tremble, robinier, charme... - (18 %).

Le programme « Biodiversité et gestion forestière »

Ingrid Bonhême*, Christian Gauberville** (1)

Quelles sont les implications entre la gestion forestière et la biodiversité ? Une collaboration fructueuse entre chercheurs et gestionnaires a permis de nombreux approfondissements.

En 1996, les ministères en charge de l'écologie et de l'agriculture et le GIP Écofor (Écosystèmes Forestiers) mettent en place un programme de recherche sur les relations entre la biodiversité (maintien, restauration) et la gestion des espaces forestiers. En effet, c'est à cette époque que ces questions deviennent incontournables et que les gestionnaires font formellement part de leurs questions aux organismes de recherche. L'objectif principal du programme « Biodiversité et gestion forestière », BGF, est d'acquiescer des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers et sur les effets des actions sylvicoles sur les différentes composantes de la biodiversité des écosystèmes. Cela doit permettre, à terme, d'élaborer des outils d'aide à la gestion.

Comme c'est l'usage pour les programmes du ministère en charge de l'écologie, deux instances de gestion et de suivi sont mises en place :

- un comité d'orientation (CO) qui définit les objectifs, établit les priorités, suscite et met en place des actions d'animation, d'évaluation et de valorisation ; l'implication de nombreuses institutions (voir encadré) doit garantir la pertinence des recherches engagées face aux besoins exprimés par les gestionnaires.
- un conseil scientifique (CS) qui formalise les orientations en termes

scientifiques pour aboutir aux appels à propositions de recherches. Il expertise les réponses et effectue le suivi et l'évaluation des projets.

Un secrétariat technique permanent (STP) met en œuvre les décisions du comité d'orientation. Il est composé d'un représentant du ministère de l'écologie, du ministère de l'agriculture, du président du conseil scientifique et d'un représentant d'Écofor, organisme chargé de mettre en œuvre l'animation scientifique du programme.

Depuis sa création, ce programme a généré trois appels à propositions de recherches (APR), en 1997, 2000 et 2005 :

- le premier a surtout exploré les effets de la gestion actuelle ou passée sur la biodiversité ;
 - l'APR de 2000 a essentiellement porté sur les relations entre biodiversité et processus écologiques (flux d'espèces, de masse, d'énergie et de nutriments, réaction aux perturbations) ;
 - celui de 2005 a étendu ces objectifs à l'échelle du paysage et aux processus économiques et sociaux à l'œuvre dans la gestion de la biodiversité.
- 26 propositions ont, à ce jour, fait l'objet d'un financement au titre de ce programme (tableau p. 9). Ces différents travaux nous apportent

des éléments de réponse aux questions fondamentales suivantes : comment la biodiversité résulte des processus écologiques et comment la biodiversité induit les processus écologiques.

Une particularité de ce programme réside dans le lien privilégié existant entre les chercheurs et les gestionnaires ; cette coopération formellement instaurée dans l'APR 1997 reste maintenant en filigrane dans tous les projets et les représentants des gestionnaires sont membres des deux instances du programme.

Cela s'est en particulier traduit par une forte participation des gestionnaires dans les recherches des terrains d'expérimentation, dans leur implication au cœur de certains projets et dans la volonté des responsables du programme « biodiversité et gestion forestière » d'en faire la promotion dans le déroulement de certaines animations du programme.

La restitution des travaux se fait lors de manifestations ouvertes aux gestionnaires, chercheurs et décideurs organisés au terme des périodes des différents APR. Sont également organisées des rencontres en cours de projet, comme cela a eu lieu les 4 et 5 octobre 2007 à Ferrière-en-Brie. Celle-ci a eu lieu en partie sur le terrain et fut l'occasion d'échanges entre chercheurs et gestionnaires, les premiers présentant aux seconds leurs tra-

Travaux de recherche	Responsable du projet	Organismes
Maturation sylvigénétique ⁽²⁾ des pinèdes pionnières du Mont Ventoux (1997)	Philippe Dreyffus	Inra Avignon
Biodiversité forestière et changements globaux : méthodes et applications aux peuplements d'oiseaux forestiers (1997)	Jacques Blondel	CNRS Montpellier
Caractérisation d'indicateurs de réponse à différents modes de traitements forestiers (1997)	Jacques Bardat	Muséum national d'histoire naturelle
Incidence des pratiques agricoles passées sur la biodiversité spécifique en milieu forestier dans l'est de la France (1997)	Etienne Dambrine et Jean-Luc Dupouey	Inra Champenoux
Rôle de l'éclaircie pour la biodiversité dans les peuplements artificiels de résineux (1997)	Alain Bailly	FCBA Limoges
Impact des modes de gestion forestière sur la biodiversité au sein du bassin de Gap-Chaudin (Hautes-Alpes) (1997)	Jean-Claude Rameau	AgroParisTech-Engref Nancy
Diversité végétale et gestion forestière en espace protégé : variabilité spatio-temporelle et application à l'étagé montagnard (1997)	Laurent Bergès	Cemagref Nogent-sur-Vernisson
Évaluation de la biodiversité forestière en Brie (1997)	Frédéric Gosselin.	Cemagref Nogent-sur-Vernisson
Les forêts du plateau de Sault (Aude) : impact de la gestion forestière sur la diversité spécifique et génétique des carabes (Coleoptera, carabidae) (1997)	Jean-Yves Rasplus	Inra Montpellier
Rôle fonctionnel de la biodiversité dans la résistance d'un écosystème forestier aux insectes ravageurs et champignons pathogènes (1997)	Hervé Jactel	Inra Pierroton
Influence des peupleraies sauvages et cultivées et de la présence de Mélèze sur la structuration génétique des populations de <i>Melampsora larici-populina</i> , agent de la rouille foliaire. (2000)	Pascal Frey	Inra Nancy
Diversité fonctionnelle des communautés d'ectomycorhizes et résilience des hêtraies de plaine face aux contraintes environnementales (2000)	Jean Garbaye	Inra Champenoux
Réponse de la biodiversité aux chablis en Brie : interaction avec le type d'exploitation et la taille des trouées (2000)	Frédéric Gosselin	Cemagref Nogent-sur-Vernisson
Gestion forestière : implication dans le fonctionnement et la biodiversité des systèmes lotiques ⁽³⁾ associés (2000)	Eric Chauvet	CNRS Toulouse
Importance spatiale et mécanismes de maintien des variations de biodiversité résultant des pratiques agricoles passées (2000)	Jean-Luc Dupouey	Inra Champenoux
Flux et introgressions génétiques entre espèces forestières : le cas du Chêne-liège avec les autres espèces de chênes méditerranéens dans les peuplements français. Conséquences pour les stratégies de gestion des peuplements forestiers plurispécifiques (2000)	Roselyne Lumaret	CNRS Montpellier
Réponse de la biodiversité aux chablis en Brie : interaction avec le type d'intervention et la taille des trouées (2000)	Frédéric Gosselin	Cemagref Nogent-sur-Vernisson
Effet des substitutions d'essences sur le fonctionnement organo-minéral de l'écosystème forestier, sur les communautés microbiennes et sur la diversité des communautés fongiques mycorhiziennes et saprophytes (cas du dispositif expérimental du Breuil, Morvan) (2000)	Jacques Ranger	Inra Champenoux
Islandes - Les îlots feuillus en forêts des Landes de Gascogne : évaluation de la méthode des îlots feuillus en mélange pour restaurer la biodiversité de l'écosystème simplifié de Pin maritime des Landes de Gascogne et améliorer sa résistance aux insectes ravageurs et aux champignons pathogènes (2000)	Hervé Jactel	Inra Pierroton
Résine – Représentation sociales et intérêts écologiques de la nécromasse ⁽⁴⁾ (2005)	Christophe Bouget	Cemagref Nogent-sur-Vernisson
Quel mode de régulation et de gestion durable des ressources forestières pour la biodiversité ? Une analyse à partir de la coordination locale (2005)	Valérie Angeon et Armelle Caron	AgroParisTech-Engref Clermont-Ferrand
Recherche des voies, conditions et moyens d'une prise en charge renforcées des enjeux de la biodiversité par les propriétaires et gestionnaires forestiers (2005)	Alain Bailly et Hervé Brédif	FCBA Limoges
Biodiversité floristique, entomologique et ornithologique des vallées alluviales de Champagne-Ardenne : rôle de l'antécédent historique et de l'intensité des entretiens des peupleraies, en interaction avec la station et en référence aux habitats forestiers et prairiaux ⁽⁵⁾ subnaturels (2005)	Alain Berthelot	FCBA Dijon
Influence de l'intensité d'exploitation et du degré d'ouverture de la canopée en forêt tropicale humide sur le maintien et la dynamique de la biodiversité (2005)	Christopher Baraloto	CNRS Guyane
Influence de la composition et de la structure des masses forestières sur la biodiversité (2005).	Jean-Luc Dupouey	Inra Nancy
Quelle diversité des essences pour quelle production et quel fonctionnement du sol ? Une analyse des conséquences de la dissimilarité ⁽⁶⁾ fonctionnelle des espèces sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers (2005).	Jacques Roy	CNRS Montpellier

vaux et les contraintes qui s'y rapportent, en particulier au niveau de l'installation et du suivi des dispositifs en forêt.

Dans ce même contexte, s'est déroulé en mai 2007 une « journée du transfert » organisée par l'IDF et Écofor ; conçue comme une rencontre entre chercheurs et gestionnaires, cette journée de travail a permis de dégager des éléments de réponse aux deux questions suivantes : comment valoriser et rendre utiles les travaux de la recherche et comment rendre audibles les questions de terrain ?

Un débat traitait des actions à promouvoir pour favoriser le transfert.

Les travaux donnent également lieu à des ouvrages collectifs présentant les résultats des études, à des synthèses bibliographiques et à de nombreuses publications scientifiques ou de vulgarisation. ■

Composition du Comité d'orientation

Agroparistech-Engref,
Centre national professionnel de la propriété forestière,
Espaces naturels de France,
Fédération des parcs naturels régionaux,
Fédération nationale des communes forestières de France,
Fondation pour la recherche sur la biodiversité,
GIP Écosystèmes forestiers,
Inventaire forestier national,
Ministère chargé de la Recherche,
Ministère chargé de l'Écologie,
Ministère chargé de l'Agriculture,
Office national des forêts,
Parcs nationaux de France,
Réserves naturelles de France.

Bibliographie

■ **Gosselin M., Laroussinie O., 2004.** *Biodiversité et gestion forestière, Connaître pour préserver.* Synthèse bibliographique. Cemagref, GIPÉcofor, 320 p.

■ **Millier C., Barre V., Landeau S.** *Programme de recherche Biodiversité et gestion forestière, Résultats scientifiques et actions de transfert.* MED, 162 p.

(1)* *GipÉcofor, 42 rue Scheffer, 75116 Paris.*

** *Ingénieur à l'IDF, 13 av. des droits de l'homme, 45921 Orléans cedex 9.*

(2) *Sylvigénétique : qualifie les processus dynamiques qui font évoluer et perdurer naturellement les écosystèmes forestiers.*

(3) *Lotique : désigne les eaux douces et courantes en tant qu'écosystème.*

(4) *Nécromasse : masse totale de la matière organique morte, essentiellement le bois mort en forêt.*

(5) *Prairial : relatif à la prairie.*

(6) *Disimilarité : contraire de similarité.*



Flore forestière française Tome 3, Région méditerranéenne

J.-C. Rameau, D. Mansion, G. Dumé, C. Gauberville,

Le tome 3 de la Flore forestière française décrit 845 espèces des forêts et des milieux associés de la région méditerranéenne.

- une présentation des caractères écologiques des zones boisées,
- un vocabulaire,
- des clés simples d'accès pour les mousses, les fougères, les arbres, et les autres plantes forestières,
- des espèces décrites et dessinées dans les moindres détails avec leur autécologie précisée,
- 2 index des noms français et latins,
- des annexes sur les groupes d'espèces indicatrices, les groupements végétaux et les plantes protégées.

Pour un emploi commode sur le terrain, la Flore forestière française est imprimée sur un papier bible très résistant et reliée sous une couverture plastique souple imperméable.

2 432 pages.

Réf. : ID068

69 € + Frais d'envoi
(1 ou 2 ex. : 7 €)

Disponible à la librairie de l'IDF, 23 avenue Bosquet, Paris 75007, tél. : 01 40 62 22 81, idf-librairie@cnpff.fr, www.foretriveefrancaise.com

Chèque à l'ordre de « Agent comptable SUF IDF »

dossier

*Le douglas :
Planter... et après*Dossier coordonné
par Ph. Riou-Nivert

12 Le douglas : planter...
et après ? Ph. Riou-Nivert

13 Les densités de plantation
des résineux
Facteurs de choix et impli-
cations Ph. Riou-Nivert

18 Bilan national sur le
dépressage du douglas
J. Paulus et Ph. Riou-Nivert

23 Les sylviculteurs
du Béaujolais et
le douglas
G. Carrabin et A. Meneau

27 Perspectives de valorisa-
tion et de transforma-
tion du douglas en Bourgogne
R. Collet, L. Bléron

32 Des résineux dépérissent
en Midi-Pyrénées !
J.-P. Ortisset, Ph. Thévenet, Ch. Gacherieu,
V. Chéret, J.-Ph. Denux

37 Renouvellement naturel
des peuplements
de douglas
H. Joannin, S. Farinotti

38 La vie agitée de l'écureuil
ROUX
Ph. Riou-Nivert



Le douglas : planter... et après ?

Ph. Riou-Nivert, ingénieur IDF

Ce dossier consacré aux résineux, et en particulier au douglas, est placé sous l'égide du groupe de travail « Résineux » de l'IDF. Ce dernier, présidé par Christian Bouthillon avait identifié lors de sa première réunion, le 20 novembre 2006, un certain nombre de sujets qui ont suscité le travail d'ateliers restreints.

Nous présentons ici quelques résultats de ces travaux :

Un bilan sur **les densités de plantation des résineux** avait été demandé car les problèmes de reboisement reviennent sur le devant de la scène suite aux dégâts de tempête et aux dépérissements induits par les sécheresses. Sujet délicat s'il en est. Nous avons tenté de le traiter de façon dépassionnée et non directive.

Le dépressage de plantations a pris un régime de croisière depuis une

quinzaine d'années et le douglas est la première essence concernée. Il était temps de faire le point sur cette technique, ses avantages et ses limites, ses modalités et ses coûts. Jérémy Paulus vous l'explique au travers d'une vaste enquête qui a balayé toutes les régions productrices de douglas.

Après avoir planté et éventuellement dépressé, il faut éclaircir. **Le régime d'éclaircie, la durée de révolution** et son influence sur la qualité des produits sont des questions délicates qui ont été débattues par un groupe de sylviculteurs du Beaujolais en 2008. Georges Carrabin et Annick Meneau nous transcrivent les résultats de ces réflexions. De son côté, la coopérative Unisylva a réfléchi sur la régénération naturelle.

Tout ceci nous amène au problème central pour le sylviculteur : **que va-t-**

on faire du douglas dans les années à venir? C'est ce sujet qui a été décorqué par les enseignants-chercheurs de l'École nationale des arts et métiers de Cluny. À partir d'observations de terrain faites par l'IFN, ils ont estimé l'état de la ressource en qualité et en quantité en Bourgogne dans 30 ans. Les conclusions de ces études, exposées au groupe en mars 2008, sont particulièrement instructives et présentent une nécessaire adaptation des débouchés.

Mais encore faudrait-il qu'il y ait du douglas à commercialiser. L'incertitude sur l'évolution du climat inquiète les sylviculteurs pour cette essence et plus encore pour les sapins et épicéas. **De gros dégâts ont en effet été enregistrés après la canicule de 2003** dans certaines régions. Le sud du Massif central a été particulièrement touché et le CRPF Midi-Pyrénées s'est associé à l'École d'ingénieurs de Purpan pour mettre au point une méthode originale de recensement des dégâts par télédétection.

Il n'y a pas d'itinéraire technique universel. Chaque sylviculteur a ses contraintes propres et les inconnues – économiques ou climatiques – liées au long terme de la production forestière sont multiples. Ce dossier ne peut donc que se borner à explorer quelques pistes en pointant leurs avantages et leurs inconvénients afin de limiter l'incertitude. À chacun ensuite de se déterminer en connaissance de cause : un sylviculteur averti en vaut deux ! Mais bien sûr, la technique ne doit pas occulter l'attrait affectif que la forêt représente pour le sylviculteur. Un clin d'œil à **l'écureuil** est là pour le rappeler... ■



© J.-P. Gayot CRPF Limousin

Les densités de plantation des résineux

Facteurs de choix et implications

Ph. Riou Nivert, IDF

Le groupe de travail « Résineux » de l'IDF souhaite apporter des réponses concrètes adaptées aux différentes situations, concernant les densités de plantation des résineux.

Le problème des densités de plantation, avec celui de la futaie irrégulière ou celui des mélanges d'essences, est un de ceux qui a suscité le plus de débats techniques au sein du microcosme des forestiers de terrain.

L'éternelle question des densités

Les partisans des faibles et des fortes densités s'affrontent depuis des décennies, tous avec des arguments convaincants. C'est bien évidemment que chacun détient une part de vérité. Mais la vérité de l'un n'est pas forcément celle de l'autre et chaque cas est particulier.

Il n'en reste pas moins que les densités de plantation des résineux n'ont cessé de diminuer depuis une cinquantaine d'années, sous l'effet combiné de l'augmentation des coûts de la main d'œuvre, de la mécanisation des entretiens, de la mévente des petits bois d'éclaircie (bois rouges en particulier) et, dans une moindre mesure de l'amélioration

génétique.

Le sujet était, ces dernières années, passé au second plan compte tenu de la chute des surfaces reboisées. Au début des années 2000, les conséquences des aléas climatiques, tempêtes (1999 et tout récemment 2009) et canicule (2003) avec leur cortège de dépérissements induits, et plus généralement le spectre du réchauffement climatique ont relancé l'intérêt de faire un bilan objectif (pour autant que ce soit possible) sur le sujet. Le reboisement, avec ou sans substitution d'essence, revient à l'honneur. Par ailleurs, les scieurs industriels font aujourd'hui campagne pour une augmentation des densités (Riou-Nivert, 2008).

Le groupe de travail « Résineux » de l'IDF, lors de sa réunion du 6 mars 2008, a donc traité la question. Il n'a pas souhaité fournir de solutions clés en main mais examiner d'une part les différents facteurs susceptibles de faire pencher la décision dans un sens ou un autre, et d'autre part les implications à terme des différents choix.

Cette approche permet au gestionnaire de mieux se situer selon ses contraintes personnelles tant il est vrai qu'il n'y a pas de densité idéale universelle.

Les 24 membres présents du groupe (8 sylviculteurs, 10 agents de développement, 3 chercheurs et 3 agents économiques dont un pépiniériste) se sont entendus sur les tableaux suivants qui présentent donc une synthèse « à dire d'experts ».

Densité de plantation et essences

Il est évident qu'une densité en plein inférieure à 400 plants/ha n'est guère envisageable aujourd'hui avec les résineux malgré les progrès de l'amélioration génétique et des techniques de pépinière. Une sélection portant sur au moins 50 % des plants est donc indispensable par dépressements ou éclaircies. Le taux de sélection dépend tout d'abord de nombreux facteurs liés à l'essence elle-même : hétérogénéité de forme, de reprise, qualité du bois, cortège parasitaire,

Densités de plantation conseillées par le groupe selon les essences

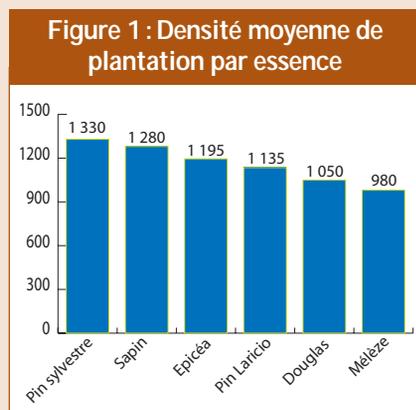
Densité (nb./ha)	400 à 800	800 à 1 000	1 000 à 1 300	1 300 à 1 600	> 1 600	Facteurs pouvant influencer sur le choix
Mélèze hybride	X	XX	X			Coût élevé des plants
Douglas	X	XX	XX	X		Provenances, sylviculture
Mélèze d'Europe	X	XX	XX	X		Provenances, sylviculture
Pin laricio de Corse avec taille	(X)	X	XX	X		Fourches
Pin maritime		X	XX	X		Problèmes sanitaires
Épicéa, sapin			X	XX	X	Qualité du bois
Pin sylvestre			X	XX	XX	Forme des tiges, branchaison, provenances
Autres essences		X	XX	X		À voir au cas par cas

XX : densité conseillée ; X : densité possible

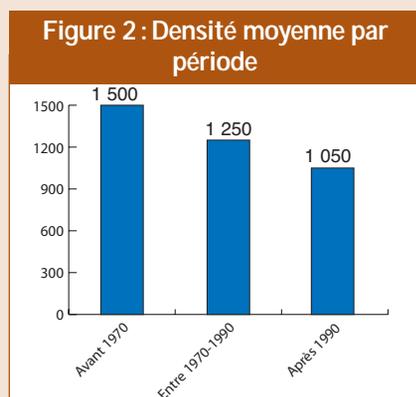
coûts de production... Nous n'avons pas envisagé ici la question de l'introduction à très faible densité de plants en enrichissement dans un bourrage ligneux préexistant.

Une enquête parallèle initiée par le groupe sur le dépressage du douglas (Paulus et Riou-Nivert, 2009) a permis par ailleurs de récolter des informations complémentaires sur les densités observées actuellement sur le terrain pour quelques essences situées dans les régions de douglas (grand Massif central, Normandie, Lorraine-Alsace). De source différente, ces chiffres sont assez cohérents avec les préconisations du groupe (fig. 1).

Cette même enquête a permis, dans le cas du douglas, de mieux apprécier la diminution avec le temps des densités signalées plus haut (fig. 2) :



Densité de plantation moyenne observée par essence dans les régions de douglas par 30 agents de CRPF et opérateurs économiques (coopératives, experts).



Diminution des densités de plantation de douglas depuis cinquante ans.

Densité de plantation et caractéristiques de la parcelle

Densités (nbre de plants/ha)	Faibles (≤ 800)	Fortes (≥ 1300)	Facteurs pouvant influencer sur le choix
Petite surface	X		Commercialisation des éclaircies ? (discutable)
Pente forte	X		Exploitation des éclaircies
Terrain non mécanisable	X		Exploitation des éclaircies
Mauvaise desserte	X		Commercialisation des éclaircies
Bonne fertilité		X	Défauts de forme plus nombreux
Sol peu profond	X		Limiter la concurrence racinaire
Éloignement des débouchés petits bois	X		Suppression de la 1 ^{re} éclaircie petits bois

XX : densité conseillée ; X : densité possible

Aux marges des densités moyennes conseillées, certains facteurs stationnels, topographiques ou économiques liés à la parcelle peuvent faire pencher la décision d'un côté ou de l'autre de la fourchette.

Parmi ceux-ci, les critères économiques (exploitation, commercialisation) sont cependant évolutifs dans le

temps. Le groupe a considéré par exemple que la surface des parcelles n'était plus aujourd'hui un facteur pertinent dans le choix des densités (si cependant elle excède 1 ha) étant donné les possibilités de regroupement de parcelles et d'évolution des débouchés (bois énergie).



© IDF

Densité de plantation, types de plants et mise en terre

Densités (nbre de plants/ha)	400 à 800	800 à 1000	1000 à 1300	1300 à 1600	> 1600
Plants triés	X	XX	XX	X	
Plants standard		X	XX	XX	X
Godets	X	XX	XX	X	
Racines nues		X	XX	XX	X
Plantation soignée (en potet)	XX	XX	XX	X	
Plantation au coup de pioche			X	XX	XX
Coût de plantation	faible	faible	moyen	moyen	fort

XX : densité conseillée ; X : densité possible

À noter que le coût de plantation augmente avec la densité mais pas proportionnellement au nombre de plants. Par ailleurs, si le tri des plants autorise des densités plus faibles, il faut prendre garde aux critères de tri,

plus que la hauteur, c'est un faible rapport hauteur/diamètre au collet qui est important. La mycorhisation des plants en pépinière est par ailleurs un plus pour la reprise et la croissance.

Densité de plantation et travaux divers

Densités (nbre de plants/ha)	400 à 800	800 à 1000	1000 à 1300	1300 à 1600	> 1600	Remarques
Regarnis (si besoin)	Souhaitables	Possibles	Peu utiles	Inutiles	Inutiles	Fonction de la qualité de plantation ; risque d'attaque d'hylobe ; sécheresse...
Accompagnement ligneux	À gérer	À gérer	Faible	Faible	Très faible	Accompagnement (maîtrisé) = protection contre gibier ; biodiversité plus forte.
Entretiens	2 à 4 ?	2 à 4 ?	2 à 3 ?	2 à 3 ?	Manuels	Mécanisation = interligne > 3m.
Présence de gibier	Protection individuelle	Protection partielle	Protection partielle	Non ?	Non	Selon le risque ; protection partielle = 1 plant sur 2 à 4.

Le groupe estime que l'accompagnement ligneux est lié aux conditions stationnelles et climatiques et à la préparation du terrain autant qu'aux espacements de plan-

tation. Le nombre d'entretiens dépend des conditions climatiques et stationnelles. Dans certains cas, une densité faible (600 tiges/ha par exemple) n'engendre pas plus

Entretien mécanique d'une jeune plantation de douglas



© Y. du Boullay

Densité de plantation, coupes et élagages

Densités /nbre de plants/ha	400 à 800	800 à 1000	1000 à 1300	1300 à 1600	> 1600	Remarques
Dépressage (à 600-800/ha vers 6 m de haut)	Non	Rare	Possible	Possible	Possible	En sélectif si densité < 1600 ?
Stade de la 1 ^{re} éclaircie : conseillé	16-18 m	14-16 m	12-14 m	10-12 m	< 10 m ?	Stade conseillé : pour limiter concurrence et instabilité ; Stade observé : pour raisons de commercialisation
observé	16-18 m	16-18 m	18 m	18-20 m	20 m ?	
Type d'exploitation	Sélectif	Sélectif	Cloisonnement 1 ligne/5 à 1/7 ?	Cloisonnement 1 ligne/5 ?	Cloisonnement 1 ligne/3 à 1/5 ?	Cloisonnement si interligne < 4,5 m (5 m si pente)
Rentabilité de la 1 ^{re} éclaircie	Oui	Oui	En général	Parfois	Non assurée	Rentabilité liée aux débouchés locaux
Élagages (selon la hauteur totale)	Indispensable (dès 6 m)	Indispensable (dès 8 m)	Conseillés (vers 10 m)	Possibles	Possibles	Fonction de l'objectif de production et du gainage ligneux possible

d'entretiens que 1300/ha (soit deux). Le groupe pense que le dépressage pourrait être conseillé même pour des densités de l'ordre de 1000 plants/ha pour enlever les arbres mal formés, augmenter l'homogénéité du peuplement et la rentabilité de la première éclaircie.

La première éclaircie devrait être réalisée d'autant plus tôt que la densité est forte, pour des raisons de stabilité. En réalité, on observe malheureusement le contraire car elle est déclenchée par le diamètre moyen et est donc faite plus tardivement en peuplement dense (souvent

au-delà de 18 m de haut). Les volumes unitaires moyens nécessaires pour rentabiliser la première éclaircie sont très variables selon les régions : de 0,1 m³ (en Aquitaine) à 0,4 m³ (en Midi-Pyrénées).

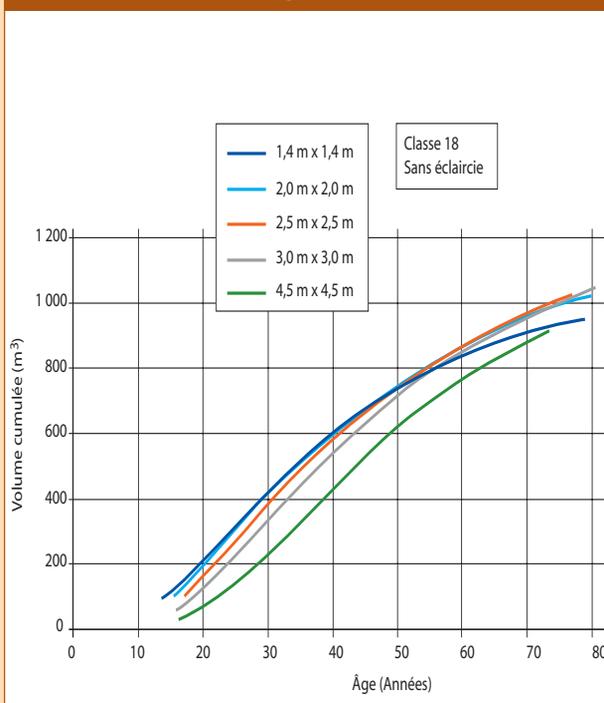
Incidence des faibles densités

	Faible densité (< 800 plants/ha)	Remarques
Révolution	Raccourcie (jusqu'à - 50 %)	Selon l'objectif de production
Production	Réduite (jusqu'à - 30 % à 50 ans)	Perte des produits de 1 ^{re} éclaircie ; mais report d'une partie de la production sur les produits finaux
Volume individuel (produits finaux)	Augmenté (jusqu'à + 50 à 100 %), à un âge donné	Fonction de la sylviculture menée
Diamètre des branches	Augmenté (jusqu'à + 50 %)	Lié au diamètre du tronc ; handicap pour usages nobles et charpente choisie ; correction par gainage ligneux ou élagage
Largeur des cernes	Augmentée (jusqu'à + 100 % et plus)	Peu gênant pour les usages nobles ; handicap en charpente
Forme des tiges	Mitigé	Variable selon les essences ; défilement initial plus fort ; sélection par les éclaircies plus limitée ; taillies de formation possibles
Stabilité	Meilleure	Lié à la forme plus trapue des tiges
Résistance à la sécheresse	Meilleure	Lié à la diminution de la transpiration et de la concurrence pour l'eau (à confirmer : prise en compte du sous-étage...)
Incidence des pertes accidentelles	Forte	Ex : hylobe, gibier

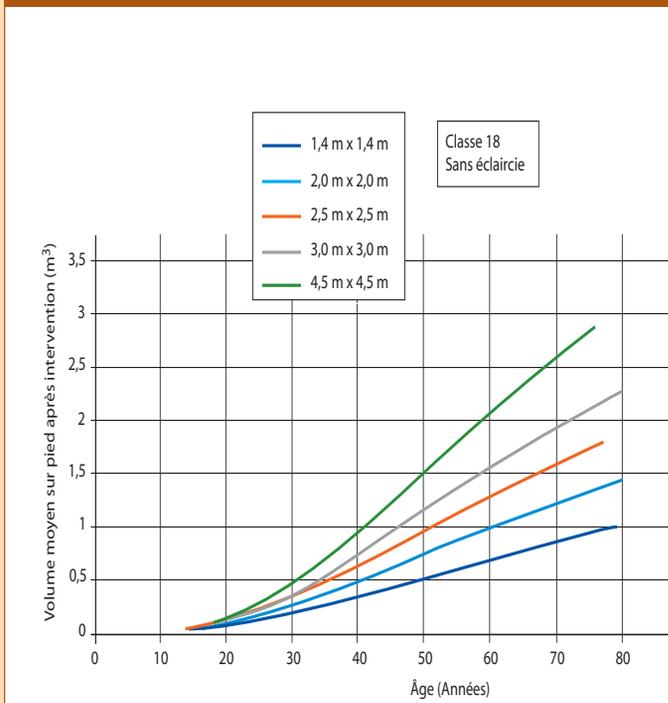
Bon nombre d'avantages des faibles densités peuvent être retrouvés à partir des fortes densités, avec les possibilités de sélection en plus, si les conditions économiques permettent de faire des dépressages ou des éclaircies fortes précoces.

Densité de plantation, croissance et production Exemple tiré des tables de production britanniques pour le pin laricio

Évolution de la production cumulée en volume en fonction de l'âge et de l'espacement



Évolution du volume de l'arbre moyen après éclaircie en fonction de l'âge et de l'espacement de plantation



Effet de l'espacement de plantation sur la production totale à l'ha (à gauche) et sur le volume de l'arbre moyen (à droite), sans éclaircie et pour la classe de productivité 18 m³/ha/an.

On constate par exemple à 70 ans que, si l'on passe d'une densité de 2 500 tiges/ha (2 m x 2 m) à 500 tiges/ha (4,5 m x 4,5 m) :

- la production totale à l'ha ne baisse que de 9 % : 880 m³ contre 970 m³ (mais l'écart était de 43 % à 30 ans!) ;

- le volume de l'arbre moyen est plus que doublé : 2,65 m³ contre 1,25 m³.

Espaceur sur la ligne en fonction de la largeur de l'interligne pour atteindre une densité donnée (de Champs, 1997)

N plants/ha interligne	600	700	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600
3 m	(5,56)	(4,76)	4,17	3,70	3,33	3,03	2,78	2,56	2,38	2,22	2,08
4,50 m	3,70	3,17	2,78	2,47	2,22	2,02	(1,85)	(1,71)	(1,59)	(1,48)	(1,39)

Vert foncé : conseillé ; entre parenthèses : à la limite ; le reste : possible.

Densités et espacements de plantation

Pour une même densité, les espacements **sur la ligne** et **entre les lignes** peuvent varier. On respectera néanmoins en général les consignes suivantes :

- pour les **entretiens mécanisés** de plantation : espace de l'interligne > 3 m (voire 3,5 m) ;
 - pour **l'exploitation mécanisée** : espace de l'interligne > 4,5 m (5 m si pente) si pas de cloisonnement prévu ;
 - rejeter les distributions trop rectangulaires (esp. interligne > 2 fois esp. ligne).
- À titre d'exemple, J. de Champs (1997) conseille **6 solutions** (*en vert foncé dans le tableau ci-dessus*) pour le douglas, basées sur les principes suivants :
- interligne de 3 m si il est prévu un cloisonnement (1 ligne sur 3 ou 1 ligne sur 5) ;
 - interligne de 4,5 m, sans cloisonnement ;
 - des densités entre 800 et 1 000/ha.

Cependant, un espacement plus rectangulaire (5 m x 2,5 m) excluant le cloisonnement est souvent conseillé (par exemple en Midi-Pyrénées), régularisé par le dépressage ou à la première éclaircie.

Conclusion

On l'a vu, de nombreuses options sont possibles techniquement comme économiquement. Les interrogations qui pouvaient subsister il y a trente ans sur les dangers des grands espacements ou des dépressages précoces

de plantations par exemple ont été levées par l'expérience de terrain des praticiens. Il n'en reste pas moins que la densité de plantation ne doit pas se raisonner isolément mais s'inscrire dans un itinéraire sylvicole cohérent.

Plutôt que de décliner plusieurs itinéraires conseillés, voici deux erreurs à ne pas faire :

- planter à faible densité sans protection (gainage par exemple) une essence appétante dans un secteur où le gibier est présent et ne pas prévoir d'élagage (au moins sur 3 m avant 10 m de haut) au risque de ne produire que du mauvais bois de charpente ;
- planter à forte densité et ne pas prévoir d'éclaircie vers 12 m de hauteur (quel que soit le cours des petits bois) au risque d'augmenter la sensibilité aux adversités, l'épuisement du sol et de réduire la biodiversité.

Pour l'avenir, est posée la question du principe même de la plantation en plein. Dans un contexte de changement climatique rapide qui hypothèque le devenir de nombreuses essences et de certaines structures forestières (par exemple, la futaie dense d'essences fortement consommatrices d'eau), on peut se demander s'il ne faudra pas revoir nos modes de renouvellement des peuplements.

Faut-il conserver l'idée très carrée de plantations régulières monospécifiques sur grande surface après coupe rase ? Ne serait-il pas judicieux d'introduire en enrichissement dans un

recrû après coupe, des plants d'essences résistantes au stress hydrique en faible quantité, gainés par du bourrage (300 plants/ha par exemple, en lignes espacées pour pouvoir retrouver les plants) ? Dans ce cadre, où on vise un peuplement mixte pour limiter la prise de risque, la notion de densité de plantation perd alors de son intérêt.

Le champ des possibles est encore large et il faudra beaucoup d'inventivité pour gérer l'incertain... en tenant bien sûr compte des leçons du passé. ■

Bibliographie

- **De Champs J., 1997.** *Le douglas.* Afocel (FCBA) ed., 416 p.
- **Paulus J., Riou-Nivert P., 2009.** *Bilan national sur le dépressage du douglas.* FE 188 ; p. 18-23.
- **Riou-Nivert Ph., 2008.** *Peut-on concilier sylviculture et marché des bois ?* Première partie : FE 182, p. 9-12 ; deuxième partie : FE 183, p. 9-12.
- **Edwards P.N. et Christie J.-M., 1980.** *Yield Models for Forest Management ;* HMSO, Forestry commission, fiches Corsican pine.

Résumé

Les densités de plantation des résineux sont fonction des choix de sylviculture, des coûts de plantation, de la provenance des plants, des entretiens et éclaircies ultérieures. Cet article synthétise les éléments concrets par essences en rassemblant les connaissances actuelles et l'expérience passée.

Mots-clés : densité de plantation, résineux.

Bilan national sur le dépressage du douglas

J. Paulus et Ph. Riou-Nivert (IDF)

Le dépressage de plantations de résineux a été développé depuis les années 80 en réponse au manque de rentabilité des débouchés pour les petits bois d'éclaircie.

Le groupe de travail « Résineux » de l'I.D.F. a émis le souhait de faire un bilan au niveau national sur le dépressage du douglas. L'objectif était de préciser les caractéristiques techniques et économiques de cette opération sylvicole et d'apprécier son avenir.

Le Douglas en chiffres c'est : 427 000 ha, situés à 82 % en forêt privée (surface des forêts de production selon l'essence principale), soit 93 millions de m³ de bois sur pied (source : Agreste, mars 2008, chiffres de 2007); une récolte annuelle de plus 1,6 million de m³ de bois d'œuvre (grume), et une production de 855 000 m³ de sciages (source : Agreste, octobre 2008, chiffres de 2006). Le dépressage est défini comme une intervention sylvicole visant à réduire

de façon significative la densité des tiges des essences principales dans de jeunes peuplements forestiers en général de moins de 10 m de haut. Elle précède la première éclaircie et porte sur des produits généralement non marchands.

Objectifs et méthodologie

Une enquête a été menée à partir de 2005 dans tous les départements comportant plus de 5 000 ha de douglas (voir carte).

Elle a été focalisée sur les trois objectifs suivants :

- définir la place du dépressage dans l'itinéraire sylvicole ;
- définir les caractéristiques technico-économiques de l'opération ;
- se faire une opinion sur son utilisation dans les années à venir.

Dans le souci de faciliter le travail des personnes interrogées, deux questionnaires ont été réalisés :

- un premier à destination des conseillers, davantage basé sur des notions sylvicoles ;
- un second pour les opérateurs, davantage basé sur des notions technico-économiques ; avec bien sûr un tronc commun concernant les modalités de dépressage, le lien dépressage/1^{re} éclaircie et le lien dépressage/densités de plantation.

89 questionnaires ont été envoyés aux acteurs locaux répartis en deux collèges : conseillers (CRPF, Cetef) et opérateurs (coopératives, experts). 1/3 des questionnaires ont été retournés (soit 30 réponses bien réparties entre les deux collèges) et analysés grâce au logiciel SPAD avec l'appui du service expérimentations de l'IDF de Bordeaux.

Principaux résultats de l'enquête

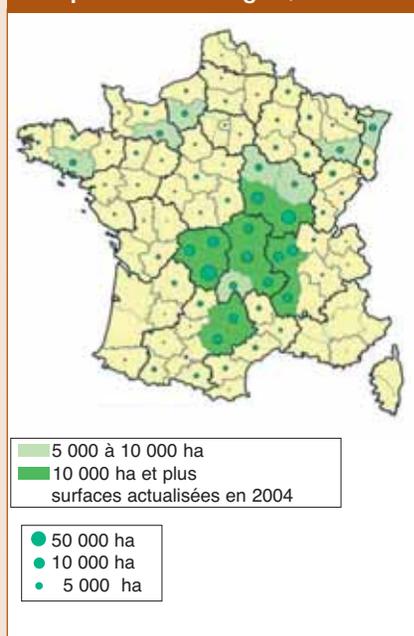
Place actuelle et future du dépressage

Le dépressage des plantations de douglas est une technique qui a fait ses preuves depuis plus de 20 ans dans les principales régions où l'on trouve cette essence.

La faible rémunération chronique du débouché trituration pour les bois rouges incite à passer directement à une valorisation en petits sciages de la première éclaircie, ce que permet le dépressage. Le développement attendu mais encore limité, du débouché planquette ou du bois énergie pourrait également permettre de valoriser les produits du dépressage, aujourd'hui abandonnés.

Il est difficile de connaître les surfaces annuellement dépressées en douglas, toutes les régions n'ayant pas répondu à cette question ; elles seraient com-

Figure 1 : surfaces annoncées par France Douglas, 2004



prises entre 100 et 150 ha/an en Limousin et Rhône-Alpes et entre 250 et 300 ha/an en Midi-Pyrénées. La moitié des personnes ayant répondu pensent qu'il ne se réalise pas dans leur région plus de 10 % des surfaces potentiellement dépressables (peuplements de 5 à 15 ans). Elles pensent que le développement du dépressage, pour souhaitable qu'il soit, est limité par les possibilités matérielles des propriétaires. Les surfaces dépressées devraient donc rester stables si des aides financières régionales conséquentes (souhaitées par plus de 80 % des répondants) ne se développent pas.

Modalités pratiques du dépressage

D'un point de vue pratique, le dépressage enlève **entre 30 et 50 % des tiges du peuplement, de façon majoritairement sélective** (plus rarement avec un cloisonnement 1 ligne sur 4), pour **conserver 600 à 800 tiges/ha après intervention**. La coupe est réalisée soit entre 5 et 10 ans, soit plutôt **entre 10 et 15 ans** (pour une hauteur de 7 à 9 m, ou un peu moins souvent entre 5 et 7 m). L'outil exclusif est la tronçonneuse et un dernier entretien manuel est souvent pratiqué à cette occasion, ce qui peut représenter 1/3 du coût total dépressage + entretien.

Les coûts moyens de l'opération (entretien éventuel compris), selon le stade d'intervention et l'état de la parcelle, sont de 400 à 900 € HT/ha pour un temps de travail de **2,5 à 4,25 homme-jour/ha**. Les produits sont démembrés sommairement et non récupérés. Les aides financières au dépressage ne sont pas utilisées (soit elles n'existent pas, soit elles ne sont pas demandées) dans 1/3 des cas, utilisées parfois dans 1/3 des cas et souvent dans 1/3 des cas.

Le dépressage n'est en général pas précédé d'un ébranchage de pénétration mais est suivi dans près de la moi-

tié des cas d'un **élagage de 200 à 300 tiges** à moins de 2,5-3 m. Cet élagage est réalisé dans la moitié des cas à la scie égoïne et dans l'autre moitié à la tronçonneuse. Il coûte en moyenne 400 € HT/ha pour un temps moyen passé de 2,25 homme-j/ha. Les aides financières à l'élagage concernent moins de la moitié des cas.

Conséquences du dépressage

Le dépressage a un effet net sur la réalisation de la première véritable éclaircie : il supprime l'éclaircie précoce (qui aurait été réalisée entre 10 et 12 m de hauteur) et permet d'amener le diamètre des futurs produits commercialisés, dans la classe 16-22 cm (petits sciages) dans plus de 50 % des cas et dans la classe plus de 22 cm (sciages) dans plus de 25 % des cas (figures 1 et 2). La densité après première éclaircie est majoritairement ramenée en-

tre 300 et 600 tiges/ha s'il y a eu dépressage préalable, et entre 600 et 800 tiges/ha dans le cas contraire.

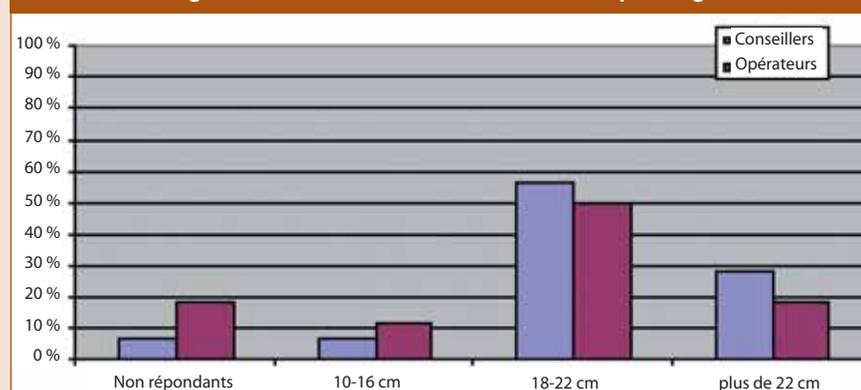
Parmi les avantages cités du dépressage, en plus d'une accélération de la croissance des tiges, on note un gain de temps moyen de 5 à 10 ans sur la durée de révolution, l'amélioration de la pénétrabilité du peuplement, l'homogénéisation des dimensions et la facilité de commercialisation et d'exploitation ultérieures, l'augmentation de la stabilité du peuplement et de la biodiversité. Il ne faut pas oublier non plus les effets négatifs potentiels parfois signalés : dégradation de la branchaison, voire de la rectitude, augmentation possible des dégâts de gibier.

Lorsque les deux catégories d'intervenants ont été interrogées sur les mêmes questions : conseillers (agents de

Figure 2 : Diamètre de l'éclaircie sans dépressage

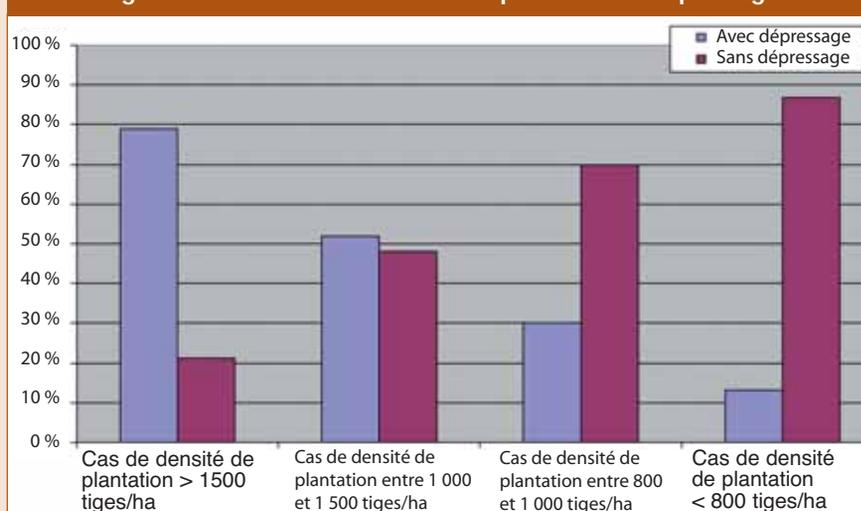


Figure 3 : Diamètre de l'éclaircie avec dépressage



Influence du dépressage sur le diamètre du peuplement à la première éclaircie (en % des répondants).

Figure 4 : Relation entre densité de plantation et dépressage



Influence de la densité de plantation sur la réalisation d'un dépressage (en % des répondants).

CRPF) ou opérateurs (agents de coopératives ou experts) on constate que les préconisations des premiers sont plus énergiques que celles des seconds. Ils proposent par exemple d'intervenir en dépressage plus tôt (entre 5 et 7 m) et plus fort. Sur beaucoup de points cependant, et notamment sur les avantages du dépressage, les deux collègues se rejoignent.

Enfin, on notera la satisfaction générale des propriétaires constatée après l'opération et l'amélioration reconnue du patrimoine apportée par l'intervention, en cas de succession.

Discussion

Dépressage et densités de plantation

Le dépressage est étroitement lié aux densités initiales de plantation. De faibles densités permettent en effet d'éviter le dépressage et de passer directement à une première éclaircie plus tardive et rentable (fig. 4). Il est bien évident alors que l'opération de sélection que constitue le dépressage ne peut être opérée et doit se faire à l'amont par le choix des plants en pépinière, ou à l'aval, par les éclaircies. Depuis une cinquantaine d'années,

une réduction continue des densités est enregistrée sous la pression de l'accroissement des coûts de main d'œuvre, de la mécanisation des entretiens et de la mévente des petits produits d'éclaircie (en cas d'éclaircie déficiente, chaque tonne produite coûte au lieu de rapporter!). La densité moyenne constatée par les personnes enquêtées pour les plantations de douglas réalisées après 1990 est de 1050 tiges/ha.

Cependant, une campagne actuelle des scieurs industriels, faisant la promotion des peuplements denses, générateurs de produits moyens et calibrés exploitables en coupe rase précoce sans dépressages ni éclaircies, relance la discussion. Le lien complexe entre sylviculture (et donc densités de plantation, dépressages et éclaircies), dimensions (et qualité) des produits et débouchés est un problème récurrent, sujet d'une éternelle discussion (Riou-Nivert, 2008).

On peut également noter que, dans les régions où l'exploitation mécanisée se développe et où les débouchés des petits bois (jusqu'à 9 cm de Ø fin bout) se structurent, la première éclaircie précoce est préférée au dépressage.

Dépressage et itinéraire sylvicole

L'un des intérêts du dépressage est de permettre au propriétaire de pénétrer précocement dans son peuplement, d'y exercer une surveillance (attaques de parasites...) et de le voir progresser. Ceci est très important pour lui donner envie de s'y investir. Il pourra ainsi le façonner pendant la phase juvénile, où la croissance du douglas est très forte. L'habitude de la première éclaircie à 20 ans ne permet pas de profiter pleinement de ce dynamisme. Un dépressage aux alentours de 10 ans maintient au contraire un accroissement régulier et de plus une forme des tiges correcte (H/D faible), gage de stabilité au vent.

Dans certains cas (selon la station), le dépressage peut entraîner l'apparition de feuillus pionniers qui améliorent l'ambiance forestière et l'humus; cela peut déboucher sur une petite proportion de mélange d'essences, souvent très appréciée par le propriétaire.

Dépressage et élagage

Le dépressage trouve tout son intérêt s'il est accompagné d'un élagage (à 2,5-3 m) sur environ 250 tiges/ha. Ce dépressage/élagage précoce a comme avantage de générer un volume de bois sans nœud plus important qu'un élagage effectué après la première éclaircie. Il permet de profiter de la phase de forte croissance pour accélérer le recouvrement des plaies d'élagage et produire du bois de qualité. On préférera une hauteur de 3 m qui permet de façonner une bille de pied valorisable même si un élagage ultérieur en hauteur n'est pas réalisé. L'élagage permet en outre de donner un meilleur aspect visuel au peuplement et de faciliter le repérage par l'exploitant des arbres (non élagués) à enlever en première éclaircie (souvent mécanisée).

A contrario, il faut être conscient qu'un dépressage non suivi d'élagage re-

lance la croissance des branches basses encore vivantes et peut aboutir à la production de bois branchus dont les débouchés sont de rentabilité médiocre (palette, caissage, charpente de grosses sections).

En conclusion

L'expérience du personnel de terrain, après 20 ans de pratique du dépressage, s'avère pleine d'enseignements : – l'avis est unanime pour mettre en avant les avantages de l'opération dans de nombreux domaines (croissance, accessibilité du peuplement, diversité végétale...); un dépressage garantit un peuplement futur sain et stable même si les interventions ultérieures sont absentes ou tardives ; – certains aspects doivent néanmoins être examinés avec attention : l'ouverture du peuplement, si elle facilite l'accessibilité, peut entraîner des dégâts de gibier en permettant la pénétration des cerfs. Elle peut aussi occasionner des coups de soleil en cas de canicule ; – le point le plus important à retenir semble néanmoins la réaffirmation du lien fort dépressage/élagage précoce.

Un dépressage énergique (laissant 600 tiges/ha par exemple) non suivi d'élagage impliquera la production de grosses branches basses pénalisant fortement la qualité des produits.

Si l'on ne souhaite pas faire d'élagage, peut-être alors vaut-il mieux planter un peu plus serré (1 300 à 1 500 tiges/ha) et ne pas dépresser en misant sur une coupe rase précoce précédée d'une ou deux éclaircies. On maintient ainsi une branchaison plus fine mais on est lié par les prix du débouché petits bois pour les éclaircies et du débouché charpente pour la coupe rase. Si cette solution intéresse les scieurs industriels actuellement, elle hypothèque en partie l'avenir du peuplement qui sera, dès 15 m de hauteur, plus sensible au vent et au stress hydrique (ce qui est inquiétant dans un contexte de réchauffement climatique) et aura une faible biodiversité (Riou-Nivert, 2008).

À chacun donc de choisir selon ses moyens et le contexte économique futur, toujours bien difficile à anticiper. ■

Bibliographie

- **Paulus J., 2008.** *Enquête sur le dépressage du douglas*. Doc interne IDF, 58 p. + annexes.
- **Riou-Nivert Ph., 2008.** *Peut-on concilier sylviculture et marché des bois ?* Première partie : Forêt-entreprise 182, p. 9-12; deuxième partie : Forêt-entreprise 183, p. 9-12.
- **Pernon E., 1994.** *Conséquences de la première éclaircie dans les jeunes plantations de douglas ; étude dendrométrique et économique*. Mémoire IDF/Cemagref/Engref, 87 p. + deux volumes d'annexes.

Quelques autres documents sur le dépressage :

- **1991.** *Dossier dépressage de Forêt-entreprise n° 78, p.11 à p. 40.*
- **Delanue A., et al., 1998.** *Le dépressage des plantations résineuses « objectif 600 »*. Forêt-entreprise 123, page 46-48.
- **Ferron J.-L., 1993.** *Le dépressage des douglas et après*, Forêts de France, n° 367 p. 25-28.



© J. Paulus

Peuplement de douglas dépressé depuis 10 ans à 600 tiges/ha dans le Tarn.

Résumé

Le dépressage précoce de plantations de douglas extrait entre 30 à 50 % des tiges de façon sélective pour conserver 600 à 800 tiges/ha. Les avantages du dépressage sont une accélération de croissance, un raccourcissement de révolution de 5 à 10 ans, une meilleure pénétrabilité du peuplement, l'homogénéisation des dimensions. L'élagage conjoint d'environ 250 tiges/ha permet la production de bois de qualité.

Mots-clés : dépressage, douglas.

Les effets du dépressage : quelques résultats chiffrés

Les résultats suivants, que nous n'avons jamais publiés, proviennent d'une étude ancienne effectuée par l'IDF et le Cemagref sur un réseau commun de dépressages et d'éclaircies précoces sur douglas (Pernon, 1994).

Base de l'étude :

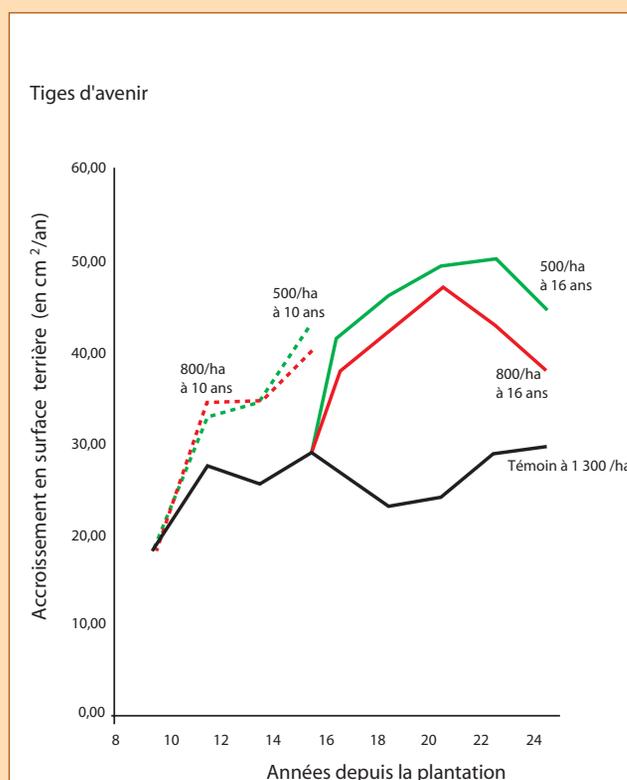
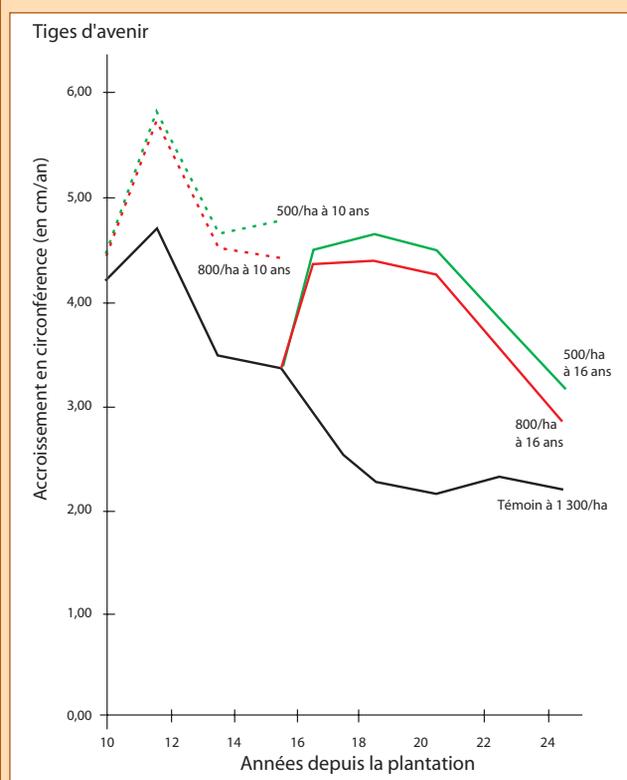
→ réseau de 16 dispositifs (de 2 à 12 placettes) installés dans le Massif central, le Centre, le Nord et l'Est de la France à partir de 1983 ;

→ 10 500 tiges mesurées tous les deux ans ; 100 000 données récoltées, quantitatives (dendrométriques, coûts) et qualitatives (rectitude, branchaison, défauts, végétation au sol...) ;

→ stratification de l'échantillon : 3 densités de plantation, 3 classes de fertilité ; 2 dates de coupe (10 et 16 ans, soit 6 et 10 m de hauteur), 2 densités après intervention (500 et 800 tiges/ha).

Résultats :

Voici un résumé des effets du dépressage pour un peuplement moyen (agrégation de plusieurs placettes) de classe de fertilité 2 (moyenne), planté à 1300 tiges/ha.



Comparaison de l'accroissement en circonférence (à gauche) et en surface terrière (à droite) des **200 arbres d'avenir/ha** de chaque traitement (souvent réputés comme les moins réactifs... lorsqu'on n'a pas les chiffres en main !).

10 ans après la coupe, sur l'ensemble du réseau, on constate, par rapport au témoin non dépressé :

- un gain moyen d'accroissement de 50 % sur la circonférence et de 100 % sur la surface terrière ;
- une perte de production très faible, de 7 à 17 m³/ha, qui diminue en valeur relative avec le temps (en classe 1 de fertilité, on enregistre au contraire un gain de production !) ;
- pas d'effet sur la hauteur, la rectitude et peu sur la branchaison, une stabilité améliorée par diminution du rapport H/D (fait confirmé après le passage de la tempête de 1999 sur certains dispositifs) ;
- une révolution raccourcie de 5 à 10 ans et une rentabilité améliorée si l'on se projette à 50 ans (le TIR passe de 4,5 à 5,1% entre témoin et dépressage à 500 tiges/ha). Mais bien sûr, tout dépend du traitement appliqué après dépressage.

L'impression générale qui ressort est celle d'un coup de fouet au peuplement, mais la croissance retombe vite si elle n'est pas relancée par des éclaircies.

Les sylviculteurs du Beaujolais et le douglas

Georges Carrabin et Annick Meneau (1)

En 2008, deux réunions forestières ont fait le point sur la sylviculture du douglas dans le Rhône. G. Carrabin et A. Meneau, anciens chefs de file du Fogefor local, tirent les enseignements des discussions de terrain entre praticiens.

Le 24 mai et le 18 octobre 2008, deux visites ont été organisées dans les monts du Beaujolais, royaume du douglas, afin de confronter les avis des sylviculteurs locaux autour de deux propriétés à la gestion exemplaire : le domaine de Bois-Guillaume à Ronno, géré par J.-C. Dufour, et celui du Cros à Azolette, géré par D. Manivet. La place du douglas face à la nouvelle donne actuelle (canicules et tempêtes, évolution des coûts et des marchés...) a été réexaminée.

Le douglas, essence reine des monts du Beaujolais

Si le douglas s'est autant développé dans les monts du Beaujolais, c'est qu'il y présente des atouts indéniables : – **une frugalité intéressante**. Malgré les terrains pauvres et acides de la région, il est capable d'assurer une croissance soutenue tout au long de sa révolution ;

– **une résistance à la sécheresse** meilleure que le sapin et l'épicéa, malgré des dépérissements suite aux sécheresses de 2003 et 2005 sur terrains superficiels ;

– **une croissance initiale vigoureuse** qui lui permet de se dégager assez vite de la concurrence, contrairement

au sapin ;

– **une sylviculture qui reste relativement simple** à mettre en œuvre à condition d'intervenir à point nommé. Nos deux gestionnaires ayant chacun une démarche propre, il nous a semblé intéressant de faire état de ces deux types de sylviculture, plus ou moins dynamiques, afin que chacun se fasse son opinion.

Le domaine de Bois Guillaume à Ronno

Présentation du domaine

Cette propriété compte **400 hectares de forêts**, à 85 % résineuses, entre 500 à 850 m d'altitude. La pluviométrie est soutenue mais, depuis plusieurs années, souvent assez mal répartie, faisant alterner fortes pluies et périodes de sécheresse. La **forte acidité des sols** s'explique certainement par les exploitations intensives et répétitives de taillis feuillus jusqu'à la fin du XIX^e siècle (fourniture de bois de chauffage, de bois d'industrie et de boudage).

Quant aux anciennes terres agricoles converties, ces dernières années, en terrains forestiers, elles présentent des caractéristiques un peu meilleures mais encore loin des conditions idoines pour une production économique-

ment rationnelle de feuillus. Ceux-ci ont néanmoins été introduits en diversification sur 50 ha.

À souligner que cette propriété a fait l'objet de **nombreux essais** en association avec les organismes de recherche forestière (FCBA ex-Afocel, Inra), et fait un peu office de laboratoire d'expérimentation en amélioration génétique et en sylviculture dans la région.

Malheureusement, le domaine a été frappé de plein fouet par la **tempête de 1999** qui a détruit tous les peuplements de plus de 35 ans et endommagé ceux âgés de 25 à 35 ans. L'ensemble du massif a été en outre affecté sept ans plus tard, au printemps 2006, par une forte chute de grêle qui a déchiqueté les cimes des jeunes peuplements et condamné une partie des plantations de sapins de Noël qui assurent actuellement l'essentiel des ressources du domaine (production : 35 000 par an pour 2/3 en sapin Nordmann et 1/3 en épicéa).

Une sylviculture intensive

Les plants de douglas sont installés à **2 m par 4 m** afin de faciliter le passage des engins forestiers. On obtient alors une densité proche de **1 300 plants/ha**, indispensable pour une bonne sélection ultérieure des tiges à conserver. Selon le gestionnaire, trois facteurs en effet ne permettent

pas, pour l'heure, de diminuer sensiblement la densité de plantation :

– **la qualité des plants** (performance et morphologie), qui est encore loin d'être garantie malgré l'important travail de sélection que mènent les améliorateurs ;

– **le souci de limiter la croissance de la branchaison**, qui dépend à la fois de la génétique et de l'espace dont disposent les jeunes arbres pour se développer ;

– **les aléas divers** dont peuvent être victimes les arbres : dégâts de gibier, attaques d'insectes, accidents climatiques (gel, grêle, neige lourde...).

Par surcroît, il faut bien se dire que, dans une plantation, la préparation du sol coûte infiniment plus cher que quelques centaines de plants supplémentaires.

Sur terrain bien préparé, **un seul entretien** la seconde année après la plantation (jusqu'ici fait au Roundup®, produit récemment interdit et qui disparaîtra lorsque les stocks seront épuisés...), suffit en général. En revanche, la lutte contre l'hylobe reste indispensable mais doit être revue à l'aide des nouveaux traitements qui viennent (ou vont) remplacer les insecticides

interdits.

Le gestionnaire attend ensuite pour intervenir en **dépressage** que le peuplement ait atteint **16-17 ans**. Il pratique alors une sélection très sévère ne laissant subsister que **500 à 600 tiges/ha** « sans défaut ». On a en effet observé que tout arbre taré ne faisait qu'exacerber son aspect négatif au fil des années.

Une éclaircie est ensuite réalisée 7 ans plus tard, vers **22-23 ans**, pour peaufiner la sélection : la densité est alors ramenée aux alentours de **400 tiges/ha**. Une dernière éclaircie intervient **10 ans plus tard** pour ne laisser que **300 arbres/ha**.

Ce type de gestion intensive présente en particulier deux avantages :

– **limiter au maximum le passage des engins forestiers** dans les peuplements et par là même les dégâts occasionnés aux arbres, à leurs racines et au sol (par tassement) ;

– **favoriser le développement d'une végétation de sous-étage** bénéfique aux sols, les faibles densités permettant à la lumière de pénétrer au sein du peuplement.

La coupe finale est ensuite envisagée lorsque l'objectif de production est atteint (arbre de **2 à 2,5 m³**) soit aux environs de 50-60 ans. Le gestionnaire avait tendance à conserver plus longtemps **quelques peuplements remarquables** avant la tempête de 1999. Cette dernière les a rasés et l'on ne verra plus de telles « cathédrales » !



La propriété du Cros à Azolette

Présentation du domaine

Ce domaine couvre **350 hectares de forêts**, entre 550 et 650 m d'altitude, à 96 % résineuses (70 % de douglas et 23 % de sapin principalement). 20 hectares de douglas de plus de

60 ans subsistent, épargnés par la tempête de 1999. Mélèze hybride, pin laricio et feuillus divers (érables, hêtres, aulnes) ont été introduits en diversification.

Une sylviculture plus traditionnelle

La sylviculture est ici nettement moins intensive qu'à Ronno :

Après **dépressage**, là encore vers **17 ans** mais beaucoup moins sévère (densité ramenée aux environs de 800-850 tiges/ha), le passage en **éclaircie** se fait **tous les 6 ou 7 ans**.

Les éclaircies se font soit en sélectif pur, soit en ôtant une ligne sur cinq avec prélèvement connexe dans les 4 lignes intermédiaires.

La **coupe finale** est souvent envisagée plus tardivement qu'à Ronno.

Il nous a semblé intéressant au cours de la visite de nous interroger sur les avantages et les inconvénients qu'il peut y avoir à conserver les peuplements de douglas au-delà de 50 ans.

Réflexions sur la durée de révolution et la qualité des bois Conserver des vieux arbres : un pari risqué

Maintenir des arbres sur pied alors qu'ils sont mûrs relève toujours un peu du pari, puisqu'une tempête peut les abattre en quelques heures. En cas d'accident climatique très localisé, n'entraînant pas une chute des prix des bois généralisée, il n'y a que moindre mal, sachant que les douglas confrontés au vent ont plutôt tendance à tomber qu'à casser (contrairement aux sapins et aux épicéas).

En revanche, si la tempête ravage des superficies considérables comme en décembre 1999, avec mise sur le marché de volumes conséquents, les bois doivent être bradés, ce qui se traduit par une perte sèche.



© Annick Ménéau

Douglas de 18 ans, sélection Inra, au col du Pilon. Ronno (69)

Répartition des volumes en fonction des classes de résistance mécanique

Classes de résistance	Moyenne des lots 1 et 2 (âge : moins de 40 ans)	Lot 3 (âge : 50 ans)	Lot 4 (âge : 70 ans)
C 40	14 %	36 %	77 %
C 30	23 %	34 %	16 %
C 24	9 %	12 %	3 %
C 18	45 %	12 %	4 %
rejet	9 %	6 %	1 %

Plus la classe de résistance est forte (de C18 à C30), meilleures sont les propriétés mécaniques et plus les usages sont valorisants.

La conservation de bois mûrs ne peut donc s'envisager pour un propriétaire qu'en toute connaissance de cause et sur des superficies limitées.

Gros arbres oui, mais pas trop !

Le marché actuel est essentiellement demandeur de bois de 1,5 à 2,5 m³. Bien sûr, de gros bois trouveront toujours preneur à condition tout de même de ne pas dépasser un diamètre de plus de 80 cm (arbres de plus de 70 ans), les bois ne passant plus alors dans les écorceuses ; mais leurs prix ne seront pas pour autant valorisés.

Pourquoi alors prendre le **risque** ?

Mais les vieux arbres conservent une croissance soutenue...

Après mesure en 2008 d'une placette déjà inventoriée en 1992, il s'avère que l'accroissement en volume d'un peuplement test entre 56 et 70 ans (255 tiges/ha ; 47 m de haut) était de 15 m³/ha/an (21 m³/ha/an sur les 200 dominants). Le gain en volume, même s'il n'est valorisé qu'au prix du bois de moindre diamètre, est tout bénéfique pour le propriétaire, sachant qu'à cet âge, ce dernier n'a plus qu'à regarder ses arbres pousser...

Et leur qualité s'améliore !

C'est ce qu'a démontré l'étude menée par le FCBA (ex-C.T.B.A) en 2003 dont les résultats sont rapportés dans le tableau ci-dessus.

Tous les propriétaires devraient méditer ce tableau avant de faire réaliser

une coupe à blanc précoce (moins de 40-45 ans) car non seulement ils coupent vraiment leur blé en herbe mais ils fournissent à l'aval un produit de qualité moyenne qui ne met pas en valeur les réelles propriétés du bois de douglas.

Des marchés spécifiques sont à développer

Certains débouchés valorisant le bois de cœur pourraient constituer une alternative pour les gros douglas. En effet ce bois de cœur, imputrescible et résistant aux insectes sans aucune nécessité de traitement, intéresse certains marchés de « construction écologique ».

Les vieux peuplements préservent le sol

Enfin, dans un souci de préservation sur le long terme du capital que consti-



© Annick Meneau

Douglas de 45 ans, situé à Saint Germain la Montagne (42).

tuent les sols forestiers des monts du Beaujolais, il peut sans doute être judicieux de viser des révolutions plus longues que celles pratiquées actuellement. En effet, sachant que les alternatives aux douglas ne sont pas légion, les forestiers sont amenés à faire se suivre plusieurs rotations de douglas sur une même station. Il y a alors risque d'épuisement des sols les plus pauvres car les jeunes tiges exploitées de moins de 40 ans emportent avec elles une proportion d'éléments minéraux nettement plus importante que les bois mûrs (résultats de J. Ranger, Inra). D'ores et déjà, il semble à l'aspect que certains jeunes peuplements de douglas soient moins vigoureux et d'un vert moins soutenu que leurs aînés (tendance à confirmer).

Et à part le douglas ?

De tous temps, les sylviculteurs du Beaujolais ont cherché un dauphin au roi douglas pour éviter la monoculture. Les résultats sont très mitigés :

Le mélèze : une essence qui semble tenir ses promesses

À Ronno comme à Azolette, depuis près de 20 ans, des mélèzes hybrides ou des mélèzes d'Europe (provenance Sudètes) ont été testés avec les organismes de recherche.

Au vu de ces essais, il semble que le mélèze puisse trouver sa place dans les monts du Beaujolais à condition toutefois d'être implanté dans des **stations suffisamment fraîches** (celles que l'on réservait auparavant au sapin et à l'épicéa), contrairement à ce que l'on pensait au départ.

Cependant, **la sylviculture à mener est plus délicate** que pour le douglas, en particulier au cours des premières années : préparation du sol soigneuse,

lutte contre la végétation adventice plus laborieuse et plus longue, protections contre le gibier. Ensuite, les croisances très fortes des premières années nécessitent des interventions en dépressage et éclaircie sans doute un peu **plus précoces** que chez le douglas afin de maintenir la croissance en diamètre. Les mélèzes semblent par ailleurs perdre un peu pied face aux douglas après leur 20^e année.

Sapins et épicéas

Étant donné leurs exigences climatiques notamment en eau et en températures hivernales (ils apprécient les hivers froids), leur sensibilité aux maladies et aux insectes et leur mauvais comportement vis-à-vis des intempéries (sensibilité au vent et aux neiges lourdes), sapin et épicéa semblent n'avoir désormais qu'**un rôle mineur à jouer dans notre région**. Il peut paraître cependant dommage d'abandonner complètement le sapin, autochtone, qui présente la capacité de bien se régénérer et peut être traité en futaie jardinée (mais au prix d'une gestion délicate).

Autres résineux

Le **pin laricio** était apparu comme une alternative intéressante dans un contexte de réchauffement climatique et présentait des croissances initiales prometteuses. Mais il s'avère très sensible aux insectes, notamment aux chenilles, et aux maladies. Le **cryptomère du Japon**, également présent à Ronno a montré une forte sensibilité

aux sécheresses de ces dernières années ainsi qu'aux insectes. Le **thuya géant**, semble pour l'instant tenir la comparaison avec le douglas.

Les feuillus

De nombreux essais de diversification ont été menés avec des feuillus. Tous ceux réalisés sur des sols forestiers, trop acides, se sont soldés par des échecs.

Sur anciennes terres agricoles, les résultats sont les suivants :

Les **noyers** présentent une croissance moyenne mais demandent un gros investissement en temps, en argent et en technicité : fertilisation, chaulage, désherbage annuel, tailles et élagages (10 années au moins). Le **frêne** ne se développe bien qu'à des endroits spécifiques où il présente malgré tout une mauvaise rectitude due à un débourrage trop précoce qui l'expose aux gels tardifs fréquents dans la région. Le **meisier** ne donne pas de résultats très concluants et est sensible aux parasites. **Érable et chêne rouge** s'en sortent mieux mais ce dernier demande aussi tailles et élagages.

Ainsi, à Ronno, les 50 hectares de feuillus exigent chaque année un temps de travail supérieur à celui consacré aux 350 hectares de résineux ! En outre, les résultats obtenus restent bien aléatoires tant en terme de qualité de production que de débouchés. En effet, la faible production locale fait que ces bois sont jusqu'à présent peu recherchés par les scieurs.

En conclusion

Les sylviculteurs du Beaujolais sont bien conscients des inconvénients de la monoculture du douglas : sensibilité aux perturbations, absence de variété dans l'offre de bois, perte de biodiversité, épuisement des sols. Tout bon jardinier sait qu'en refaisant systématiquement la même culture au même endroit, le sol devient moins productif. **Ils souhaitent donc une diversification**. Mais trouver une alternative à cette essence ressemble à une gageure et l'hypothèque du changement climatique, dont le risque est encore mal circonscrit, ne simplifie pas les choses.

En attendant, les forestiers **ont intérêt à préserver au maximum leur patrimoine sol** notamment en gérant les forêts résineuses de façon suffisamment dynamique, ce qui a le mérite de faire pénétrer la lumière au sein des peuplements et d'assurer le développement d'une végétation d'accompagnement.

Pensons à nos enfants et à nos petits-enfants ! ■

(1) *Anciens animateurs Fogefor du Rhône.*

Pour en savoir plus sur le douglas

L'association France douglas vous informe sur le site :

www.france-douglas.com

Résumé

Dans les monts du Beaujolais, deux sylvicultures de douglas sont présentées, l'une intensive l'autre plus traditionnelle.

Les nombreux échanges concernent le type de gestion à mettre en œuvre compte tenu des données économiques et climatiques, les conditions pour une valorisation optimale des coupes de bois dans un marché irrégulier, le risque de conservation de peuplements de plus de 50 ans, ainsi que les alternatives au douglas.

Mots-clés : Beaujolais, sylviculture, douglas.

Perspectives de valorisation et de transformation du douglas en Bourgogne

Robert Collet, Laurent Bléron (1)

Face au très fort accroissement de la ressource de bois de douglas en France, et en Bourgogne en particulier, dans les trente prochaines années, une caractérisation des produits attendus a été réalisée par l'école nationale supérieure des arts et métiers de Cluny (Arts et Métiers ParisTech et l'institut technologique forêt bois cellulose construction ameublement (FCBA). De nouvelles voies de valorisation ont été identifiées, parmi lesquelles le bois massif reconstitué et le lamibois.

La politique forestière de la France d'après-guerre a favorisé un reboisement d'envergure en résineux en privilégiant le douglas dont une des caractéristiques est de pousser rapidement tout en produisant un bois avec de très bonnes performances mécaniques. À l'heure actuelle en France, 427 000 ha sont plantés en douglas et la Bourgogne, avec près de 60 000 ha, constitue la première région productrice. Des études récentes, réalisées par le FCBA (2) sur la ressource en douglas, confirment que le potentiel de récolte annuelle est en forte croissance : 1,6 million de m³, la fraction de la ressource annuelle potentiellement récoltable devrait en 2030 atteindre 5,6 millions de m³. Cinq régions concentrent à elles seules plus de 70 % des plantations de douglas : Limousin, Bourgogne, Rhône-Alpes, Auvergne et Midi-Pyrénées.

Le douglas : un potentiel conséquent

L'importance de cette nouvelle ressource risque de bouleverser non seulement les équilibres du marché du bois mais également les équilibres socio-économiques des entreprises de première transformation et des territoires dans lesquels elles s'inscrivent.

En effet, si l'implantation de nouvelles unités capables de transformer cette matière première sur place est une chance à saisir, de telles implantations doivent se faire en cohérence avec les développements prévus de celles déjà installées.

Ce fort potentiel de ressource en bois de douglas dans les années à venir justifie donc qu'on s'intéresse dès maintenant à ses possibilités de valorisation et de transformation. Il représente un véritable enjeu économique qui a incité la région Bourgogne à demander une étude prospective dans ce sens. Cette étude a été pilotée par Aprovalbois (l'inter-profession régionale de la forêt et du bois en Bourgogne) et le comité ressource restreint régional ; sa réalisation a été confiée au FCBA et à ARTS (Association d'études et de recherches d'Arts et Métiers ParisTech) avec un fi-

nancement du conseil régional de Bourgogne dans le cadre du contrat de plan état-région.

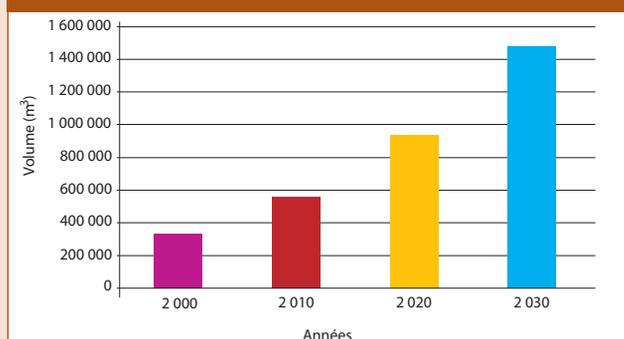
Analyse de la ressource disponible en Bourgogne

La récolte de douglas en Bourgogne en 2000 était de 330 000 m³ et la disponibilité devrait passer à 1 480 000 m³ en 2030 (3) (le quart de la ressource nationale), soit une multiplication par 4,5 en 30 ans.

Estimation de la répartition de la qualité de la ressource 2000 - 2030

Afin de mieux apprécier les potentialités de valorisation de la ressource en douglas, des qualités dites « professionnelles » ont été prises en compte dans notre étude, à partir de données de l'Inventaire forestier national ayant fait l'objet de prises de mesures spéciales dans les départements de la

Tableau 1 : Évolution de la récolte en volume



(2) A. Thioville-Cazat – octobre 2004 – Le douglas en France : une ressource en pleine expansion – Présentation AFOCEL.

(3) O. Pain – Juillet 2005 – Actualisation de l'étude sur la ressource résineuse en Bourgogne – AFOCEL.

Nièvre (en 1996) et de l'Yonne (en 2000). Par rapport aux catégories I, II, III, déjà retenues par l'IFN, il s'agissait surtout de mieux préciser la qualité II, qui regroupe tous les bois destinés à être sciés. Ainsi, les nouvelles catégories observées ont été : Q1 (anciennement I), Q2 (anciennement II), subdivisée en 3 classes, et Q3 (anciennement III).

- Q1 : tranchage – ébénisterie
- Q2 Sup : bardage (revêtement extérieur) et bois de structure de faibles sections
- Q2 Nor : charpente et caissage de fortes sections
- Q2 Inf : emballage/ calage de fortes sections et trituration
- Q3 : trituration

Hypothèses retenues :

Les résultats qui suivent ont été calculés à partir d'une extrapolation des données qualitatives, relevées par l'IFN dans les départements de la Nièvre et de l'Yonne, à l'ensemble des volumes

estimés par le FCBA pour toute la Bourgogne. Pour les arbres de 30 ans et moins, en l'absence de données qualitatives relevées par l'IFN, nous avons retenu les répartitions suivantes :

- Classe 15 à 20 ans : 25 % de Q2 Inf et 75 % de Q3
- Classe 20 à 25 ans : 50 % de Q2 Inf et 50 % de Q3
- Classe 25 à 30 ans : 75 % de Q2 Inf et 25 % de Q3

Concernant les perspectives d'évolution de la qualité des peuplements, à défaut de modèle plus précis, nous avons retenu la même répartition des qualités par classe d'âge que celle estimée pour l'année 2000.

Synthèse des résultats de l'étude de l'évolution de la ressource de douglas en Bourgogne

Les résultats de cette simulation de l'évolution de la ressource de douglas en Bourgogne mettent clairement en évidence, et ce malgré les incertitudes des données et des hypothèses retenues, que :

→ la ressource de bois de première qualité Q1 progresse sensiblement, mais le volume de 50 000 m³ estimé en 2030, reste relativement faible et ne posera pas de problème de débouché ;
 → la qualité Q2 Sup répond aux caractéristiques des bois recherchés pour la production de sciages destinés principalement à la fabrication de bardage et à des emplois en structure (charpentes, ossatures, planchers, menuiseries) de faibles sections qui représentent les volumes de bois consommés les plus importants. La récolte est estimée à 300 000 m³ et ce volume pourra être absorbé sans difficulté par les scieries existantes, les capacités de transformation des seules unités de sciages résineux présentes en Bourgogne étant déjà suffisantes ;

→ le volume de la qualité Q2 Nor est estimé à 940 000 m³, soit les deux tiers de la ressource totale qui devrait être disponible en 2030. Il représente donc un potentiel de récolte très conséquent dont il faut envisager les débouchés. En effet, cet approvisionnement sera constitué d'une part importante de gros bois et très gros bois (40-50 cm et 55 cm et plus) avec des tailles de nœuds qui imposent des sciages de fortes sections. Les diamètres des bois et les sections à débiter ne permettront pas de les traiter dans les unités de sciage les plus performantes actuellement (lignes canter-circulaires). Ces bois devront être

Nouvelles catégories de qualité de douglas					
Caractéristiques	Q1	Q2 Sup	Q2 Nor	Q2 Inf	Q3
Longueur minimale du billon	3 mètres	3 mètres	3 mètres	2 mètres	-
Diamètre fin bout (sur écorce)	32 cm	27 cm	20 cm	17 cm	7 cm
Nœuds	Aucun	< 40 mm	> 40 mm	Très noueux	-
Autres	Courb < 2 cm/m Cernes < 6 mm	Maxi 2 verticilles/m	Maxi 3 verticilles/m	-	-

Synthèse des résultats de l'étude de l'évolution de la ressource de douglas en Bourgogne							
Qualité		2000			2030		
		Récolte		Âge moyen	Disponibilité		Âge moyen
		Volume (m ³)	%		Volume (m ³)	%	
Q1	Tranchage/Ebénisterie	2 000	1	40/60	50 000	3	40 / 65
Q2 Sup	Bardage et bois de structure de faibles sections	65 000	20	30/45	300 000	20	40 / 65
Q2 Nor	Charpente et caissage de fortes sections	110 000	34	25/50	940 000	64	40 / 70
Q2 Inf	Emballage/Calage fortes sections et trituration	80 000	24	15/40	105 000	7	40 / 70
Q3	Trituration	70 000	21	15/35	85 000	6	40 / 70
Total		327 000	100	25/45	1 480 000	100	40 / 70

transformés par des scieries équipées de scie de grumes à ruban, avec des prix de revient de sciage plus élevés ; → les volumes des bois de qualités Q2 Inf et Q3 restent pratiquement stables. Cependant, la forte augmentation de l'âge moyen va limiter les possibilités d'approvisionnement des lignes de petits bois spécialisées dans le sciage de bois à palettes.

Perspectives relatives à l'évolution de la ressource

Concernant les qualités inférieures (Q2 Nor, Q2 Inf, Q3), il faut espérer que les gestionnaires forestiers agissent pour limiter le grossissement des bois en anticipant leur récolte. Cependant, compte tenu de l'importance de la disponibilité annuelle en bois d'œuvre de qualité Q2 Nor, estimée à près d'1 million de m³ en 2030, il faut s'intéresser dès aujourd'hui aux possibilités de valorisation de cette ressource car les marchés traditionnels pour les sciages de fortes sections sont relativement limités.

On constate que les conditions de mobilisation de la ressource de douglas en Bourgogne sont tout à fait satisfaisantes et le resteront : bonne accessibilité, pente limitée, distance de débardage acceptable.

Par contre, on observe un ralentissement des opérations d'élagage pour les jeunes peuplements, qui sera très préjudiciable pour la qualité des arbres qui seront récoltés dans l'avenir. Une politique forte, incitant les propriétaires forestiers à élaguer leurs peuplements, est très souhaitable.

Selon les études de FCBA, la disponibilité de la ressource en douglas devrait atteindre son maximum vers 2030, avant de diminuer suite au ralentissement des boisements. Afin de pérenniser cette ressource et sécuriser les industriels dans leur développement d'unités de transformation, il faut, dès à présent, encourager les propriétaires à replanter en douglas.

Comment mieux valoriser cette ressource ?

Cette partie de l'étude, limitée aux bois d'œuvre, a été orientée par les résultats précédents : les deux tiers de la disponibilité annuelle (soit près d'un million de m³ à l'horizon 2030), sera de qualité Q2 Nor avec des arbres d'âge moyen compris entre 40 et 70 ans, qui correspondent à des approvisionnements destinés principalement à la production d'éléments de fortes sections de charpente ou de caissage dont les marchés sont relativement limités. Envisager dans l'avenir la transformation de la totalité de cette ressource en simples sciages n'est pas raisonnable. L'enjeu économique pour la Bourgogne est donc de développer des industries et des marchés qui auront la capacité de valoriser et de mobiliser cette part importante de la ressource de douglas dans les prochaines années.

Développer les capacités de séchage artificiel des scieries pour favoriser :

→ l'exportation de bois sur de grandes distances en réduisant fortement leur poids et en limitant les risques de dégradations des sciages ;

→ l'emploi des bois en structure ;

→ le développement d'unités de seconde transformation apportant plus de valeur ajoutée, le séchage représentant une étape préalable nécessaire.

Développer les moyens de classement mécanique par machine pour mieux valoriser les réelles aptitudes d'emploi du douglas en structure

L'obligation du marquage CE (normes européennes harmonisées), pour les sciages comme pour de nombreux produits destinés à la construction, nécessite pour les entreprises de classer leurs bois en précisant le niveau de performance de chaque pièce. L'absence de classement efficace

conduit à sur dimensionner les éléments de structure (de 10 à 20 %) et donc à pénaliser le bois par rapport aux matériaux concurrents. On estime ainsi que 60 % des sciages résineux français sont sous-classés.

Cependant, les méthodes de classement visuel utilisées pour définir une classe de résistance des sciages destinés à des emplois en structure manquant de fiabilité, sont difficiles à appliquer de manière systématique dans le cas d'une production industrielle et les critères qu'elles prennent en considération (taille des nœuds, largeur des cernes, pente de fil...) conduisent à sous-estimer leurs performances mécaniques. Dans le cas particulier du douglas, les méthodes de classement visuel sont encore plus préjudiciables, comme le montre une étude réalisée par FCBA⁽⁴⁾ à la demande de France douglas, relative au classement de sciages de douglas de fortes sections (plus de 200 cm²). Les résultats de cette étude indiquent que la totalité des pièces de l'échantillonnage testé aurait pu être classée pour des emplois en structure, alors qu'avec la méthode visuelle, suivant les recommandations de la norme actuelle NF B 52-001 (1998), 52 % des pièces sont rejetées et qu'avec une machine de classement (méthode BING) seulement 4 % des pièces auraient été rejetées.

Afin de répondre à la directive européenne relative au marquage CE, mais aussi pour une valorisation optimale des performances mécaniques du bois de douglas de qualité Q2 Nor, la possibilité d'utiliser des machines de classement mécanique dans les unités de transformation représente donc un enjeu très important. Il est indispensable de mener un programme de recherche ambitieux dans ce domaine pour maîtriser la mesure des paramètres et leur traitement afin de prédire, avec plus de précision, les réelles aptitudes

Tableau 1 : Données comparatives pour la création de sites de production

	Unité de sciage Canter-circulaires (Ø 200-500 mm, longueur 3-6 m)	Unité de fabrication de BMR	Unité de fabrication de panneaux LVL
Capacité annuelle Bois ronds : Produits :	100000 m ³ 50000 m ³	100000 m ³ 40000 m ³	130000 m ³ 60000 m ³
Surfaces Site : Bâtiment :	10 ha 4000 m ²	2 ha 5000 m ²	10 ha 25000 m ²
Effectif	50	40	100
Budget global d'investissement	17 M€	10 M€	40 M€

mécaniques du bois de douglas. Malheureusement, l'acquisition de machines de classement est actuellement très onéreuse (entre 150 000 et 450 000€), elle n'est donc pas à la portée des unités moyennes pour lesquelles des solutions plus adaptées doivent être développées.

Développer des unités de Bois massifs reconstitués (BMR)

Cette technique permet de réaliser des produits semi-finis ou finis, avec une grande diversité de dimensions (sections et longueurs), de bonne stabilité et avec des performances précises. Ils sont obtenus à partir de sciages purgés de défauts, calibrés puis assemblés par collage en longueur (aboutés), en épaisseur (lamellés) ou dans les deux dimensions (lamellés-aboutés). Cette technique permet aussi d'éviter la difficulté du séchage des bois massifs de fortes sections. La demande pour ces produits reconstitués est de plus en plus importante et elle représente un réel potentiel de valorisation pour la ressource de douglas. La possibilité pour ces unités de transforma-

tion d'utiliser des machines de classement mécanique, capables d'optimiser la qualité des différents éléments constitutifs et de contrôler les performances des produits reconstitués, représente aussi un enjeu économique très important.

Étudier l'opportunité de production de LVL (LAMIBOIS) de douglas

Le LVL est né aux États-Unis dans les années soixante-dix et s'est développé en Finlande dans les années quatre-vingt. C'est une technique proche de celle de la fabrication du contreplaqué, qui utilise des placages déroulés et jointés bout à bout. Par rapport au contreplaqué, l'orientation du fil du bois des placages est parallèle et non croisée et les dimensions des produits, destinés à des usages en structure, sont plus importantes. Les panneaux de LVL sont coupés en longueur à la demande. Les dimensions courantes des poutres peuvent atteindre 23 m de longueur pour une épaisseur qui peut varier de 21 à 90 mm. Le procédé de fabrication confère au LVL une grande stabilité dimensionnelle et des

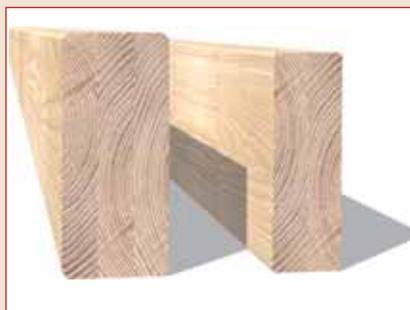
propriétés de résistance à la flexion et à la compression élevées. En effet, les caractéristiques du bois lamifié sont supérieures à celles des bois massifs ou du lamellé-collé traditionnel. Il n'existe qu'un seul fabricant en Europe : Finnforest, avec sa marque Kerto. Face à l'évolution du marché de la construction bois, la demande de Kerto a fortement augmenté, ce qui a conduit la société Finnforest à accroître sa capacité de production. Pour le moment, l'utilisation du LVL en Europe représente environ 200 000 m³ par an et le marché mondial est évalué à 3 M m³, dont 80 % pour l'Amérique du Nord. L'investissement nécessaire à la création d'une unité de LVL est néanmoins conséquent par rapport à une scierie classique (voir tableau ci-dessus).

Développer les unités de fabrication de maisons à ossatures bois

Le secteur de la construction représente le plus gros potentiel de valorisation du douglas. Il faut développer en Bourgogne des industries capables de répondre à une demande de masse



Bois abouté.



Bois contrecollé (BMR).



LVL ou lamibois.

pour des maisons bois et ainsi créer un marché de proximité.

De nouveaux produits adaptés au douglas

Une étude a été menée dans la perspective de rechercher des pistes de transformation permettant, en particulier, une meilleure valorisation des douglas de gros diamètres et à forte nodosité dont la ressource devrait beaucoup augmenter. Dans ce sens, des fabrications de poutres en bois massifs reconstitués (BMR) et en placages lamifiés (LVL) ont été réalisées au laboratoire bois de Arts et Métiers ParisTech Cluny à partir de gros douglas nouveaux, pour permettre des essais de caractérisation mécanique et ainsi vérifier ce potentiel de valorisation.

Une campagne d'essais (flexion 4 points) a permis de comparer les différents produits testés en fonction de leur résistance à la rupture.

Tout d'abord, on constate que les poutres en bois massif ont une bonne résistance mécanique puisqu'elles présentent une contrainte moyenne de rupture en flexion de 43,7 MPa et un module d'Young moyen de 12 750 MPa. Avec ces valeurs, les pièces de bois devraient être classées C30. Pourtant, une bonne moitié du lot testé serait déclassée si l'on se réfère aux normes de classement visuel. Cela confirme tout l'intérêt déjà signalé du classement mécanique par machine

pour valoriser le bois de douglas à gros nœuds. Dans le cas des bois massifs reconstitués (BMR), les nœuds ne sont pas assez dispersés dans la masse pour que la lamellation apporte un effet bénéfique au niveau de la résistance mécanique. Les améliorations sont plus induites par une lamellation forte avec des épaisseurs de planches faibles (lamellé-collé, LVL) susceptible de mieux disperser les nœuds. Néanmoins, avec l'aboutage, on peut purger les nœuds les plus pénalisants et obtenir de meilleurs résultats.

Les résultats obtenus avec le LVL sont très encourageants et sont comparables aux performances des LVL actuellement commercialisés et fabriqués avec des bois du Nord. Les classements mécaniques des éprouvettes testées sont majoritairement des classes C22 à C30. Cela permet de conclure que les billons utilisés auraient pu être valorisés en LVL utilisables en structure, alors que, s'ils avaient été transformés en sciages massifs, ils auraient été déclassés (selon la norme de classement visuel). La technique du LVL en structure présente l'avantage de fabriquer des poutres de grandes portées, sur chant ou à plat pour les membrures de solives en I, à partir de bois de qualité secondaire.

Lorsque l'on compare les prix du LVL (en prenant comme référence ceux issus de bois de Nord) aux prix des poutres massives de douglas, pour un chargement équivalent, il devient alors avantageux d'utiliser des poutres en

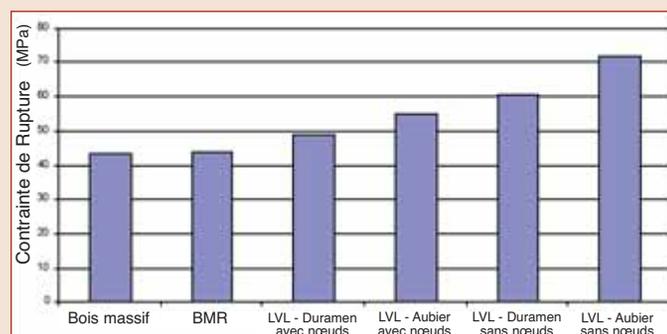
LVL au-delà d'une longueur de 8 mètres. Ceci est d'autant plus intéressant que les constructions à structures de longues portées représentent un marché en plein développement. Enfin, le déroulage de gros bois a l'avantage de bien valoriser le bois sans nœud, situé à la périphérie des bois élagués, en placages destinés à la fabrication des faces des panneaux. Le LVL apparaît donc comme une bonne perspective de valorisation d'une partie de la ressource future de douglas.

En conclusion

Nos études permettent ainsi une meilleure visibilité de l'évolution de la ressource disponible en douglas en Bourgogne mais aussi, par extrapolation, pour la France entière. Elles montrent que les proportions des catégories de produits récoltables vont être significativement modifiées. La filière devra donc s'adapter à cette nouvelle donne, et notamment à l'utilisation de gros bois nouveaux. Des voies de valorisation ont été identifiées (BMR, LVL) mais nécessiteront une organisation et des investissements à prévoir dès aujourd'hui. ■

(1) Enseignants-chercheurs – Équipe Bois Labomap – Arts et Métiers ParisTech Cluny.

(4) Source : J.-D. Lanvin – Pôle Construction CTBA – Vers une optimisation du classement pour la résistance des fortes sections de douglas – Douglas Infos / Numéro 11, juin / 2004.



Résumé

En Bourgogne, la production de douglas devrait être multipliée par 4 en 30 ans. Une étude Arts et Métiers ParisTech/FCBA analyse les valorisations économiques possibles du bois d'œuvre par catégorie de qualité récoltée, parmi lesquelles le Bois massif reconstitué (BMR), le Lamibois (LVL). Les essais comparatifs de LVL en douglas sont performants par rapport aux produits actuellement commercialisés.

Mots-clés : douglas, ressource, valorisation, Bourgogne.

Des résineux dépérissent en Midi-Pyrénées !

Jean-Pierre Ortisset*, Philippe Thévenet*,
Christelle Gacherieu**, Véronique Chéret***,
Jean-Philippe Denux*** (1)

Pour caractériser l'étendue des dépérissements observés principalement sur deux essences, le douglas et l'épicéa, dans le Tarn et l'Aveyron depuis 2003, une étude conjointe CRPF-ONF a été réalisée en lien avec l'École d'ingénieurs de Purpan. Cet article présente l'analyse des résultats et les préconisations qui en résultent.



© CRPF - Midi-Pyrénées

Suite à la canicule de l'année 2003, d'importants dépérissements ont été observés dans les plantations résineuses du Sud Massif central (Tarn et Aveyron). Ils ont entraîné de fortes mortalités de l'ordre de 3 000 ha sur un massif résineux d'environ 50 000 ha.

Les différents stress hydriques subis par les peuplements ont induit des rougissements, puis des dessèchements partiels ou totaux de certains arbres, liés à la rupture d'approvisionnement en eau des tissus. Dès la fin de l'été 2003, ces symptômes sont apparus massivement sur le douglas et l'épicéa, avec également des mortalités en tâches sur les sapins pectiné ou de Vancouver au printemps 2004. L'affaiblissement des peuplements a permis le développement de parasites.

Vu l'importance de ce phénomène, la Commission régionale de la forêt et des produits forestiers de Midi-Pyrénées a confié aux organismes forestiers : Office national des forêts (ONF) et Centre régional de la propriété forestière (CRPF), la réalisation d'une étude sur ce thème.

Celle-ci, menée en liaison avec le Département santé des forêts (DSF) et

l'école d'ingénieurs de Purpan (EIP), a permis de décrire et de quantifier les dommages, notamment par télédétection, d'en analyser les facteurs explicatifs et d'identifier les enjeux.

Une méthode d'analyse a été mise au point entre les partenaires, intégrant à la fois des données de terrain et des images satellitaires⁽²⁾. Ces dernières ont permis une première approche des surfaces concernées pour les groupes d'essences définis par l'Inventaire forestier national (IFN) « sapins/épicéas », « douglas » et « autres conifères ». Ce travail a été réalisé en deux étapes recouvrant à présent la période d'observation de 2000 à 2007⁽³⁾.

Qualification et quantification des dépérissements

La méthodologie s'articule selon trois angles :

→ une analyse qualitative de l'évolution des dépérissements à partir d'un réseau de placettes installées dans des peuplements d'épicéa et de douglas selon un protocole de type DSE.

À noter que ce réseau a été enrichi de nouvelles parcelles installées en forêt publique ; il comprend maintenant 37 placettes pour l'épicéa et 52 pour le douglas ;

→ la quantification des phénomènes observés selon les deux méthodes sui-

vantes coordonnées :

- L'analyse des données concernant les « coupes de dépérissement » effectuées en forêt publique et les déclarations de « coupes urgentes » en forêts privées.

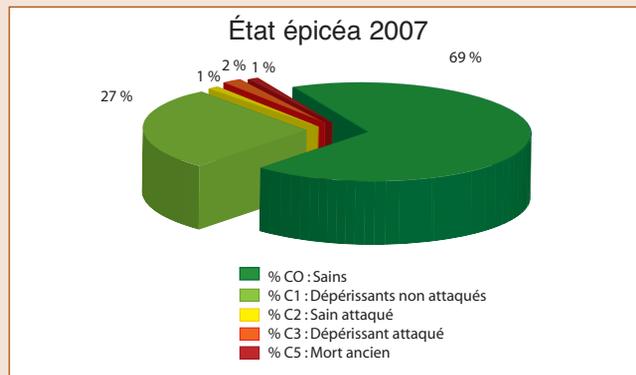
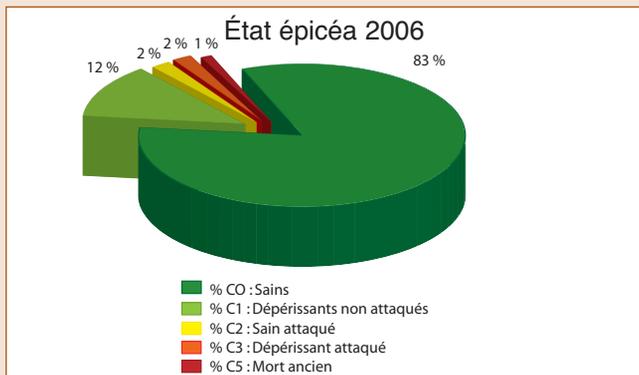
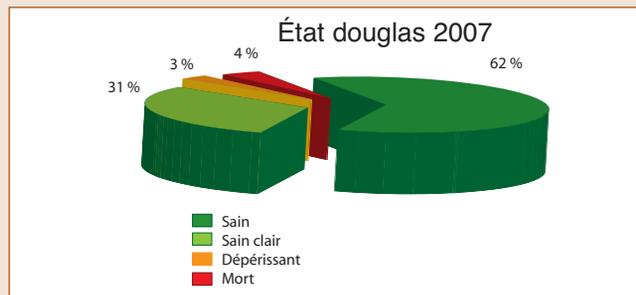
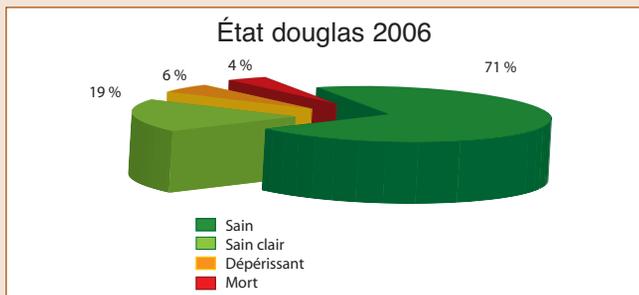
- Le traitement d'images de télédétection.

→ la recherche de lien entre divers facteurs : données météorologiques, facteurs stationnels (notamment l'altitude), espèce forestière, et le dépérissement ; mais seule l'altitude s'est révélée significative.

Un affaiblissement notable des douglas et des épicéas

L'analyse des placettes d'observation de dépérissement, selon la méthodologie du DSE, fait apparaître une évolution défavorable de l'état sanitaire du douglas et de l'épicéa entre 2006 et 2007. Le protocole de suivi annuel pour le douglas, initié en 2005 sur 37 placettes, comprend la notation de 30 arbres en spirale autour du point central. Pour l'épicéa, un cheminement de dix grappes de 5 individus est noté selon 6 critères par parcelle. La constatation de dépérissement d'épicéas dans un peuplement engendre généralement une récolte anticipée.

En effet, le taux d'arbres sains passe entre 2006 et 2007 de 71 % à 62 % en



douglas et de 83 % à 69 % en épicéas. La notation pour l'épicéa prend en compte le facteur parasitaire.

Lors des premières observations (2000-2005), les différents stress thermiques subis entraînent un affaiblissement des arbres. La diminution de vitalité des épicéas était directement liée aux attaques de scolytes : typographe et dendroctone. Cela n'est plus aussi systématique en 2006-2007.

L'analyse des coupes dérogoires, en forêts publiques et privées, permet de quantifier les dépérissements. Le phénomène perdure jusqu'en 2007, sans toutefois retrouver le niveau antérieur proche de zéro, mais s'atténue depuis le pic de 2005 (cf. Figure 1).

Les premières coupes de dépérissements ont été relevées, en 2003 et 2004, dans les peuplements de sapin de Vancouver de l'Aveyron. Elles se sont, ensuite, largement étendues aux futaies d'épicéa commun de la montagne tarnaise. Globalement, les surfaces coupées se sont stabilisées entre 2006 et 2007.

Au total, les surfaces de coupes déclarées liées au dépérissement s'élèvent

à 2 566 ha pour le sapin-épicéa et 480 ha pour le douglas.

Rappelons qu'en forêt privée, cette analyse n'est que la traduction des coupes dérogoires dans les forêts sous Plan simple de gestion.

Il convient d'être conscient que le phénomène est d'une ampleur supérieure, mais non chiffrable par cette méthode, pour les autres forêts privées.

Le traitement d'images-satellites

Pour avoir une vision plus complète et globale (la surface départementale de l'Aveyron est de 8 700 km² et du Tarn 5 700 km²) ne se limitant pas aux sur-

faces coupées, une analyse d'images de télédétection permet d'appréhender plus largement le phénomène, de le localiser et de le quantifier.

Un calibrage a été réalisé à partir des coupes déclarées et la méthode étendue à l'ensemble du territoire forestier.

L'analyse du phénomène par télédétection est basée sur l'exploitation d'une série temporelle d'images satellitaires du capteur Terra MODIS sur la période 2000-2007.

La méthode consiste à localiser les surfaces en résineux présentant une baisse significative d'activité végétale. Pour cela, un indicateur de vigueur de

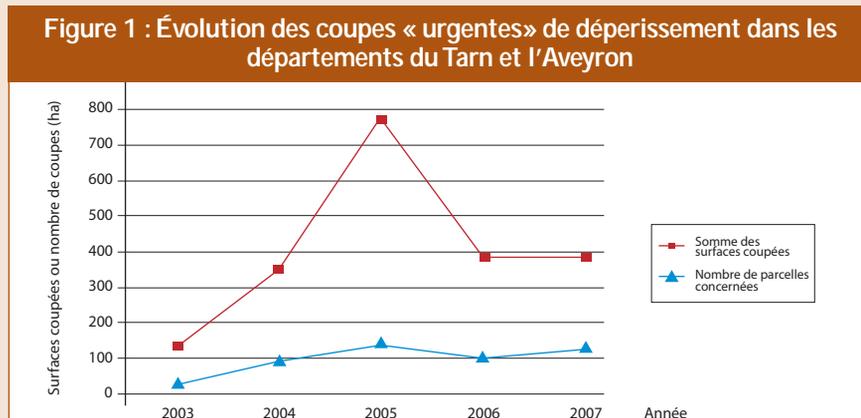
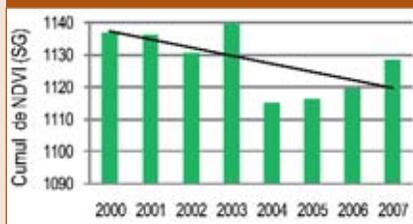


Figure 2 : Variation annuelle de l'indicateur phénologique SG calculé pour l'ensemble des surfaces en résineux



la végétation, traduisant quantitativement l'activité végétale durant la période de croissance printanière, a été calculé pour chacune des années observées. Cet indicateur annuel (SG), correspond au cumul de l'indice de végétation NDVI, traduisant l'intensité de l'activité printanière mesurée d'avril à juin.

Les variations annuelles de SG, illustrées par la figure 2 ci-dessus, ont clairement montré la manifestation d'une perturbation postérieure à 2003. Il apparaît que l'activité végétale printanière de l'ensemble des peuplements

résineux analysé pour l'Aveyron et le Tarn s'effondre en 2004, puis remonte progressivement, sans toutefois atteindre le niveau moyen d'avant 2003.

On peut localiser et cartographier les variations anormales d'activité végétale. Les fortes chutes de l'indicateur annuel de vigueur de végétation mesurées sur la période 2000-2007, et statistiquement significatives, constituent un indicateur de « variation de comportement » nommé RGR2000-2007 (fig. 3 et 4). Par croisement avec des coupes déclarées, des seuils sont définis pour regrouper les valeurs obtenues en classes assimilées à des niveaux de dépérissement ou de comportement de peuplement initialement sain. La nomenclature retenue distingue quatre classes (figure 4, p.35) :

- 1- très forte chute de l'activité végétale, peuplements dépérissants et coupes rases,
- 2- chute importante de l'activité vé-

gétale, peuplements souvent dépérissants et/ou à évolution incertaine,

- 3- faible chute de l'activité végétale, peuplements à évolution incertaine,
- 4- chute très faible, voire augmentation de l'activité végétale, peuplements *a priori* sains.

En 2007, les surfaces de forte baisse d'activité (classes 1 et 2) représentent 29 % des surfaces analysées pour chaque groupe d'essences. Bien que sur l'ensemble des peuplements résineux de la zone d'étude, l'activité végétale globale soit en augmentation depuis 2004, les surfaces dépérissantes ou susceptibles de l'être (classes 1, 2 et 3) ont augmenté entre 2005 et 2007 d'environ 7 %.

L'extrapolation des résultats aux grands types de peuplements IFN fait apparaître que **5 400 ha de douglas et 5 800 ha de sapin-épicéa seraient significativement affectés par la canicule de 2003.**

Figure 3 : Variation de l'indicateur phénologique (indicateur RGR 2000 - 2007) Localisation des tendances significativement négatives

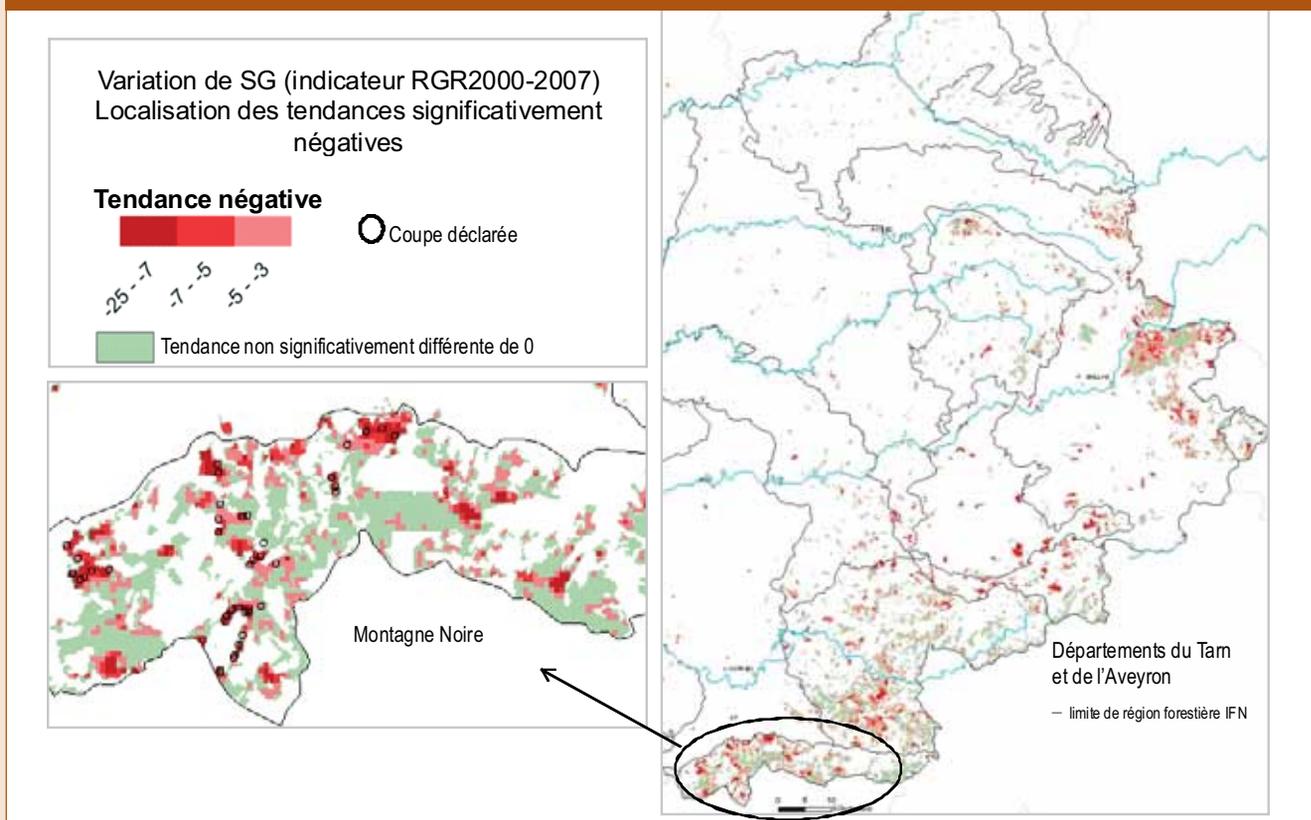
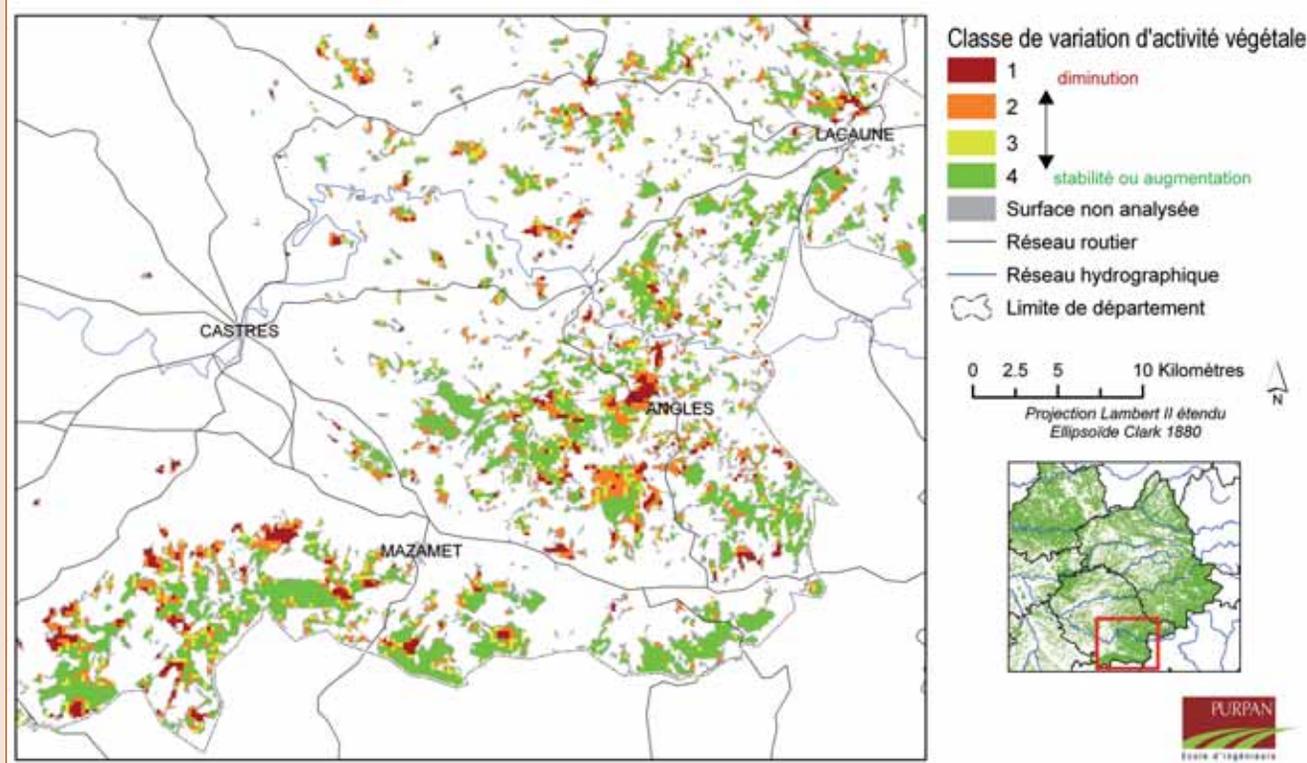


Figure 4 : Variation de l'activité végétale printanière pour les surfaces en résineux entre 2000 et 2007



© CRPF Midi-Pyrénées

La recherche d'un lien avec divers facteurs a permis de retenir **l'altitude** comme le plus significatif.

L'analyse de l'activité végétale printanière a été croisée avec la situation altitudinale de tous les pixels et de toutes leurs notations grâce à un modèle numérique de terrain (MNT).

Douglas

On observe une diminution constante de la surface en baisse d'activité végétale avec l'augmentation de l'altitude. Plus l'altitude s'élève, moins les peuplements dépérissent. (fig. 5a, p.36)

Les pentes de la courbe font ressortir deux seuils : 600 et 750 m.

Pour une altitude inférieure à 600 m, le taux de surface en baisse d'activité végétale est supérieur à 30 %, ce qui rend la sylviculture du douglas très risquée.

Entre 600 et 750 m, le taux est proche de 30 %, il y a lieu d'être prudent.

Au-dessus de 750 m, il descend à 21 % et moins, le risque semble réduit.

Sapin-épicéa

Comme pour le douglas, plus l'altitude s'élève, moins les peuplements dépérissent. (fig. 5b, p. 36)

Les pentes de la courbe font ressortir à nouveau deux seuils, mais légèrement plus élevés : 650 m et 800 m, correspondant toutefois à des pourcentages de dépérissement supérieur à ceux du douglas.

Pour une altitude inférieure à 650 m, le taux de surface en baisse d'activité végétale est supérieur à 40 %, ce qui est réhibitoire pour la sylviculture du sapin-épicéa.

Entre 650 et 800 m, le taux est supérieur à 30 %, la sylviculture du sapin-épicéa semble très risquée.

Au-dessus de 800 m, il descend à moins de 30 %, le risque semble plus acceptable.

Les seuils altitudinaux de risque réduit se déclinent différemment selon le département.

Pour le Tarn, ils sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Pour l'Aveyron, seule l'analyse du douglas est significative : les dépérissements ne diminuent fortement qu'au-delà de 900 m.

Seuils d'altitude permettant la sylviculture du douglas et du sapin-épicéa dans le Tarn

Essence	Monts de Lacaune	Montagne Noire
Douglas	Au dessus de 800 m	Au dessus de 700 m
Sapin-épicéa	Au dessus de 850 m	Au dessus de 750 m

Figure 5a : Répartition des classes d'activité végétale en fonction de l'altitude pour le douglas (ensemble de la zone d'étude)

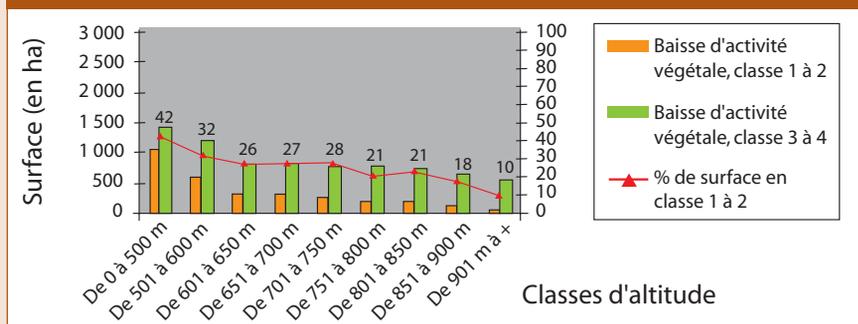
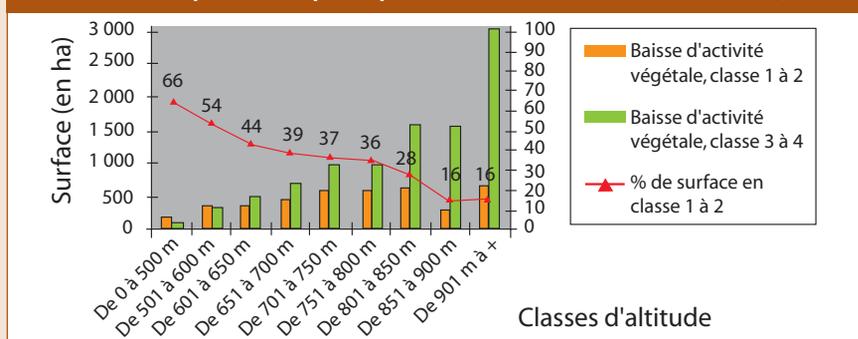


Figure 5b : Répartition des classes d'activité végétale en fonction de l'altitude pour les sapins/épicéas (ensemble de la zone d'étude)



En conclusion

→ Une 2^e phase de l'étude a permis d'intégrer les données de 2006 et 2007 et de conforter les méthodes précédemment mises en œuvre pour la période 2000-2005. Elle fait apparaître un certain nombre d'éléments.

→ L'analyse qualitative des placettes en 2006 et 2007 confirme une augmentation du dépérissement, à la fois pour le douglas et l'épicéa.

→ Les différentes méthodes d'analyse utilisées pour quantifier le dépérissement concourent à indiquer que le phénomène perdure jusqu'en 2007, mais s'atténue depuis le pic de 2005.

→ Les surfaces de coupes de dépérissement se sont stabilisées, entre 2006 et 2007, autour de 390 ha par an. Toutefois, depuis 2005, elles affectent essentiellement les futaies d'épicéa commun de la montagne tarnaise.

→ L'analyse des images de télédétection témoigne du lien entre une forte baisse de l'activité végétale printanière et une observation du dépérissement des douglas et des sapins-épicéas

→ La comparaison des résultats des deux méthodes, télédétection et analyse des coupes, confirme la différence de comportement des groupes d'essences sapin-épicéa et douglas. À partir d'un même stress, le douglas n'évolue pas systématiquement vers un dépérissement, contrairement à une forte proportion des peuplements de sapin-épicéa.

→ L'effet de l'altitude sur les dépérissements est nettement mis en évidence.

Le dépérissement a généré la récolte anticipée de près de 4 000 ha de peuplements résineux (coupes rases et coupes partielles). Les inquiétudes ont été vives concernant l'évolution possible des dépérissements de douglas. Ces craintes ne se sont pas révélées justifiées à ce jour, les conditions climatiques au niveau des températures et des précipitations ont permis une stabilisation des dépérissements, voire une reprise de vigueur des peuplements. Malheureusement, les forestiers n'ont pas eu le loisir de profiter

de cette embellie. Ils sont à présent confrontés à deux crises majeures : la première, climatique, avec la tempête Klaus et la seconde, économique, avec l'effondrement des marchés. Il reste toujours primordial pour le forestier de savoir s'adapter au contexte, qu'il soit du fait de la nature ou des hommes. ■

1) * CRPF Midi-Pyrénées

** Office national des forêts

*** Laboratoire de télédétection,

École d'ingénieurs de Purpan (EIP).

2) Ou image - satellite : image issue de données enregistrées par un capteur du satellite.

Résumé

Dans le Tarn et l'Aveyron, l'étude des dépérissements d'épicéa et douglas précise les différences d'impacts suivant l'essence suite aux événements climatiques de l'été 2003. Une baisse de l'activité végétale printanière est mise en évidence par l'analyse d'images de télédétection. Les peuplements en altitude sont moins sensibles aux dépérissements dus à la canicule.

Mots-clés : Tarn-Aveyron, dépérissement résineux, télédétection.

Bibliographie

■ (3) Chéret V., Denux J.P., Gay M., Thévenet P., et Gacherieu C., 2008. *Utilisation de séries temporelles d'images satellitaires pour cartographier le dépérissement des boisements résineux du Sud Massif Central*, Journées des applications spatiales, CNES, 22-25 avril 2008, Toulouse.

■ (3) CRPF Midi-Pyrénées, ONE, et EI-PURPAN, 2007. *Dépérissement des reboisements du Sud Massif Central — Etat des lieux et propositions d'analyse — Départements de l'Aveyron et du Tarn*, Rapport d'étude, 53 pp., <http://www.crpf-midi-pyrenees.com/vousinformer/publication1-1.htm>.

■ (3) CRPF Midi-Pyrénées, ONE, et EI-PURPAN, 2008. *Dépérissement des reboisements du Sud Massif Central – Etat des lieux et propositions d'analyse, 2^e tranche – Départements de l'Aveyron et du Tarn*, Rapport d'étude, 43 pp. + annexes.

Renouvellement naturel des peuplements de douglas

Henri Joannin et Sophie Farinotti (1)

Dix années de suivis de régénération naturelle en douglas dans le Limousin permettent à la coopérative forestière Unisylva de tirer de précieux enseignements sur le renouvellement de cette essence.



6 ans après la coupe définitive.

© Henri Joannin

Des expérimentations ont facilité la mise en place d'itinéraires techniques de régénération naturelle qui offrent une vraie alternative à la régénération artificielle ou plantation.

Doser la lumière pour assurer la régénération sans explosion de la végétation concurrente

La première règle qui se dégage, et probablement la plus importante, est la conduite des coupes de régénération. En fonction de la station (milieu), il conviendra de doser savamment l'arrivée de la lumière au sol. Cette dernière va conditionner :

- la germination des graines ;
- le développement de la végétation concurrente.

Plus la station sera riche, et plus la coupe d'ensemencement (coupe mettant en lumière le feuillage et répartissant les arbres de façon diffuse sur toute la parcelle) devra être légère (prélèvement 30 à 40 %). Inversement, sur des stations plus pauvres, la coupe d'ensemencement pourra être plus intense (prélèvement 60 %), suivie de la seule coupe définitive (coupe de tous les arbres restants). Dans les deux cas, l'objectif est, indépendamment de la fructification et de la production des cônes qui peuvent être vérifiées avant exploitation, de trouver la juste densité de couvert correspondant au fragile équilibre qui permettra à la lumière d'assurer la germination des

graines au sol, tout en évitant un trop fort développement de la végétation adventice (fougères, ronces, genêts, graminées...) néfaste à l'installation et à la croissance des semis.

Agir rapidement une fois la régénération acquise

Des dégagements manuels, voire chimiques, peuvent malgré tout s'avérer nécessaires.

Dans tous les cas, dès lors que le semis présente une densité suffisante (2 000 à 3 000 semis/ha) et une bonne répartition spatiale, il convient de prévoir rapidement la coupe définitive et ceci pour deux raisons :

- faute de lumière, les semis en place vont assez rapidement s'étioler ;
- les dégâts d'exploitation seront importants sur des semis d'une hauteur supérieure à 1 mètre.

Cette dernière étape est importante et l'exploitation devra être soigneuse et parfaitement maîtrisée.

Par la suite, il conviendra d'abaisser rapidement par dépressages, la densité des semis en visant, dans les 5 ans après la coupe définitive, une densité proche de celle d'une plantation (environ 1 500 plants/ha).

Des observations qui améliorent les conseils

Nos dix années d'observation nous ont permis de vérifier :

- qu'il faut attendre avec patience et sérénité une densité suffisante pour

juger de la réussite de l'opération et poursuivre les interventions. Cette germination peut s'étaler sur environ 6 ans.

→ que la densité des semis est souvent largement suffisante et ceci même si le nombre de semenciers/ha est faible ; une profusion de semis n'est pas à rechercher car elle augmenterait le coût des dépressages ;

→ la hauteur des semis après quelques années varie de 20/30 cm à plus de 1,50 mètre, ce qui peut permettre lors des consignes de dépressage d'amorcer une conduite en futaie irrégulière (arbres issus de semis avec des hauteurs/âges variés se renouvelant en continu).

Le coût d'une régénération naturelle de douglas est inférieur de 30 % par rapport à celui d'une plantation.

La forte densité de semis par rapport à une plantation permet de supporter une pression de gibier plus forte.

Les semis naturels sont mieux adaptés aux conditions stationnelles que des plants.

On peut imaginer dans nos grands massifs résineux (Limousin, Morvan) où le douglas est l'essence phare, une forêt pérenne et continue à l'image des sapinières d'Auvergne et des Vosges ; en quelque sorte une forêt plus naturelle et résistante et surtout plus résiliente face aux changements et accidents climatiques.

(1) Coopérative Forestière Unisylva.

La vie agitée de l'écureuil roux

Philippe Riou-Nivert, IDF

L'apercevoir réjouit nombre de forestiers ! Cet extrait du livre « Les résineux tome II » décrit la vie trépidante de cet hôte de nos forêts et de ses ennemis, espérant vous rendre attentif à sa présence, plus souvent repérable aux résidus de ses festins

A dossé au tronc d'un épicéa de la grande forêt vosgienne, un entrelacs de branchages, de feuilles mortes et de matériaux hétéroclites, dont l'architecture baroque transparaît sous une mince couche de neige, fait la fierté de son propriétaire : c'est la « hotte » de l'écureuil roux, son nid douillet.

Le nid douillet

Cette boule hirsute de 50 cm de diamètre est en effet bien située, calée au creux d'une fourche issue d'un ancien bris de cime, protégée du vent, du soleil et de la pluie par les branches toujours vertes de l'épicéa qui la dissimulent aux regards indiscrets. Il a dû batailler dur pour s'approprier cet ancien nid de corneille noire sur lequel un hibou moyen-duc avait également des visées. Puis il l'a réorganisé à sa façon, ajoutant un toit, des aménagements intérieurs, une entrée dirigée vers le bas et, bien sûr, une issue de secours en cas de visite importune. Il fallait que tout soit prêt pour l'hiver.

En ce petit matin glacial de février, l'écureuil roux, lové dans sa queue en panache, blotti dans son matelas de mousse, de brins de laine, de plumes et d'herbes sèches, sort de ses rêves. C'est l'heure de sa toilette matinale qu'il effectue minutieusement, lissant avec soin son pelage, insistant tout particulièrement sur sa queue, élément clé de son équilibre.

Le jour se lève, il est prêt : il passe par



© Michel Bartoli

l'écureuil roux : Sciurus vulgaris

la fenêtre une petite tête ronde coiffée de deux oreilles dressées, terminées par des pinceaux particulièrement longs en hiver. Il observe, il écoute : rien d'anormal. Il va pouvoir entamer sa journée ; l'écureuil roux est en effet un des seuls mammifères diurnes de la forêt.

Jogging matinal !

Et c'est parti !

Il dévale le tronc à la verticale, tête en bas, oblique soudain à 90° d'un coup de queue sur une branche latérale, se propulse à toute vitesse jusqu'à son extrémité, s'élanche et, après un bond de 5 m, atterrit sur la branche d'un épicéa voisin sur lequel il continue sa cavalcade. On ne sait trop s'il court ou s'il vole !

Stop. Arrêt sur image : il se fige en

pleine course, sans raison apparente, dans la position de la chandelle. Assis sur son derrière, il déploie les vibrisses qui hérissent son museau et différentes parties de son corps, il scrute, tous les sens aux aguets.

Et c'est reparti ! Virevoltant d'une branche à l'autre, il recommence son manège, 10 fois, 20 fois.

Après cette petite séance d'échauffement matinal, rassuré sur ses capacités, en parfaite harmonie avec la nature qui l'entoure, il arrive au sol. Il va maintenant devoir passer à l'activité qui occupe tout écureuil de l'aube au crépuscule : se nourrir. Car pour pouvoir déployer autant d'énergie, il faut du carburant : des graines, toutes sortes de graines.

Au restaurant

L'hiver, la vie est dure ; la nourriture est rare et beaucoup d'animaux doivent hiberner : ils s'engraissent à l'automne et entrent en vie ralentie pendant plusieurs mois. Pas l'écureuil : la mauvaise saison ne l'effraie pas ; ses techniques de survie sont au point.

Il dispose tout d'abord d'une réserve de cônes quasi inépuisable (du moins les bonnes années de fructification) dans son grand épicéa qui lui fournit le gîte et le couvert, et dans les pins alentour. Et puis il a ses propres réserves de glands, de fâines et de noisettes, accumulées frénétiquement à l'automne un peu partout : entre les racines, au creux des vieilles souches, au cœur des buissons, dans des caches

soigneusement recouvertes de terre et de feuilles. Aussitôt cachées, aussitôt oubliées ! Car l'écureuil est étourdi. Mais il y en a tellement sur son territoire qu'en grattant de ci de là, il finit toujours par en retrouver quelques unes. Et puis, en mycologue averti, il sait dénicher les ultimes champignons résistant encore aux frimas de novembre, et découvrir ensuite, dès la fin février, sous les grands sapins, les chapeaux gris de l'hygrophore de mars qui pointent déjà sous la neige. Après s'être désaltéré de quelques bouchées de neige prélevées sur les petits monticules provenant du déchargement des épicéas, il s'installe sur un chablis de bouleau, au bord d'une clairière d'où il peut surveiller les environs, adossé à un grand sapin. Il réunit quelques cônes de pin et d'épicéa et commence sa corvée de décorticage. Il attaque le premier cône par la base, enlevant à l'aide de ses incisives et de ses doigts agiles les écailles une à une, à une vitesse impressionnante. À l'aisselle de chaque écaille, il sait trouver deux petites graines qui sont avalées prestement avec des « tyouk, tyouk » de satisfaction. Il peut éplucher ainsi jusqu'à 150 cônes par jour sans faiblir. Le tronc est bientôt jonché de détritrus.

L'autour

Soudain, alerte ! Une série de « kré-kré-kré » sonores vient de retentir. C'est le cassenoix moucheté ⁽¹⁾, la sentinelle de la pessière, qui a repéré un intrus. Sans réfléchir, dans la seconde qui suit, l'écureuil se retourne, bondit sur le sapin qu'il avait prévu comme échelle de secours et l'escalade prestement. À peine a-t-il eu le temps de sentir le souffle d'un battement d'ailes, qu'il est à l'abri dans la ramure. La solidarité des pilleurs de cônes et des videurs de noisettes a joué une fois encore. Grâce au cassenoix, il vient in extremis d'éviter le piqué silencieux d'un autour des

palombes en maraude.

Comme son nom ne l'indique pas, l'autour apprécie aussi les écureuils ! Déçu, il s'éloigne en zigzaguant entre les troncs avec une habileté surprenante. Mais le grand rapace à l'habit rayé n'est pas inquiet. Sa journée commence à peine et il trouvera bien un passereau qu'il saura attraper en plein vol selon sa technique personnelle, curieuse mais efficace : en l'attaquant par-dessous, se retournant sur le dos au dernier moment pour l'agripper dans ses serres.

L'écureuil, dont le cœur était passé de 300 à 600 pulsations à la minute, respire. Pas pour longtemps ! Le sapin était une bonne idée pour échapper à l'autour mais pas à la martre, avec laquelle il se retrouve soudain nez à nez...

Poursuite dans les cimes

La martre ! Son ennemie jurée, la terreur des écureuils. Elle était là, tapie sur une branche depuis un moment, à observer sa proie qui vient opportunément de lui faciliter la tâche.

Elle bondit. Mais l'écureuil est plus rapide. C'est à nouveau une course effrénée et, cette fois, ce n'est plus un jeu. La petite boule de poil rousse montée sur ressort rebondit de branche en branche, suivie comme son ombre par une bête brune cinq fois plus grosse qu'elle. Le rongeur n'a pas le temps de se retourner pour évaluer la distance qui le sépare du museau pointu aux crocs acérés, surmonté de grandes oreilles bordées de blanc. Plus rapide qu'un lynx, plus leste qu'un chat sauvage, la martre rivalise d'agilité avec l'écureuil.

Ce dernier passe sur un hêtre défeuillé mais s'y sent trop visible et, d'un bond, rejoint le couvert protecteur d'un épicéa. La martre ne le lâche pas. Il se propulse toujours plus haut, toujours plus loin, sur des rameaux de plus en plus fins. C'est sa seule chance,

la martre est trop lourde, elle ne pourra pas le suivre. Mais y arrivera-t-il à temps ? Pas sûr. Alors il joue sa dernière carte et se jette dans le vide...

Les rameaux en draperie de l'épicéa, comme autant de glissières, ralentissent sa chute ; sa queue en panache lui sert de parachute. Un écureuil, comme un chat, retombe toujours sur ses pattes : 20 mètres plus bas, il rebondit comme une petite balle élastique sur un tapis de mousse et d'aiguilles sèches qui amortit le choc. Rien de cassé. Un dixième de seconde plus tard, il s'est ressaisi et a filé à l'abri des fourrés.

La martre

La martre a observé la dégringolade depuis la cime de l'arbre. Avec un feulement de rage, elle voit sa proie lui échapper...

Animal nocturne, elle a erré toute la nuit à la recherche de nourriture, parcourant plus de quinze kilomètres en marquant régulièrement son territoire de ses glandes abdominales : en vain, pas le moindre mulot.

Car si la martre est à 80 % végétarienne l'été, se gavant de baies et de fruits divers, elle est à 80 % carnassière l'hiver. Elle ne fait pas de réserves, contrairement à l'écureuil, et doit donc chasser chaque jour tout ce qui se présente, avec une prédilection pour les petits rongeurs. L'hiver n'est pas une bonne saison pour les martres.

Famélique et épuisée, elle croyait pourtant être récompensée ce matin. Mais, alors que la nuit elle a le gros avantage d'y voir parfaitement, en plein jour, à armes égales avec un écureuil frais et dispos, ses chances sont minimes. Elle devra regagner le ventre creux un de ses nombreux gîtes : une ancienne loge de pic noir. La nuit prochaine, elle reprendra sa traque. Peut-être débusquera-t-elle un lérot ou un muscardin en hibernation dans son petit nid de mousse, qu'elle n'aura

aucun mal à attraper? Ou bien elle déclèra sous la neige l'entrée du terrier d'un campagnol roussâtre, à moins qu'elle ne découvre la hotte d'un autre écureuil, moins en forme que celui-ci...

Épilogue

La martre est le principal régulateur des populations d'écureuils. Longtemps classée nuisible, elle fut persécutée par les chasseurs. Une prime conséquente était offerte pour sa destruction et son pelage sombre faisait la joie des fourreurs : une peau de martre équivalait à un mois de salaire d'un ouvrier. Des dizaines de milliers de martres furent massacrées. Dans les années cinquante, l'espèce faillit disparaître.

À la grande joie des écureuils? Eh bien non! Au même moment, ceux-ci contractèrent une terrible épidémie d'origine encore inconnue, qui ne fut

pas contrôlée par l'élimination des maladies. Ils moururent par milliers. Les écureuils faillirent à leur tour disparaître!

L'écureuil, qui fut également en son temps, comme beaucoup de rongeurs, déclaré nuisible, est maintenant protégé, de même que l'autour et tous les rapaces. La martre, toujours chassable, avait été rayée de la liste des nuisibles en 2002 ou elle figurait d'ailleurs sans raison vraiment valable. Aujourd'hui, elle est à nouveau susceptible d'y être rajoutée chaque année par le préfet de chaque département (Arrêté du 18 mars 2009). Cependant, depuis les années quatre-vingt, la fourrure de sauvagine n'est plus à la mode...

Les conditions semblent donc réunies pour qu'un équilibre plus naturel règne au sein du petit monde agité des martres et des écureuils. ■



la martre des pins.

© Michel Bartoli

Pour en savoir plus :

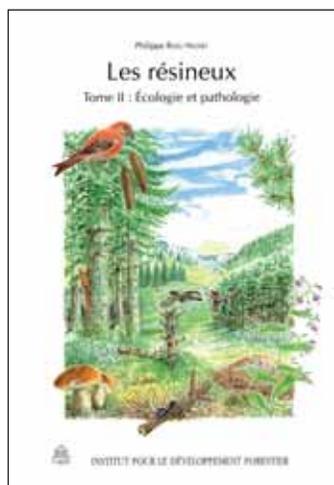
La Hulotte, 1976a, Le nain jaune, n° 36-37, p 30-62.

La Hulotte, 1979, La martre, n° 44, p 26-33.

Arnould M., 2003b, Le lutin méconnu, Forêts magazine n°3, p. 56-61.

Noblet J.-E., 2002, La martre, Eveil nature, 72 p.

(1) *Nucifraga caryocatactes, corvidé forestier.*



Réf. : ID066

Les résineux tome II : Écologie et pathologie

Ph. Riou-Nivert

Au travers d'un texte clair, émaillé de multiples anecdotes et portraits et d'une iconographie exceptionnelle (plus de 500 illustrations en couleur et dessins au trait), le grand public découvrira le vrai visage des résineux. Le naturaliste retrouvera des espèces animales ou végétales souvent emblématiques et attachantes. Le chercheur appréciera une synthèse des travaux les plus récents touchant à l'écologie. Le forestier, enfin, disposera de toutes les informations nécessaires pour intégrer les paramètres écologiques dans une gestion durable. 448 pages, format 16 x 24 cm.

45 € + Frais d'envoi (1 ou 2 ex. : 7 €)

Disponible à la librairie de l'IDF, 23 avenue Bosquet, Paris 75007, tél. : 01 40 62 22 81, idf-librairie@cnppf.fr, www.foretpriveefrancaise.com

Chèque à l'ordre de « Agent comptable SUF IDF »

Évaluation des dégâts de la tempête Klaus dans les peuplements de pin maritime

Stéphanie Lucas (1)

L'évaluation des dégâts de la tempête Klaus du 24 janvier 2009 a été réalisée par l'IFN sous deux formes différentes : statistique et cartographique. Ces deux approches et leurs principaux résultats pour les peuplements de pin maritime sont détaillés dans cet article.

Au lendemain de la tempête Klaus qui a principalement touché le sud-ouest de la France, l'Inventaire forestier national s'est vu confier par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche la mission d'évaluer les dégâts occasionnés. Le plan d'échantillonnage systématique annuel sur l'ensemble du territoire adopté fin 2004, une forte mobilisation du personnel et une chaîne performante du traitement de l'information ⁽²⁾ ont permis de fournir en quelques semaines des résultats statistiques détaillés en particulier pour le pin maritime. Les actions de recherche-développement de l'établissement dans le domaine de la télédétection forestière ont également porté leurs fruits avec la production en quelques semaines d'une cartographie des dégâts sur le massif landais.

Évaluation statistique des dégâts : méthode, protocole et organisation

Fin 2004, l'adoption par l'IFN d'un nouveau plan d'échantillonnage avait notamment pour objectif de permettre une évaluation rapide des dégâts en cas d'évènement majeur. Le même nombre de points est inventorié chaque année (environ 7 000 dans les forêts de production), cependant ces points ne sont plus concentrés dans une petite dizaine de départe-

ments comme précédemment mais répartis sur l'ensemble du territoire métropolitain. C'est pourquoi l'IFN en janvier 2009 disposait sur les 13 départements potentiellement les plus touchés d'informations sur près de 3 800 points datant des campagnes 2005, 2006, 2007 et 2008.

Sur ces 3 800 points, environ 400 points n'ont pas fait l'objet d'estimations de dégâts car ils ne présentaient pas de « volume exposé » au sens IFN, c'est-à-dire qu'ils ne comportaient aucun arbre recensable (jeunes peuplements, coupe rase, etc.).

Pour les points restants, un protocole a été défini en quelques jours et les ordinateurs de poche ont été programmés pour recueillir les informations spécifiques nécessaires. Quarante équipes de terrain ont ainsi pu retourner très rapidement sur près de 3 000 points après une journée à Bordeaux visant à dispenser les instructions nécessaires sur ce protocole particulier et à parfaire la logistique (voir photo ci-contre). Ainsi, du 29 janvier au 13 février, les équipes sont retournées sur 3 026 points où elles ont noté pour chaque placette une classe de dégât (0 à 20 % ; 20 à 40 % ; 40 à 60 % ; plus de 60 %). Par ailleurs, pour chaque arbre recensé lors des campagnes précédentes, les informations suivantes ont été notées :

– arbre présent ou non au moment de

la tempête :

- si présent, arbre affecté ou non par la tempête ;
- si arbre affecté, notation du type de dégât.

Pour les zones les plus touchées ou en montagne, il n'était pas certain qu'un accès terrestre sécurisé soit possible. C'est pourquoi, sur ces zones, l'appréciation des dégâts a été réalisée par interprétation de photographies aériennes prises à basse altitude à la verticale des points d'inventaire (photo ci-dessous).



Observation des dégâts de tempête sur une placette d'inventaire.



Photographie aérienne à la verticale d'un point d'inventaire.

36,2 millions de mètres cubes de dégâts pour le pin maritime

De quoi parle-t-on ?

Les peuplements de pin maritime

Dans cet article, seuls les peuplements de la zone évaluée où le pin maritime est l'essence principale sont pris en compte. C'est-à-dire les points d'inventaire pour lesquels le pin maritime est l'essence au plus fort taux de couvert libre relatif.

Le volume sur pied

Les arbres considérés sont les arbres de diamètre supérieur à 7,5 cm à 1,30 m situés dans les forêts dont une des fonctions est la production de bois. Ainsi, pour les arbres mentionnés précédemment, le volume pris en compte comprend le tronc du sol jusqu'à une découpe fin bout de 7 cm appelé également « volume bois fort IFN ». Il inclut une branche maîtresse et l'écorce.

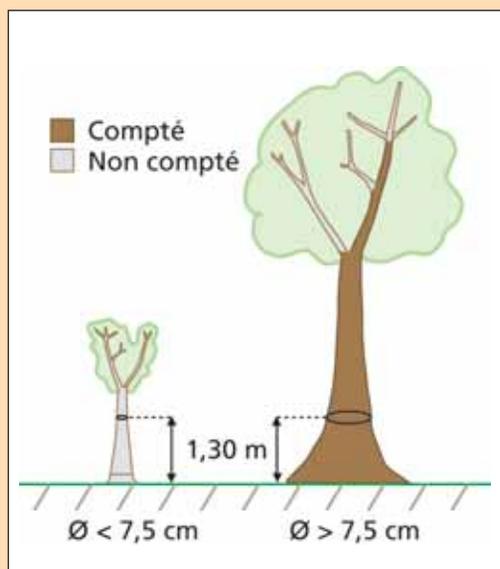


Schéma du volume sur pied.

Deux-tiers de la superficie des peuplements de pin maritime touchés

Dans la zone évaluée, le pin maritime est considéré comme essence princi-

pale sur environ 785 000 ha dont 125 000 ha de peuplements non recensables (jeunes peuplements, coupes rases). Près de 500 000 ha, soit près des deux-tiers de la superfi-

cie où le pin maritime est essence principale, ont été affectés par la tempête. Parmi les peuplements atteints, 200 000 ha ont été sinistrés à plus de 40 % dont environ 150 000 ha à plus de 60 % (tableau 1).

Tableau 1 : Superficie touchée, dans les peuplements de pin maritime, en milliers d'hectares, par classe de dégât et par département

Superficie de pin maritime	Zone évaluée	%	dont Landes	dont Gironde
Total	785	100	421	307
Non recensable	125	16	53	58
recensable	660	84	368	249
Aucun dégât	188	28	107	157
Moins de 20%	194	28	103	149
20 à 40 %	98	14	59	
40 à 60 %	55	8	32	
Plus de 60 %	147	22	118	

Tableau 2 : Volume touché en pin maritime par classe de dégât et volume sain associé dans les peuplements de pin maritime

Classe de dégât	Aucun dégât	Moins de 20 %	20 à 40 %	40 à 60 %	Plus de 60 %	Total
millions de m³						
Volume total de dégât	0	3,4	5,2	4,6	23	36,2
Volume sain lié	28,8	26,9	11,1	5,3	7,0	79
Volume total avant tempête	28,8	30,2	16,2	9,9	23	115,2
Ratio dégât	0%	11 %	32 %	46 %	77 %	31 %

Près de deux-tiers des dégâts dans les peuplements fortement touchés

Le volume total sur pied dans les peuplements de pin maritime de la zone évaluée était de 119 millions de mètres cubes (Mm³) avant tempête dont 115 Mm³ de pin maritime. La tempête a affecté 36,7 Mm³ dont 36,2 Mm³ (99 %) de pin maritime (tableau 2).

Les volumes de dégât se concentrent dans les peuplements de pin maritime les plus touchés : 63 % du volume de dégât se situe dans les peuplements à taux de dégât supérieur à 60 % (23 Mm³). Pour ceux-ci, le volume des arbres non touchés par la tempête est peut-être à considérer ; ce volume dit « sain lié » y est estimé à 7 Mm³.

Un volume de volis non négligeable

Sur les 36,2 Mm³ de dégâts en pin maritime dans les peuplements de cette essence, l'IFN a pu identifier le type de dégât sur 32,0 Mm³. Les dégâts non déterminés (9 %) concernent des points pour lesquels l'observation sur les arbres n'a pu être réalisée. Pour 62 % du volume affecté, il s'agit de chablis (22,4 Mm³), pour 14 % de volis (5,2 Mm³) et pour le solde d'autres dégâts. Le type de dégât semble varier avec l'intensité de ceux-ci : la part de volume de chablis dans le volume total de dégât est d'autant plus élevée que le taux de dégât est important (*figure 3*).

Des classes de dimension affectées dans les mêmes proportions

Sur les 36,2 millions de mètres cubes de dégâts, 4,4 Mm³ proviennent de petits bois ⁽³⁾, 14,9 Mm³ de bois moyens et 16,9 Mm³ de gros et très gros bois. Ceci représente pour chacune de ces classes de dimension de 27 % à 33 % du volume initial sur pied. Ainsi, toutes les classes de dimension ont été affectées de façon similaire même si en valeur absolue la moitié des dégâts se situe dans les gros et très gros bois (*figure 4*). Autre constatation : la part de chablis dans le volume de dégât augmente avec la dimension des bois (*figure 5*).

Figure 4 : Volume par dimension des bois et par classe de dégât dans les peuplements de pin maritime

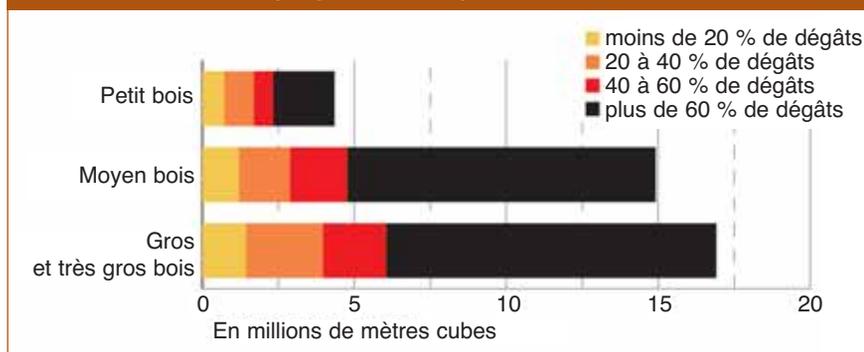
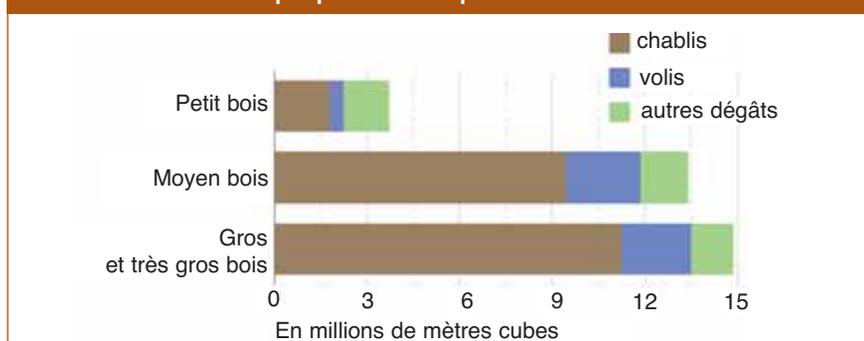


Figure 5 : Volume par dimension des bois et par type de dégât dans les peuplements de pin maritime



En effet, les chablis représentent 41 % du volume de dégât pour les petits bois mais deux-tiers de celui-ci pour les gros et très gros bois.

Une cartographie des dégâts au 1/50 000 pour les peuplements de pin maritime

Le fruit de plusieurs années de recherche-développement

Dès les tempêtes de 1999, l'IFN avait envisagé la cartographie des dégâts par télédétection. Celle-ci a pu être réalisée sur le massif landais qui béné-

ficiait de conditions favorables (terrain peu accidenté, peuplements monospécifiques). À partir de 2002, dans le cadre du programme « Forêt, Vent et Risques » du GIP Écofor, l'IFN, le Cemagref et le Centre d'études spatiales de la biosphère (CESBIO) ont travaillé à nouveau sur les possibilités de la cartographie des dégâts de tempête par télédétection satellitaire. Une nouvelle méthode a été mise en place et validée dans des conditions de milieux variés en tenant mieux compte des dégâts diffus qui posaient problème en 1999. Pour se faire, la méthode proposée associe la détection des changements avec une étape de segmentation automatique d'image, c'est-à-dire la délimitation de zones homogènes au sein de l'image du point de vue de la radiométrie et de la texture (*figure 6*). La combinaison des deux couches obtenues permet de produire une carte des intensités de dégâts. Les cartes produites par cette méthode ont une

Figure 3 : Volume par type de dégât et par classe de dégât dans les peuplements de pin maritime

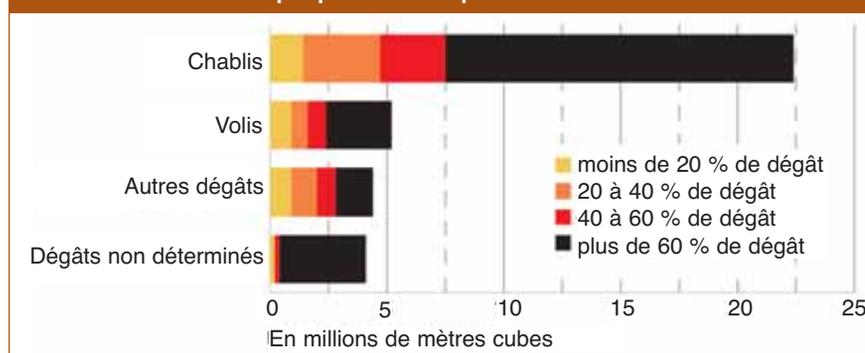
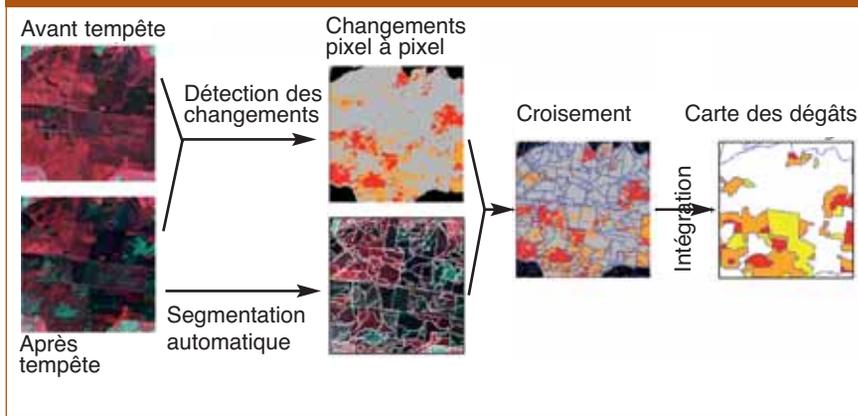


Figure 6 : Schéma du processus d'élaboration de la carte



surface minimale de représentation d'un hectare et quatre à cinq classes de dégâts.

Dans le cas présent, l'IFN s'est associé avec le Cemagref (UMR Tetis) pour les traitements automatiques de détection des changements et de segmentation automatique. L'étape de croisement, d'intégration d'information et une part d'interprétation, ayant notamment pour but d'éliminer certaine confusion avec des coupes rases antérieures à la tempête, a été réalisée par les photo-interprètes de l'IFN, aguerris à la cartographie à partir d'images infrarouges et connaissant très bien le milieu forestier landais.

La carte réalisée a ensuite été contrôlée à l'aide des informations collectées pour l'évaluation statistique entre le 29 janvier et le 13 février sur les placettes IFN (opérations de terrain, photographies aériennes localisées).

L'utilisation d'images SPOT

Dans le cadre d'un accord CNES-SPOT Image offrant des conditions préférentielles de mise à disposition aux institutionnels français dans un périmètre d'activité non marchande, quatorze clichés d'hiver de période comparable entre 2008 et 2009, avec le moins de nuages possibles, ont été

acquis (figure 7). Il s'agit d'images multispectrales (incluant un canal infrarouge) correspondant à des emprises de 60 km x 60 km, issues à la fois des satellites SPOT2 (clichés avant tempête) et SPOT4, SPOT5 (clichés après tempête). Leur résolution est de 10 à 20 mètres.

Les images d'hiver ne permettent d'appliquer la méthode de détection que sur les peuplements de conifères et en terrain plat. Aussi, seule la forêt présentant des peuplements de pins maritimes dans la zone évaluée a fait l'objet de détection de dégâts.

Figure 7 : Deux images SPOT de la même zone avant et après tempête



Avant (Image SPOT2 2008).



Après (Image SPOT5 2009).

Le 1/50 000 : la bonne échelle d'utilisation

Sur la carte obtenue, la surface de la plus petite unité cartographiée (seuil de description) est de un hectare (figure 9). La précision planimétrique de positionnement des tracés est de l'ordre de 30 mètres et l'échelle d'utilisation maximale préconisée est le 1/50 000. Une localisation et une spatialisation des dégâts à cette échelle sont alors permises et contribuent à la gestion de l'après-tempête au niveau du massif forestier (desserte DFCl, détermination de zones de stockage, etc.).

C'est pourquoi l'IFN a souhaité rendre cette couche d'information facilement utilisable. Sans connaissance particulière, toute personne peut visualiser cette couche cartographique sur le site Internet de l'IFN (figure 8) en y faisant apparaître d'autres informations (types de peuplements, FranceRaster®, Scan25®, etc.). Il peut également intégrer gratuitement cette couche cartographique à son système d'information géographique par simple demande auprès de l'IFN.

Deux approches avec des résultats convergents

Conduites de manière parallèle, les approches statistiques et cartographiques sur l'évaluation des superficies touchées, montrent des résultats tout à fait convergents même si elles se focalisent chacune sur des réalités légèrement différentes (tableau p.45). Les atouts et les limites de chacune des deux méthodes employées que ce soit en termes de coût, de rapidité d'obtention, de synthèse de situation ou de pouvoir de localisation sont donc à considérer selon l'acteur et la problématique en jeu afin de mettre à profit la solution la plus adéquate.

Figure 8 : La cartographie des dégâts est consultable sur le site Internet de l'IFN

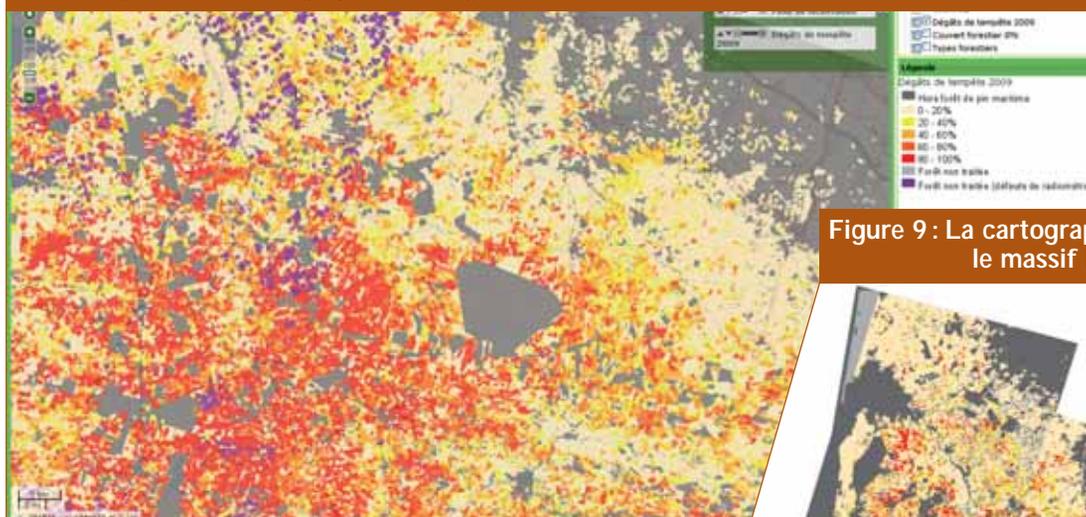
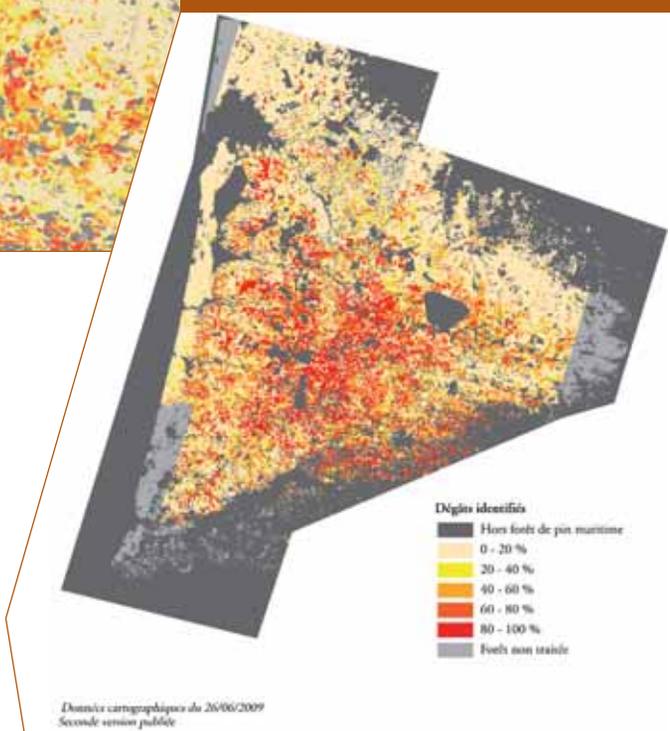


Figure 9 : La cartographie des dégâts sur le massif landais



Résumé

Au lendemain de la tempête Klaus, l'IFN a évalué les dégâts occasionnés selon deux méthodes distinctes. Un nouveau passage sur plus de 3 000 points inventoriés les années précédentes a permis de fournir en quelques semaines des statistiques précises. Le recours à la comparaison automatique d'images satellites *ante et post* tempête a pour sa part conduit à une carte des dégâts sur le massif landais. Cet article présente les principaux résultats issus de ces deux approches pour les peuplements de pin maritime.

Mots-clés : tempête Klaus, Inventaire forestier national, estimation des dégâts, télédétection, statistique.

(1) *Stéphanie Lucas*,
Inventaire Forestier National
Château des Barres
45 290 Nogent sur Vernisson
courriel : stephanie.lucas@ifn.fr
site Web : www.ifn.fr

(2) cf. « De la forêt au site Internet : la chaîne de l'information de l'IFN » dans *Forêt-entreprise* n° 186, mai 2009, p 39 à 41.

(3) *Petit bois :* diamètre à 1,30 m de 7,5 à 22 cm.

Bois moyen : diamètre à 1,30 m de 22,5 à 37,5 cm.

Gros et très gros bois : diamètre à 1,30 m > 37,5 cm.

Tableau 3 : Bilan comparé de résultats de surface de dégâts évalués indépendamment, soit de manière statistique, soit de manière cartographique

Surfaces (ha)	Approche statistique	Approche cartographique
Surfaces d'application	785 000 ha	783 739 ha
	Surface où le pin maritime est l'essence principale dans la zone d'évaluation terrain des dégâts de la tempête Klaus	surface des peuplements de pins maritimes dans l'emprise de scènes SPOT qui ont pu faire l'objet d'un traitement
Absence de dégâts	188 000	480 825
Moins de 20%	194 000	76 301
20 à 40 %	98 000	64 682
40 à 60 %	55 000	161 931
60 % à 100%	147 000	302 914
Total dégâts supérieur à 20 %	300 000	226 614
Total dégâts supérieur à 40 %	202 000	

Bibliographie

- **Le site de l'IFN :** www.ifn.fr
- **IFN, 2009.** *Tempête Klaus du 24 janvier 2009*, L'IF, n° 21, 12 p
- **Costa S., Lecocq M., Drouineau S., Peyron J.-L., 2009.** *Évaluation du préjudice monétaire subi par les propriétaires forestiers suite à la tempête Klaus pour le pin maritime*, Revue Forestière française, à paraître.
- **IFN, 2003.** *Les tempêtes de décembre 1999*. Bilan national et enseignements, L'IF, n° 2, 8 p.



En dossier tempête : infos, conseils, revue de presse sur le site www.foretpriveefrancaise.com

Vers une sylviculture économe

Laurent Dupayage, Cofnor (1)

Le Cefop du Nord a orienté sa thématique de travail depuis plusieurs années sur le thème : « Plantation et régénération – constitution, entretien et suivi » avec comme fil conducteur la réduction des coûts. L'objectif est d'établir une liste de recommandations pour les propriétaires leur permettant d'appliquer une sylviculture économe.

Généralement la sylviculture pratiquée oriente les peuplements vers des structures à tendance irrégulière par bouquets ou parquets de 0,5 à 2 ha. Ceci tient à la diversité d'essences des forêts feuillues du département, aux modes de commercialisation, aux techniques sylvicoles vulgarisées.

Les grandes coupes de régénération sont peu fréquentes, le renouvellement se réalisant plutôt par trouées ou parquets inférieurs à 2 ha.

Différentes étapes sont identifiées, avec une attention particulière à la réduction des coûts.

La planification

L'organisation du renouvellement est importante afin de s'assurer que les moyens sont ou seront présents au moment opportun. Lorsque le renouvellement est engagé, temporiser est difficile, et revenir en arrière impossible ; nous avons pu constater quelques échecs, faute de moyens mis en œuvre.

Prévoir les étapes permet d'anticiper les travaux nécessaires.

• **Mise en vente** : la commercialisation des grumes n'a pas été relevée comme un frein, dans la mesure où le prix souhaité par le propriétaire s'accorde au prix du marché. Il importe d'être réactif aux marchés et savoir renouveler les essences qui ont le vent

en poupe. On a constaté depuis 10 ans certains marchés s'envoler et parfois s'effondrer brutalement (Hêtre, Erable,...).

La commercialisation du bois de chauffage peut être un frein. La forte demande actuelle devrait le lever. Avant le renouvellement, il convient de déterminer le nombre de stères de tailis à couper pour mettre en lumière les semis ou les plants et de s'assurer de la main d'œuvre et du débouché.

• **L'organisation du chantier d'exploitation** : le renouvellement ne débute pas lorsqu'on plante ou à l'apparition du premier semis mais bien avant.

Lors des dernières récoltes de gros bois, il conviendra :

- de mettre en place **les cloisonnements d'exploitation** (s'ils n'existent pas déjà).

- de s'assurer de la qualité de l'exploitation. Le tassement des sols (apparition de jonc), même léger, est un facteur d'échec important et de retard de croissance pour les plants et semis.

- de doser judicieusement la lumière amenée au sol. Trop de lumière engendre une explosion de la végétation (ronce, fougère,...), pas assez condamne les plants ou semis. C'est souvent le cas dans les trouées trop petites où s'étiolent des plants de 3-4 ans.

En ce sens, les trouées d'au moins 0,5 ha et les bandes de deux fois la hauteur du peuplement présentent les meilleurs résultats. Les trouées inférieures à 20 ares ne doivent pas être reboisées. Il est impératif de ne laisser aucun arbre dans les trouées à régénérer.

L'orientation la plus favorable vis-à-vis de la concurrence lumineuse (ombre et coup de soleil) est Est/Ouest.

Le diagnostic

Il est préalable à toute intervention et malheureusement pas assez souvent réalisé. Il doit permettre :

- de déterminer l'adéquation sol/essences. Quelques sondages à la tarière sont nécessaires ainsi que l'identification des semenciers potentiels et de leur position par rapport aux vents dominants.

- d'anticiper la colonisation naturelle du milieu sur les trois à cinq années suivantes. Ceci requiert une bonne expérience et connaissance du massif. Dans le doute, il vaut toujours mieux attendre et voir ce qu'offre la nature. Dans la majorité des cas, dans un délai de 1 à 3 ans après l'exploitation, le développement de semis de qualité, en quantité et répartition variable est constaté.

- d'apprécier la pression du gibier et

les dégâts qu'il occasionnera.

- d'estimer l'aptitude du sol à produire. En présence d'un sol tassé et d'une remontée du plan d'eau, il est préférable de ne rien entreprendre durant quelques années.

Ce diagnostic devra être révisé chaque année dans le cas d'une mise en attente de régénération.

Les moyens nécessaires

L'inventaire des moyens à mettre en œuvre pour renouveler le peuplement permet d'éviter des échecs.

Il s'agit des moyens humains (travail personnel ou du garde), chiffrables en nombre de journées, et de moyens financiers pour les travaux d'entreprise. Le bilan des coûts (constitution et entretien sur 15 ans) des réalisations visitées par le CETEF place la moyenne à 4 500 €/ha avec des extrêmes allant de 2 000 €/ha à 7 000 €/ha.

Il est devenu nécessaire de raisonner

la reconstitution d'un peuplement pour en maîtriser le coût attendu vers un chiffre de 3 000 €/ha.

La plantation

• Densité de plantation :

Sur 90 % des stations visitées, le Cetef constate que trop de plants sont plantés, les densités variant en général de 600 à 1 200 tiges par hectare.

En effet, dès la 5^e année, on observe un excédent de tiges de qualité (naturelles ou plantées). Il semble difficile de définir l'année de l'exploitation la « juste » densité de plantation. Il est préférable d'attendre 2 à 3 ans l'apparition des semis et du recru pour prendre une décision.

Dans tous les cas, une densité maximale de plantation de 500 tiges par hectare semble suffisante, en présence d'un **recru ligneux** ; souvent 200 à 400 plants de bonne qualité suffisent.

Les principaux facteurs permettant de réduire la densité sont :

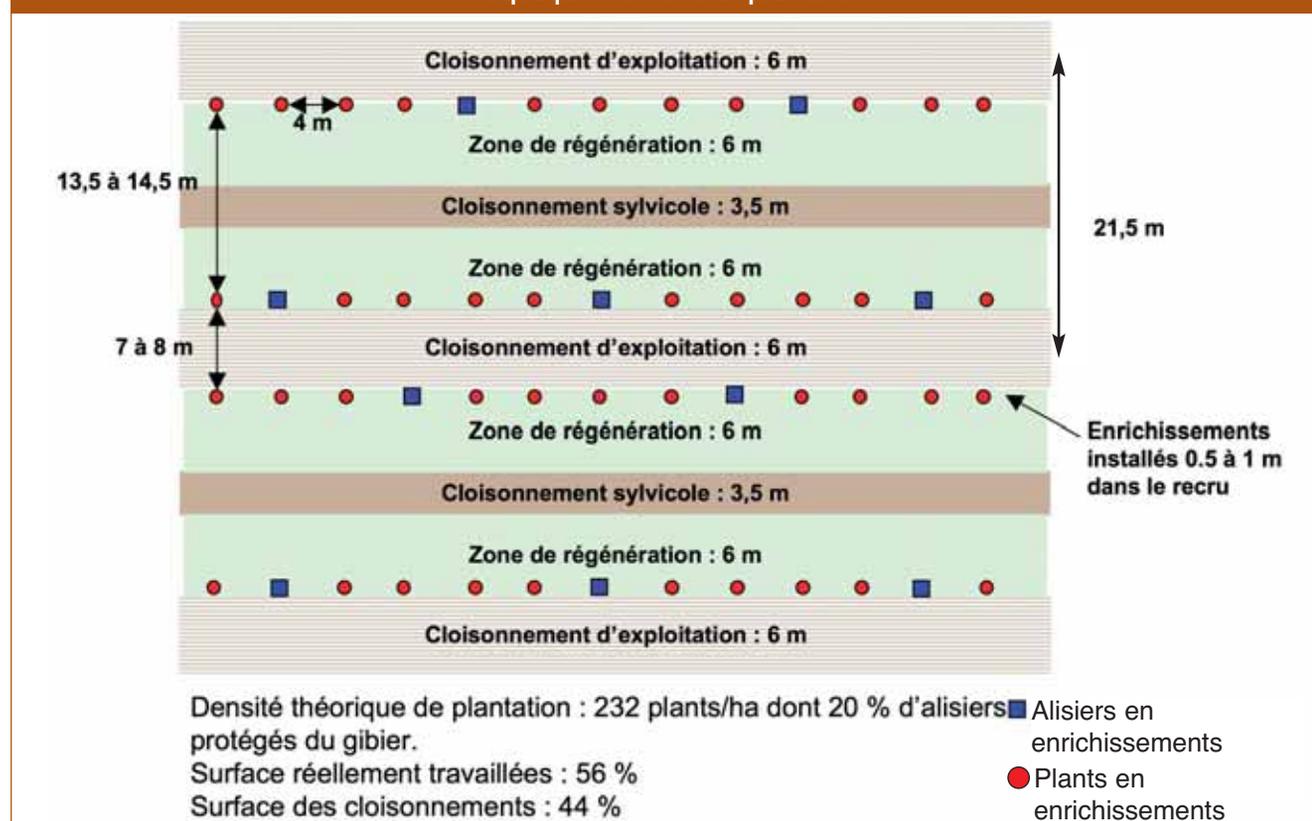
- une ambiance forestière : respect de la surface et de l'ensoleillement des trouées.
- l'accompagnement d'un recru : naturellement après quelques années, il est toujours présent.
- l'équilibre sylvo-cynégétique : par la gestion des populations mais aussi l'augmentation des zones d'accueil.
- la qualité génétique des plants.

• Dispositif de plantation :

Les essais étudiés cherchent à concentrer les plants sur la ligne pour réduire les coûts de dégagement en les espaçant de 3 à 5 m, et en augmentant la largeur entre les lignes. Elle varie de 6 m à 12 m soit 1/2 à 1 fois l'espace définitif.

Lorsque la régénération est correcte, l'enrichissement peut être réalisé sur deux lignes de part et d'autre des cloisonnements d'exploitation (en général espacés de 20 à 25 m).

Graphique 1 : schéma de plantation



On recherche la régénération naturelle en interbandes larges, non plantées, et la plantation d'enrichissement en bordure de cloisonnement.

Dans tous les cas, l'espacement entre les lignes permettra le passage de broyeur soit au moins 3,5 m. Les souches devront être parfaitement arasées.

(Voir le schéma de plantation, p.47)

Il faut également prévoir la mécanisation de plus en plus indispensable. Les cloisonnements d'exploitation sont installés dès la plantation. Ils ne comportent pas de plant ou bien des tiges récoltables en bois de chauffage dès la première éclaircie, c'est-à-dire vers 20 ans (essence à croissance rapide comme l'aulne).

À titre indicatif, les dispositifs suivants sont souvent rencontrés :

- deux lignes à 4 x 3 m et interbande de 7 à 12 m (600 à 415 tiges/ha).
- une ligne à espacement de 3 m et interbande de 6 à 12 m (550 à 270 tiges/ha).
- au carré à 6 x 6 m ou 7 x 7 m (270 à 200 tiges/ha).
- au carré à 8 x 4 m (310 tiges/ha).

• **Choix des essences :**

les modifications du climat invitent à la prudence et à la recherche d'une parfaite adéquation sol/essence.

Les réalisations visitées favorisent le mélange d'essences de même vitesse de croissance.

L'utilisation de feuillus à forte valeur ajoutée (alisier torminal, merisier) dans la proportion de 5 à 20 % du nombre de plants est généralisée.

Lors du choix de l'essence, la qualité génétique supérieure sera privilégiée. Assez peu utilisés sur les placettes visitées, les plants ayant bénéficiés d'un programme d'amélioration (catégories testées ou qualifiées) sont pourtant prometteurs. Leur coût, un peu

plus élevé, est nettement compensé par la réduction des densités et des soins culturaux à leur apporter. Ainsi, les plants seront au minimum issus de peuplements classés, si possible issus de verger à graines ou des clones ou hybrides.

• **Plantation :**

les techniques de plantation utilisées ne sont pas nouvelles.

Pour la majorité des cas, il s'agit de plants 50/80 racines nues, plantés en potêt travaillé à la bêche. Lorsque la surface du reboisement, la nature du sol et le terrain le justifie (attention aux risques de ravinement), un sous-solage et une plantation en fente donnent de bons résultats à coût légèrement inférieur. Les économies sur la qualité des plants ou de la plantation ne sont pas souhaitables, bien au contraire. Un plant qui démarre mal, c'est un ou deux dégagements en plus ; un plant de mauvaise qualité génétique, 2 ou 3 tailles en plus. **Pour réduire les coûts, il vaut mieux planter moins que mal planter.**

• **Protections contre le gibier :**

seuls les dégâts dû aux chevreuil et sanglier seront abordés.

Deux types de protections sont utilisés :

- manchon plastique (diamètre : 15 à 20 cm par 120 cm) sur piquet d'une bonne efficacité face au chevreuil. Cependant, des pousses terminales, qui tournent dans la protection sans jamais en sortir, se dessèchent. C'est le cas du hêtre dont la jeune pousse, pendante, se bloque dans la maille du filet. Il faut alors la maintenir avec un tuteur ou enrouler sur elle même la protection sur plusieurs centimètres. Les plants de taille supérieure à 100/125 cm s'accommodent mieux et sortent la première année.

- antenne métallique ou arbre de fer : une bonne efficacité face au chevreuil

et moyenne face au sanglier. Son coût initial est plus faible, mais la dépose est impérative et parfois problématique donc coûteuse.

Pour réduire les coûts ultérieurs, le minimum de protection s'impose. La plantation d'enrichissement dans le recru, 50 cm à 1 m en bordure de cloisonnements limite les dégâts. Pour le sanglier, la plantation en fente est préférable.

Il convient également de réduire les populations et de favoriser les zones de gagnages (culture à gibier, peuplements entr'ouverts,...).

Pour rester sur des coûts de constitution acceptables, seuls les feuillus à forte valeur ajoutée (Alisier, Merisier) sont à protéger, soit 20 à 50 plants par hectare.

• **Accès :**

il est primordial d'accéder rapidement aux plants ou semis afin de diagnostiquer au mieux les travaux à réaliser. Un plant non accessible facilement est souvent un plant perdu.

→ Cloisonnements d'exploitation : ils permettent le débardage des bois et les interventions. Ils sont à installer le plus tôt possible dans la vie de peuplement, c'est-à-dire dès les premiers dégagements. Ils seront maintenus durant toute la vie du peuplement.

Sur les peuplements à maturité ou proches, leur installation lors d'une coupe de taillis est aisée.

Les caractéristiques techniques actuelles sont :

- largeur : 4 à 6 m.
- espacement d'axe en axe : 20 à 30 m.

Dans les jeunes peuplements, ils sont utilisés comme cloisonnements sylvicoles.



© G. Poulain CRPF Nord-Pas de Calais

Enrichissement en noyer noir d'Amérique d'une friche en cours de boisement naturel (ancienne pâture jouxtant un bosquet).

→ Cloisonnements sylvicoles :

ils permettent de pénétrer le peuplement afin d'effectuer les travaux. Ils sont à prévoir à la plantation et à entretenir avant chaque travaux par passage du broyeur. Leur présence permet de rationaliser les tâches sur les plants ou semis et de réduire les coûts.

Les caractéristiques techniques actuelles sont :

- largeur : 3 à 4 m (1 à 2 passes de broyeur)
- espacement d'axe en axe : 7 à 15 m.

La première ouverture de cloisonnement se fait de préférence au broyeur à marteau à axe horizontal. Ceci permet de dégager les obstacles (souches, purges). L'entretien peut ensuite se faire au broyeur à lame à axe vertical, moins coûteux, et plus aisé à trouver.

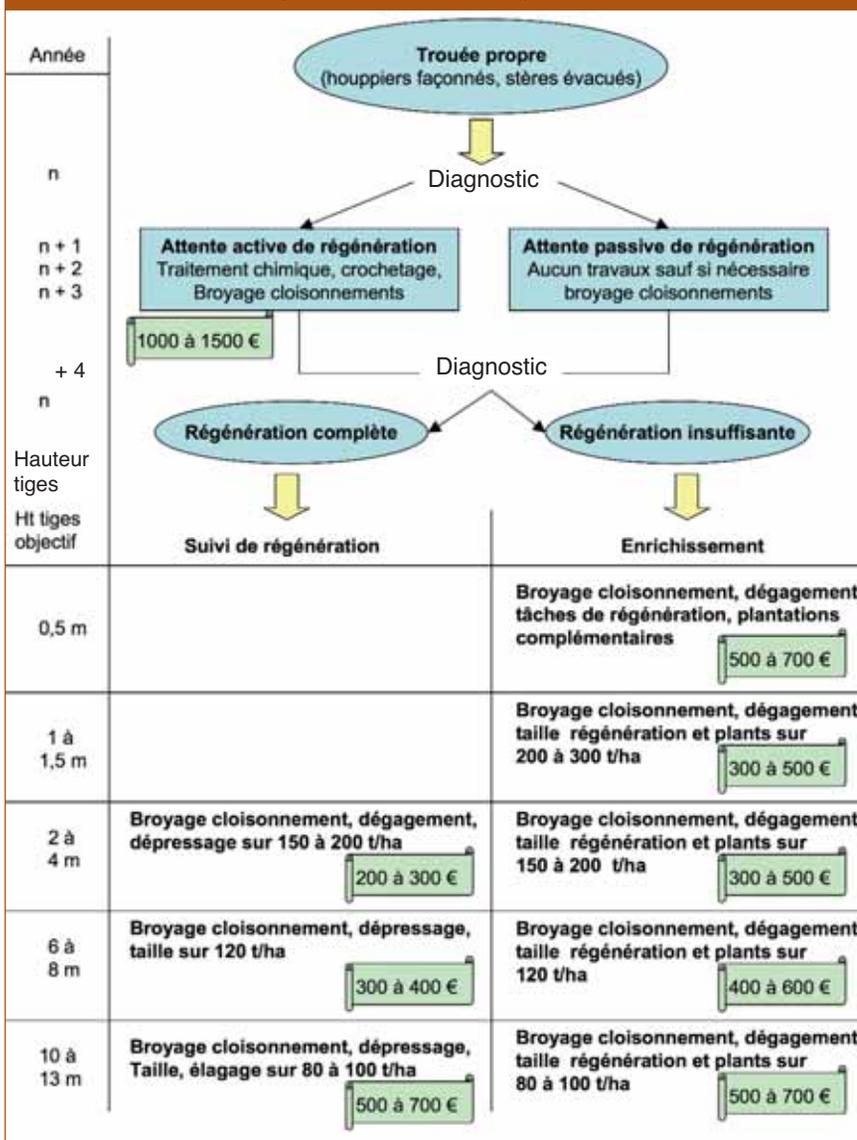
En terrain accidenté ou sur de petites parcelles, difficilement mécanisables, un simple filet sylvicole (passage d'homme de 50 cm) peut remplacer les cloisonnements. Sur ces parcelles difficilement valorisables, l'investissement doit d'autant plus être réduit.

• Travaux d'entretien :

le nombre de tiges d'avenir travaillé est toujours trop important. Cette sylviculture luxueuse ne répond plus aux coûts élevés de main d'œuvre. Les aléas éventuels qui dévaloriseraient certaines tiges d'avenir ne justifient pas une densité supérieure à 300 tiges/ha. En effet, à ce stade, la perte de tiges d'avenir est minime voire nulle et peut être compensée par un semis bien conformé à proximité.

Sur les stations visitées, les échéanciers sylvicoles les moins coûteux ont en commun :

Échéancier prévisionnel d'une régénération réussie



- des travaux répétés les trois premières années en dégagement sur moins de 300 tiges/ha en utilisant au maximum les solutions mécaniques (broyeur).
- des travaux limités à 100/150 tiges/ha dès 4 à 5 m de haut en utilisant le recru en gainage à bon escient.

Les travaux localisés aux tiges d'avenir permettent une économie ponctuelle. Ils laissent néanmoins entre les tiges d'avenir des essences parfois à croissance très rapide (Saule, Bouleau, Tremble).

Deux solutions complémentaires ont été constatées :

- rabattre les essences à croissance rapide régulièrement même si elles ne gênent pas encore les tiges d'avenir. Il est moins coûteux de rabattre 2 ou 3 fois un saule de 4 m que de l'abattre lorsqu'il atteint plus de 10 m de hauteur.
- attendre que les essences à croissance rapide aient une valeur bois de chauffage et les donner contre le travail d'abattage et d'évacuation. Cette solution n'est possible que lorsque le marché du bois de chauffage est porteur.

La peur du vide créé par une trouée reste omniprésente chez les propriétaires. Ils s'empressent de replanter, dense et à grands frais.

Les constatations du CETEF sont récurrentes :

Attendre quelques années est souhaitable avant toute intervention de reboisement.

Il faut ensuite réduire les densités de plantation et travailler peu d'arbres : passer d'une sylviculture de masse à une sylviculture d'arbres proches de la densité définitive.

Les différentes réalisations étudiées montrent qu'il est possible de ne pas dépasser dans les 15 à 20 années que dure l'investissement (plantation et entretien), la somme de 3 000 €. Ce devrait être l'objectif de toute reconstitution en forêt.

Certains propriétaires réalisant leurs travaux eux-mêmes, ne comptent pas leur temps et justifient leur « luxueuse » sylviculture. Malheureusement, la forêt dans son ensemble reste sous exploitée. Trop rares sont les peuplements parfaitement à jour dans leurs travaux : éclaircie, coupe, ... Consacrer un peu de temps à des travaux sylvicoles à bon escient comme les marquages d'éclaircies et des cou-

pes est pourtant essentiel. ■

(1) Laurent Dupayage, Cofinor, 6 place de la Piquerie, 59132 Trelon.

Résumé

La thématique du Cetef du Nord est la réduction des coûts lors du renouvellement de peuplement. Après le diagnostic initial et une bonne préparation du chantier, l'observation régulière permet de cibler les interventions de plantation et de dégagements en accompagnant la nature.

Mots-clés : régénération, enrichissement, feuillus.

pépinières
BAUCHERY LIVRAISON A DOMICILE
SPECIALISTE DES JEUNES PLANTS FORESTIERS ET D'ORNEMENT
5 000 000 DE PLANTS PRODUITS SUR 130 HA
PRODUCTEURS DEPUIS 1904
PROTECTIONS CONTRE LE GIBIER
CATALOGUE GRATUIT SUR SIMPLE DEMANDE
VENTE EN LIGNE SUR www.bauchery.fr
PLACE DE L'EGLISE - 41220 CROUY SUR COSSON TEL : 02 54 87 51 02 FAX : 02 54 87 02 22 MAIL : info@bauchery.fr

Fiches stations peuplier

Eric Paillassa, ingénieur à l'IDF

Le groupe de travail peuplier IDF a réalisé une typologie nationale des stations à peuplier, avec 18 stations type. Chaque fiche décrit les caractéristiques de la station, la croissance des principaux cultivars, les itinéraires techniques de préparation du sol et d'entretien, les risques dus à la station, les enjeux environnementaux et une partie économique.

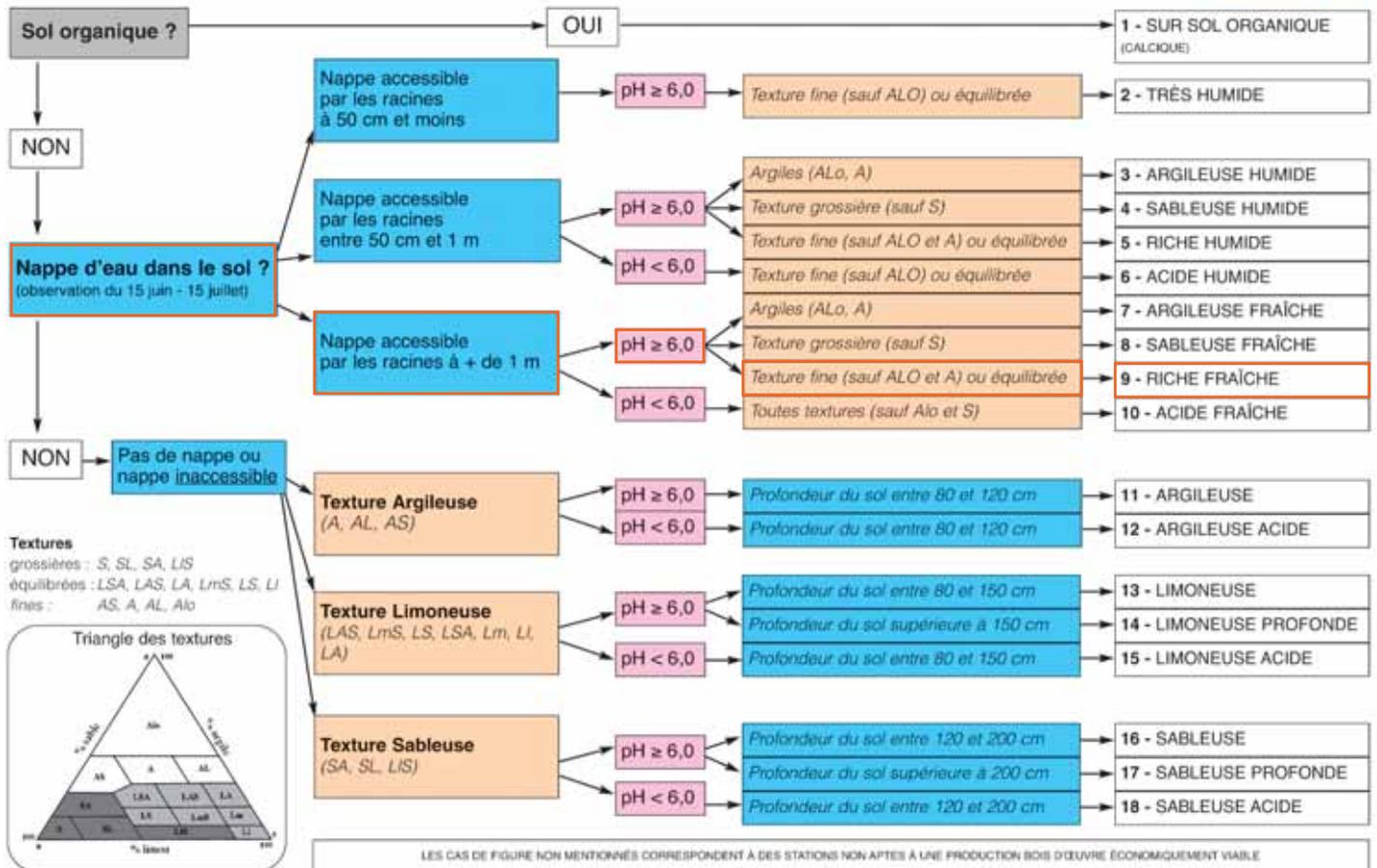
Une synthèse des connaissances actuelles pour tous les populteurs.

Suivant la clé de détermination des stations (ci-dessous), la station riche fraîche est caractérisée par d'une présence de nappe d'eau en été accessible par les racines à plus d'un mètre, sur un sol à texture équilibrée.

Clé de détermination des STATIONS à peuplier

pour une production de bois d'œuvre économiquement viable

Groupe de Travail Peuplier IDF
version décembre 2008



Retrouvez ces fiches à télécharger sur www.foretpriveefrancaise.com/peuplier



Le peuplier sur Station Riche Fraîche

■ Caractéristiques de la station ■

Localisation

- ☛ Topographie
Vallée de rivière.
- ☛ Exemples au niveau national
Vallées secondaires sur toute la France.

Alimentation en eau & régime hydrique

- ☛ Présence nappe d'eau (en été)
Accessible par les racines au-delà de 1 m.
- ☛ Inondations
Fréquentes, de courte durée, possibles en hiver ou au printemps.
- ☛ Hydromorphie (excès d'eau, présence de taches rouille)
L'hydromorphie temporaire peut être présente à partir de 50 cm. Elle est faible (quelques taches) et n'est donc pas un facteur limitant.

Richesse chimique du sol

- ☛ Sol peu acide à basique (pH ≥ 6).
- ☛ Fertilité chimique forte.
- ☛ Textures bien équilibrées permettant un bon développement racinaire.
- ☛ Peu d'apports d'éléments minéraux nouveaux par les inondations.

Profondeur prospectable

- ☛ Au-delà de 1 m et jusqu'à la nappe d'eau.

Habitats typiques possibles

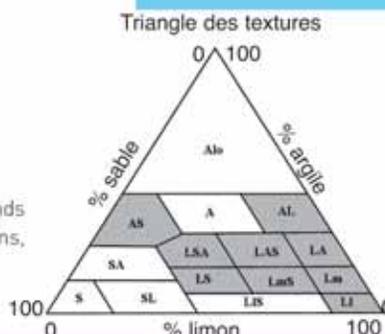
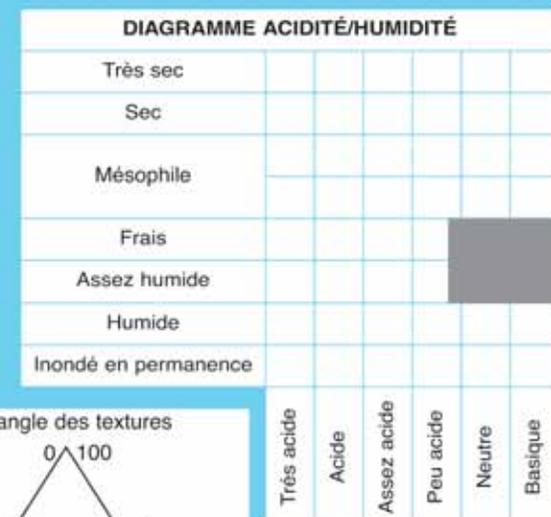
- ☛ Chênaie-ormaie à frêne oxyphylle et frêne commun des grands fleuves océaniques, Chênaie-ormaie des grands fleuves alpins, Ormaie frênaie à podagraire.

Flore indicatrice possible



© Eric Patlaasa - IDF

Station riche fraîche - entretien du sol extensif Aveluy (80)



⚠ Ne pas oublier, s'il existe, de consulter le catalogue des stations forestières du secteur.

Résumé :

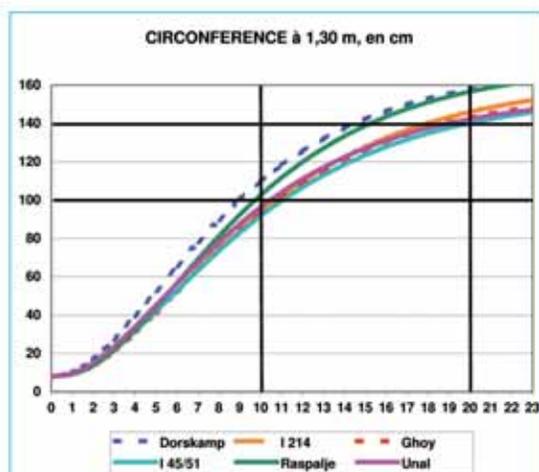
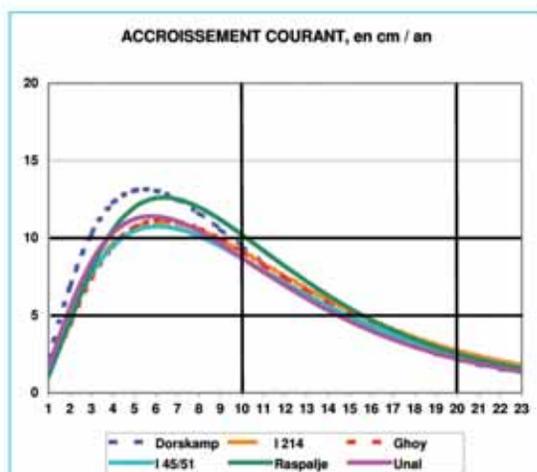
- **Fertilité forte.**
- **Alimentation en eau normalement assurée.**

Facteur limitant :

Aucun.

■ Croissance des cultivars (exemples de résultats obtenus sur le Réseau d'essais peuplier) ■

Courbes = modèles de croissance de 6 cultivars, pour cette station (toutes intensifications et régions confondues).



Sur station riche fraîche :

- la phase d'installation est rapide (1 à 2 ans),
- la phase de croissance active est soutenue (entre 3 et 9 ans) avec des accroissements maximaux de 11 à 13 cm/an,
- la croissance ralentit progressivement, pour atteindre des accroissements inférieurs à 5 cm/an entre 15 et 16 ans.

Ces accroissements annuels en circonférence permettent d'atteindre :

- à 5 ans, une circonférence de 40 à 50 cm,
- à 10 ans, une circonférence de 90 à 100 cm,
- un terme (circonférence = 140 cm) entre 15 et 20 ans.

Durées moyennes de rotation, au niveau national, obtenues sur les essais

Cultivar	Zone nordique						Zone méridionale					
	Âge quand C _{1,30m} = 100 cm			Âge quand C _{1,30m} = 140 cm			Âge quand C _{1,30m} = 100 cm			Âge quand C _{1,30m} = 140 cm		
	Ext	SI	Int									
A4A	10											
Alcinde							10	10	8	16		14
Blanc du Poitou							10	11	11			19
Dorskamp	10	10		15	15		9	9	9	15	16	14
Dvina							9			16		
Flevo	12			17			9	10				18
Ghoy	12	13		21	22		11	9		18	17	
I 214	12		11	21			10	9	11	16	16	17
I 45/51							11	10	12	18	19	20
Koster	10			14			9	8	12	14	14	
Lena							8			14		
Raspalje	10	11	8	15	16	13	9				17	
Robusta	15	14			30			11				
Triplo	12			16			9	9	9	16	13	
Unal	11	11		17	17				10			15



Légende :

- Ext = extensif,
- SI = semi intensif,
- Int = intensif,
- vide = valeur en cours d'obtention ou donnée manquante.

☛ Autres cultivars en cours d'évaluation
Contacter un conseiller forestier.

☛ Autres informations sur les cultivars
Consulter les fiches cultivars.

⚠ Toujours compléter l'information **croissance** par celle sur les **risques sanitaires** et autres, propre à chaque cultivar.

Conclusion :

Les croissances les plus satisfaisantes ont été obtenues avec :
 Zone nordique : Dorskamp, Flevo, Koster, Raspalje, Triplo.
 Zone méridionale : Alcinde, Dorskamp, Koster, Lena, Triplo.

■ Itinéraires techniques envisageables (à partir d'un terrain propre et sain) ■

Caractéristiques de la station à prendre en compte pour raisonner les travaux	Conséquences	Implications en termes de travaux
Richesse chimique forte	Bonne capacité de croissance	Fertilisation inutile
Alimentation en eau suffisante	Pas de concurrence avec la végétation herbacée, sauf à la plantation	Travaux du sol non nécessaires, excepté à la plantation

Préparation du terrain sur terrain nettoyé	Travaux	Période	Objectif
<i>Cas d'un boisement</i>			
Après culture	- Labour profond (> 30 cm) - Décompactage	Fin été/automne	Remise en état de la structure du sol (suppression de la semelle de labour)
Après prairie	- Labour profond (> 30 cm) - Décompactage - Désherbage chimique localisé	Fin été/automne	Détruire la strate herbacée et casser le tassement dû aux animaux
<i>Cas d'un reboisement</i>			
Après peupleraie	Aucun	-	-
Après taillis	Gyrobroyage	Été	Couper les souches de taillis à ras de terre
<i>Aménagement particulier</i>			
	Aucun	-	-

Plantation	Travaux	Observations
Mode de trouaison	Tarière de tous diamètres, pelle mécanique, fraise à potets, dent sur pelle mécanique...	Planter si possible jusqu'à la profondeur de la nappe en été
Fertilisation	Aucune	-

- ☛ Densité de plantation : entre 155 peupliers/ha et 204 peupliers/ha.
- ☛ Protections gibier à prévoir en fonction de la pression de gibier existante.
- ☛ S'il existe un risque de crue, l'enlèvement des protections usagées est recommandé.
- ☛ Plants de catégorie A2 [10-12], de 2 ans maximum.
- ☛ Profondeur de plantation : 1 m minimum.

Entretiens du sol		Années				
		1 à 3	4 à 5	6 à 10	11 à 15	16 et plus
Itinéraire 1	Extensif	1 Désherbage chimique localisé par an	1 Gyrobroyage localisé	1 Gyrobroyage localisé	-	-
Itinéraire 2	Semi-intensif	1 Désherbage chimique localisé + 1 Passage simple outil à disques, par an	1 Passage simple outil à disques, par an	-	-	-
Itinéraire 3	Intensif	1 désherbage chimique localisé + 1 passage simple outil à disques, par an	1 Passage simple outil à disques, par an	1 Passage simple outil à disques, par an	-	-

Taille et Élagage		Années								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Objectif grume 6 m sans nœud au-delà ø 8 cm										
Taille de formation	hiver									
1^{er} élagage (≈ à 3 m) + taille	(C 1,30 m ≈ 30 cm) été									
2^{ème} élagage (≈ à 4,5 m)	(C 1,30 m ≈ 40 cm) été									
3^{ème} élagage (≈ à 6 m)	(C 1,30 m ≈ 50 cm) été									

- ☛ La suppression de gourmands peut être nécessaire sur certains cultivars.
- ☛ S'il existe un risque de crue, le broyage des branches élaguées est recommandé.

Coûts des travaux à l'entreprise, en € HT	Unité	Min	Moy	Max
Labour profond	ha	185.4	234.2	282.9
Décompactage	ha	176.0	203.9	231.9
Gyrobroyage de préparation	ha	110.9	186.6	262.2
Plantation à la fraise à potets	trou	2.8	3.2	3.6
Plantation à la tarière	trou	2.3	2.8	3.3
Plantation à la pelle mécanique	trou	3.2	3.8	4.4
Plant A2	plant	3.1	3.9	4.6

Coûts des travaux à l'entreprise, en € HT	Unité	Min	Moy	Max
Taille de formation	plant	1.9	2.3	2.8
1^{er} élagage à 3 m + taille	plant	1.3	1.5	1.6
2^{ème} élagage à 4,5 m	plant	1.3	1.5	1.8
3^{ème} élagage à 6 m	plant	1.8	2.1	2.4
Désherbage chimique localisé	ha	89.0	112.6	136.2
Gyrobroyage	ha	79.0	98.0	117.0
Passage simple outil à disques	ha	101.1	140.6	180.0

■ Exploitation - Nettoyage ■

Caractéristiques de la station à prendre en compte lors de l'exploitation et du nettoyage	Implications en termes d'exploitation et de nettoyage
Aucune	-

Nettoyage		Avantages	Inconvénients	Fourchette de coûts
Solution 1	Broyage des rémanents + souches laissées en place	- Rapidité et simplicité - Terrain dégagé - Évite le brûlage	- Broyeur plus ou moins lourd - Présence de broyats au sol (problème si inondation) - Souches +/- gênantes pour travaux du sol.	510 à 1 010 € HT/ha
Solution 2	Broyage des rémanents en plaquettes forestières + souches laissées en place	- Terrain propre - Évite le brûlage - Valorisation des rémanents	- Broyeur plus ou moins lourd - Souches +/- gênantes pour travaux du sol	0 € HT/ha
Solution 3	Arasage des souches + ramassage et brûlage (ou enfouissement) des rémanents	- Limitation impact des souches - Disparition totale des rémanents	- Intervention 2 à 3 outils lourds - Coût - Réglementation du brûlage	980 à 1 360 € HT/ha

■ Risques dus à la station (pouvant nuire gravement au peuplement ou à la qualité du bois) ■

	Inondation	Sécheresse	Vent	Phytopathogènes	Animaux	Sur la qualité du bois
Caractéristiques	Printanière et de courte durée	-	Tempêtes d'hiver, Orages d'été	Maladies foliaires (rouilles, <i>Marssonina</i>) + puceron lanigère	Cervidés, chevreuils, lapins	Fente à l'abattage (I 214)
Impact qualitatif	mortalités possibles (asphyxie racinaire) sur jeunes plantations	-	Chablis ou volis	- Chute précoce des feuilles - Perte de croissance - Mortalité	Dépréciation du bois (écorçage, casse et trottis)	Dépréciation du bois
Impact quantitatif	pas à peu de dégâts à craindre	-	De 0 à 100 % de dégâts	Sur tous les arbres	De 0 à 100 % de dégâts en fonction pression du gibier	- augmente avec l'âge - sur une partie des arbres
Fréquence du risque	Aléatoire	-	Aléatoire	Permanent	Permanent si présence animaux	Permanent
Moyen(s) de limiter le risque	-	-	- Exploitation dès le terme ($C_{1,30\text{ m}} = 140\text{ cm}$) - Choix cultivars	- Choix cultivars - Travaux du sol	- Protections individuelles - Gestion de la chasse	- Limiter les déséquilibres des arbres - Choix cultivars

Rappel : la limitation des risques nécessite de planter un cultivar pour 3 ha maximum.

■ Enjeux environnementaux ■

Cette station peut appartenir à des systèmes d'expansion des crues. Ces systèmes sont le siège de forts enjeux environnementaux tant du point de vue de la flore (hygrocline à mésohygrocline) que de la faune (oiseaux migrateurs, amphibiens, insectes), et du paysage.

En l'absence d'entretien du sol, une flore à hautes herbes (mégaphorbiaie) peut se développer dans les jeunes plantations. Le cortège d'espèces botaniques qui la compose est souvent une source de biodiversité importante. Le maintien de cette mégaphorbiaie est un enjeu environnemental qui peut être pris en compte par un élagage dynamique de la peupleraie (maintien d'une entrée de lumière suffisante). Pour préserver le mieux possible la faune et la flore, et donc prendre en compte ces enjeux environnementaux, il convient de limiter si possible les intrants (fertilisants et produits agropharmaceutiques), mais aussi les interventions mécaniques non indispensables.

Localement, une parcelle sur station riche fraîche peut appartenir à un site Natura 2000. Il convient de se renseigner pour toute précision.

■ Rentabilités (moyennes pour 2 durées de rotation) ■

Densité	en tiges/ha	204		155	
		16	19	16	19
Rotation	en années				
Fourchette bénéfice annuel	en €/ha/an	290 à 370	230 à 290	180 à 260	140 à 200
Fourchette de TIR	en %	5.3 à 6.9	4.6 à 6.0	4.3 à 6.2	3.8 à 5.4

Éléments de calcul :

- Exploitation à $C_{1,30\text{ m}} = 140\text{ cm}$; Volume unitaire $1,35\text{ m}^3$; Hauteur BO 14 m ; risque courant sur volume de 0,6 % /an (hors calamités).
- Vente sur pied - prix moyen 41 €/m³.
- Dépenses = plantation sans protection gibier + itinéraires conseillés (coûts moyens entreprise) + 2 tailles + 3 élagages + frais de gestion (45 €/an).
- Calculs en euros constants - hors aides - indépendamment du cultivar.

Auteurs :

Éric Paillasa SUF IDF du CNPPF - Groupe de Travail Peuplier IDF

version décembre 2008

Source des données :

Réseau Expérimentations Peuplier de la Forêt Privée Française - Groupe de Travail Peuplier IDF

L'utilisation des herbicides en forêt : vers une disparition programmée ?

Marine Dodet, Henri Frochot, Léon Wehrlen, Florian Vast (1)

La réduction du nombre d'herbicides autorisés en forêt pose le problème technique de la gestion de la végétation dans les cas de blocage. Cette situation impose l'étude et la mise en place de méthodes alternatives.*

Depuis plusieurs années, les spécialités commercialisées et la réglementation ont beaucoup changé. Ainsi, l'arrêté du 14 avril 1998 établissant la liste des substances actives dont l'incorporation est autorisée dans les produits phytopharmaceutiques (inscrites à l'annexe I de la directive n° 91/414/CE du 15 juillet 1991) a été modifié à plusieurs reprises (ACTA 2009), résultant en l'interdiction de nombreuses spécialités et en une liste « positive » de produits soutenus par les firmes. Dans le même temps, les attentes environnementales de la société ont évolué : la notion de gestion durable est définie à la conférence de Rio en 1992 comme « une pratique qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». La gestion forestière durable en Europe est précisée lors de la conférence d'Helsinki en 1993 et doit notamment répondre aux critères de maintien des capacités de production biologique et de protection du sol et des eaux.

Officiellement, l'utilisation des herbicides en forêt est très limitée avec environ 50 000 ha de peuplements forestiers traités chaque année, à comparer aux 15,5 millions d'hectares de

la forêt française métropolitaine. Pour autant, cet emploi correspond à des situations bien précises où les herbicides se révèlent indispensables, et nombre de situations bloquantes ne pourraient être gérées aujourd'hui sans leur utilisation.

De l'intérêt des herbicides en forêt

La forêt reste aux yeux du grand public un milieu naturel, peu anthropisé, voire vierge. Elle revêt cependant un double enjeu capital : filière économique très importante, elle génère des emplois qualifiés et durables principalement dans le monde rural, et outre ses fonctions sociales et environnementales, la forêt permet une séquestration de carbone, participant ainsi à la réduction de l'effet de serre et à l'atténuation des changements climatiques. Mais ces deux enjeux stratégiques requièrent le recours très limité à l'utilisation de spécialités phytopharmaceutiques en général, et d'herbicides en particulier, afin d'assurer le renouvellement de la forêt, point focal d'une gestion durable.

L'établissement des peuplements forestiers est une phase critique parce

qu'elle conditionne l'avenir du peuplement en termes de production et de qualité, et qu'elle demande le plus d'interventions et d'investissements financiers dans la durée de la rotation. Que la régénération soit naturelle ou artificielle (plantation), elle nécessite généralement une gestion appropriée de la végétation accompagnatrice, constituée de l'ensemble des espèces végétales présentes à côté des essences forestières objectif (Frochot *et al.* 2002 ; Gama *et al.* 2006). En effet, lors-



La végétation concurrente de ronce et fougère.



... ou de clématite.

que les ressources du milieu ne sont pas disponibles en quantité suffisante pour subvenir aux besoins de tous les végétaux présents, les moins compétitifs se retrouvent alors carencés pour le ou les élément(s) limitant(s) : eau, éléments nutritifs et/ou lumière. Dans les sols à faible réserve hydrique, un tapis de graminées pérennes peut ainsi constituer une véritable barrière à l'eau provenant des précipitations et priver alors l'arbre de cette ressource essentielle en période sèche. Certaines espèces végétales peuvent également inhiber le développement des semis forestiers par allélopathie**, en libérant des composés biochimiques dans le milieu (fougère aigle, callune et myrtille sur l'épicéa par exemple).

Au stade de l'installation des peuplements forestiers, les effets inhibiteurs l'emportent généralement sur les effets auxiliaires (protection microclimatique, protection contre les dégâts de gibier, rôle éducateur de l'accompagnement ligneux sur les feuillus, etc.). La végétation accompagnatrice peut ainsi entraîner la mortalité ou la stagnation des semis, augmenter le temps d'exposition aux prédateurs et aux autres dangers, et finalement conduire à un échec ou à un blocage des régénérations. Le but recherché est donc de contenir le végétal dominant lorsqu'il constitue une menace pour l'avenir du peuplement, sans pour autant chercher à l'éradiquer. Or, pour des raisons de faisabilité et de prix, le choix d'une stratégie de contrôle de la végétation conduit souvent à retenir une technique mettant en œuvre un, voire plusieurs herbicides. L'utilisation d'herbicides est parfois même la seule méthode efficace permettant de contrôler certaines espèces inhibitrices, telle la fougère. Le contrôle doit être assuré pour quelques années, le temps que les jeunes semis d'arbres passent au-dessus du couvert herbacé.



© Léon Wehrlien, INRA/MGVF

Le travail mécanique sur pelle miniaturisée, technique PH (pioche herse).

Rares sont les espèces qui justifient un contrôle réellement durable comme la clématite ou le chèvrefeuille.



Nouvelles dispositions réglementaires... et conséquences

Le Comité d'homologation du 3 février 2006 a défini dans un nouveau catalogue forêt les trois usages forestiers des produits herbicides (simplifiant ainsi le catalogue précédant qui recensait 24 usages forestiers des produits herbicides). L'usage est l'emploi pour lequel le produit est destiné. La forêt est considérée comme une culture au même titre que la viticulture, les céréales ou les cultures légumières. La forêt dispose à ce titre de quelques usages qui sont pour les herbicides :

- désherbage, débroussaillage, avant mise en culture (n° 00401013) : ce sont les traitements préparatoires réalisés avant l'introduction de l'essence par plantation ou par semis.
- dégagement (n° 00401001) : lorsque l'essence est présente. Les préco-

nisations prennent alors en compte l'efficacité sur la végétation à contrôler et la sélectivité.

→ dévitalisation, arbres sur pied, souches (n° 00401014) : il s'agit du contrôle d'arbres sur pied ou, plus souvent, de se prémunir contre des rejets de souches.

Chaque spécialité homologuée l'est donc pour l'un et/ou l'autre de ces usages, et à une dose spécifique de l'usage. Par exemple, la spécialité TIMBREL F (*triclopyr*)⁽²⁾ est un débroussaillant homologué à 5 l/ha pour l'usage dévitalisation, et à 2 l/ha pour les deux autres usages dégagement et désherbage. La spécialité GARLON INOV en revanche, qui implique une autre forme de triclopyr, n'est homologuée que pour l'usage dévitalisation. Il convient donc à chacun de préciser l'usage qui le concerne afin de choisir correctement la spécialité à utiliser. Cependant, si la liste des spécialités commerciales homologuées est relativement bien fournie pour chacun des usages, le nombre de spécialités effectivement commercialisées en forêt est assez restreint. Ainsi, dans les faits, pour lutter contre certaines espèces



Le travail mécanique sur pelle miniaturisée, technique 3B (billons bombés).

ou certains types de végétation, une seule spécialité peut être disponible. C'est le cas par exemple des fougères (et notamment la fougère aigle) dont le contrôle dépend en grande partie du FOUGEROX (*asulame*)⁽³⁾. Ces spécialités nécessitent donc d'être conservées afin de disposer d'un outil efficace en cas de situation de blocage ou d'envahissement par l'une ou l'autre de ces espèces.

D'autres spécialités, largement utilisées encore il y a quelques années pour leur efficacité avérée, sont maintenant interdites. C'est le cas par exemple des spécialités à base de dalapon qui étaient utilisées contre carex, jonc et certaines graminées, et plus récemment du VELPAR (*hexazinone*), herbicide sélectif utilisé pour lutter contre la concurrence herbacée dans les jeunes peuplements de conifères. La disparition de ce dernier met les gestionnaires en difficulté pour assurer l'établissement du pin maritime dans les Landes (et les conséquences de la tempête survenue récemment risquent fort de mener à des blocages des semis par la molinie et/ou la fougère aigle, abondantes dans la région), ou des pins sylvestre et laricio dans les milieux difficiles de plaine. Dans d'autre cas, c'est la réduction des doses autorisées qui ne permet plus le contrôle efficace de la végétation concurrente (callune par le *glyphosate* par exemple).

Usages orphelins***

L'utilisation des herbicides est donc soumise à une forte pression de la part de l'opinion publique, des ONG de défense de l'environnement et d'une partie des forestiers. Dans ce contexte défavorable, les firmes phytopharmaceutiques hésitent à s'engager dans l'homologation coûteuse de nouveaux produits herbicides, en particulier pour des volumes utilisés en forêt finalement restreints comparativement aux quantités commercialisées en grande culture.

À la demande du ministre de l'Agriculture et de la Pêche, une priorisation des besoins face à la disparition de nombreuses spécialités, générant des usages « vides » ou orphelins, se met actuellement en place. La réflexion est menée par filière pour faire des propositions hiérarchisées et concertées à l'administration. Chaque groupe de travail classe ainsi les usages de sa culture selon qu'ils sont biens ou non pourvus. En forêt, les priorités identifiées concernent avant tout la lutte contre les insectes hylobes d'une part et les scolytes des bois abattus d'autre part. À ce titre, les recommandations du groupe de travail concernent essentiellement l'accélération de l'évaluation par l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments des dossiers d'homologation déposés par les firmes phytopharmaceutiques pour des préparations visant à remplacer la *deltaméthrine* dont l'utilisation est interdite à partir du 30 avril 2009. L'autre problème prioritaire identifié concerne le retrait de la *hexazinone* et les difficultés liées à la forte concurrence de la végétation herbacée qui n'est plus correctement contrôlée.

« Les forestiers n'utilisent [les herbi-

cides] qu'occasionnellement, quand ils risquent de se retrouver dans une impasse. Il est donc important sur le plan économique qu'ils puissent conserver l'accès à une telle technique » (Gama *et al.*, 2006).

Vers des méthodes de substitution

À tort ou à raison, les herbicides seront donc dans les années à venir de moins en moins disponibles en forêt. Il est alors indispensable de rechercher, dès aujourd'hui, les itinéraires techniques intégrant des méthodes alternatives suffisamment efficaces, techniquement et économiquement, pour s'en passer.

Les techniques de gestion de la végétation sont variées (Gama *et al.* 2006), mais dans la pratique les gestionnaires en utilisent un nombre assez limité. Ce sont les interventions mécaniques traditionnelles utilisant un tracteur, les interventions manuelles utilisant un outil portatif, les herbicides et les paillasses. On ne connaît pas avec précision en France les surfaces réellement gérées par l'une ou l'autre de ces interventions. Les techniques traditionnelles mécaniques et manuelles sont certainement les plus employées, puis viennent les herbicides puis les paillasses utilisés essentiellement lors de boisement en terres agricoles. D'autres techniques, parfois insuffisamment maîtrisées, comme l'utilisation du couvert ou abris ligneux qui affaiblissent la végétation par réduction de l'éclairement, les outils mécaniques miniaturisés (sur minipelle) qui enfouissent, arrachent ou coupent la végétation tout en épargnant le sol (Wehrlein, 1998), les plantes couvre-sol qui sont installées afin de limiter le développement des espèces à forte concurrence, le brûlage contrôlé, le pâturage

contrôlé... sont employées plus rarement, voire pour certaines de façon plus anecdotique.

Certaines de ces techniques sont aujourd'hui approfondies par l'équipe Mission gestion de la végétation en forêt (MGVF), de l'Inra de Nancy, pour répondre aux nouveaux défis de la gestion de la végétation accompagnatrice. Les outils mécaniques miniaturisés, montés sur minipelle, apparaissent ainsi comme une méthode prometteuse dont les effets sur la végétation et les modalités d'utilisation sont en cours d'étude. L'étude scientifique du fonctionnement et des modalités d'application de la technique des plantes couvre-sol (Ningre et Koerner 2004 ; Provendier et Balandier 2004) fait également partie des projets de l'équipe.

Cependant, alors que les herbicides sont pointés comme les interventions les plus critiques pour l'environnement, l'impact réel des autres techniques restent très mal connus (Frochot et al. 2002). Les méthodes alternatives de la végétation ont également un impact non négligeable sur le milieu et peuvent être source de contamination par les intrants collatéraux (carburant par exemple). Il ne pourra donc être fait l'économie de l'étude des coûts réels des unes ou des

autres méthodes de substitution.

Finalement, « seule une sylviculture raisonnée, économe et respectueuse des milieux permettra de disposer encore demain de produits herbicides homologués pour des usages forestiers, intrants par ailleurs admis dans le cadre des systèmes d'écocertification » (Gama et al., 2006). Il serait à l'évidence préjudiciable de perdre l'outil herbicide dans la palette des méthodes de gestion de la végétation accompagnatrice. Mais d'autres techniques existent, plus ou moins bien maîtrisées actuellement, dont l'étude approfondie devrait permettre, dans le futur, une utilisation raisonnée, efficace et acceptable au plan environnemental. ■

(1) *Mission Gestion de la Végétation en Forêt,*

UMR LERFOB Inra-AgroParisTech,

54280 Champenoux.

mgvf@nancy.inra.fr

(2) *Les spécialités commerciales sont indiquées en MAJUSCULE et les matières actives en italique.*

(3) *D'après le JO du 16 janvier 2009, cette matière active serait actuellement en balance et pourrait être interdite à la vente dès le 31 décembre 2010 si la firme concernée ne dépose pas une demande d'inscription à l'annexe I. Les substances fluazifop-p et oxyfluorfen sont également dans le même cas.*

Remerciements

L'équipe MGVF bénéficie de subventions ONF (convention ONF/INRA/AgroParisTech) et du ministère de l'Agriculture et de la Pêche (Convention MAP/Inra/AgroParisTech).

Bibliographie

■ **ACTA (2009).** *Index phytosanitaire.* 804 p.

■ **E-phy,** catalogue en ligne du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche des produits phytopharmaceutiques homologués en France: <http://e-phy.agriculture.gouv.fr>

■ **Frochot H., Armand G., Gama A., Nouveau M. et Wehrlen L. (2002).** *La gestion de la végétation accompagnatrice : état et perspective.*

Revue forestière française 54, 6, 505-520.

■ **Gama A., Dumas Y et Frochot H. (2006).** *Utilisation des herbicides en forêt et gestion durable. Guide pratique, éditions Quae.* 319 p. Guide technique complet s'adressant aux gestionnaires forestiers dont la lecture est vivement recommandée.

■ **Ningre F. et Koerner W. 2004.** *Réflexions sur une méthode minimisant les entretiens chimiques en plantation.* Forêt-entreprise 159, 60-64.

■ **Provendier D. et Balandier P. 2004.** *Contrôler la végétation en plantation forestière : premiers résultats sur les modifications micro-environnementales engendrées par les plantes de couverture.* Ingénieries 40, 61-72.

■ **Wehrlen L. (1998).** *Le « culti-sous-solage », une révolution dans les plantations!* Forêt-entreprise 122, 59-62.

DÉFINITIONS

■ ***Blocage :** échec de régénération lié à la forte concurrence d'une espèce compétitrice, conduisant à l'arrêt de la succession. La compétition intense pour l'eau et/ou la lumière et/ou les nutriments ne permet pas la survie et/ou le développement des jeunes semis d'arbre de nombreuses années si aucune intervention n'est réalisée.

■ ****Allélopathie :** ensemble des interactions biochimiques directes ou indirectes, négatives ou positives, d'une plante sur une autre par sécrétion dans le sol de métabolites (tels que acides phénoliques, terpénoïdes, alcaloïdes...).

■ *****Usages orphelins :** usages pour lesquels il n'existe pas (ou plus) de matières actives autorisées et efficaces. La disparition de spécialités commerciales conduit parfois à l'absence de solution chimique pour lutter contre tel ou tel problème rencontré (espèce végétale compétitrice, maladie, insecte ravageur...).

Résumé

Les herbicides en forêt sont de moins en moins disponibles alors qu'ils constituent un outil parfois indispensable dans certaines situations. Une réflexion est en cours sur ces usages « orphelins » afin de prioriser les besoins de chaque filière. Le problème majeur lié à la gestion de la végétation en forêt concerne la disparition de l'*hexazinone*. Il faut donc, dès à présent, étudier les méthodes alternatives qui soient efficaces et acceptables aux plans environnemental et économique.

Mots-clés : herbicides, homologation, usages orphelins, méthodes alternatives.

La phytoremédiation, ou la bonne santé des sols par les plantes

François Charnet, ingénieur IDF

Comment des micro-organismes bactériens, des plantes herbacées ou des arbres peuvent-ils traiter des pollutions industrielles ou agricoles?

Les fonctions de phytoremédiation et de production sont-elles compatibles?

La phytoremédiation, variante de remédiation

La pratique, d'après certains, serait multiséculaire, mais la formulation scientifique et le terme ne remontent guère au-delà des années 90. Celui-ci est un anglicisme (une traduction pos-

sible serait phytorestoration) qui s'est imposé assez vite dans les publications francophones.

Au sein de l'ensemble des techniques de remédiation des sols, eaux et sédiments pollués (tableau 1), il désigne celles qui utilisent des organismes vé-

gétaux. Si on voulait brosser un tableau d'ensemble de la bioremédiation, il faudrait la diviser selon **les organismes en cause** (animaux ou végétaux, micro-organismes ou organismes supérieurs), **les modes d'action** sur les polluants (dégradation, fixation ou extraction), enfin par **la catégorie de polluants concernés**. (tableau 2). En fait, la bioremédiation apparaît comme une technique douce adaptée aux sites à niveau de pollution faible à moyen, où les sols sont presque toujours traités in situ, alors que les techniques physico-chimiques plus agressives pour le milieu sont indiquées pour les sites très pollués à

Tableau 1 : Les diverses formes de phytoremédiation

Divisions		Agents
Remédiation physicochimique		Gaz
		Solvants, chélatants
Bioremédiation	Zooremédiation	Faune du sol : lombrics, microarthropodes
	Phytoremédiation	Flore bactérienne spécialisée
		Plantes herbacées
		Espèces ligneuses

Tableau 2 : Types de polluants par la phytoremédiation

Catégories	Variantes	Exemples	Origine
Polluants minéraux	Eléments traces métalliques (ETM), ou "métaux lourds"	Plomb, mercure, arsenic,...	Sites industriels (batteries), Cabinets dentaires, (décharges)
	Radionucléides	Uranium, Césium 37, Tritium	Retombées explosions nucléaires, résidus industriels, (sites miniers)
	Explosifs	TNT	Usines d'armement, (théâtres de conflits, champs de tir)
	Eléments minéraux nutritifs (engrais)	Nitrates, acide phosphorique	Secteurs d'agriculture intensive
Polluants organiques (dont Composés Traces Organiques ou CTO)	Hydrocarbures aliphatiques	Naphtènes, paraffines	Résidus pétroliers (sites côtiers, industriels)
	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Naphtalènes, Pyrène, créosote (!)...	Résidus pétroliers, gaz échappement, huiles de vidange, chauffage domestique, industrie (sites côtiers, industriels)
	PolyChloroBiphényles (PCB)	PCB - 128 : TRICloroBiphényle, "Pyralène"...	Isolants condensateurs, décharges sauvages, (usines de plastiques et peintures...) Sites EDF
	Solvants chlorés	TriChloréthylène (TCE)	Sites industriels
	Dioxines		Résidus de combustion

enjeu sanitaire, demandant des délais de traitement courts, et pouvant amener à une excavation des terrains pour un traitement *ex situ*.

La zooremédiation est une spécialité balbutiante, où seuls les lombrics ont jusqu'alors montré des atouts prometteurs, alors que d'autres organismes du sol, comme les collemboles (microarthropodes), ne sont encore que des candidats ayant fait l'objet de recherches exploratoires, et dont l'intérêt reste à confirmer.

Dans la branche qui nous intéresse, sont utilisées les micro-organismes bactériens (bactéries dites « voraces » ou « nettoyeuses »), les plantes herbacées (dont beaucoup d'espèces de la famille des Brassicacae ou Crucifères), et parmi les arbres les Salicacées telles que les peupliers et les saules. Ajoutons enfin que les pollutions trai-

tées par cette méthode sont d'origine industrielle ou agricole. Dans ce dernier cas, l'usage du terme phytoremédiation est moins habituel, bien que l'usage des végétaux y vise les mêmes buts. Dans ce domaine d'études encore récent, c'est l'usage qui crée la terminologie, qui peut donc être mal fixée.

Des modes d'action variés

Si on suit le chemin du polluant à la plante, on voit que la remédiation peut impliquer plusieurs modes d'action (figure 1). Dans les premiers stades, une attention particulière doit être portée à la rhizosphère, ce volume de sol au contact du système racinaire fin à forte colonisation bactérienne, où s'effectuent la plupart des phénomènes chimiques et/ou biologiques (réactions, échanges ou transformations).

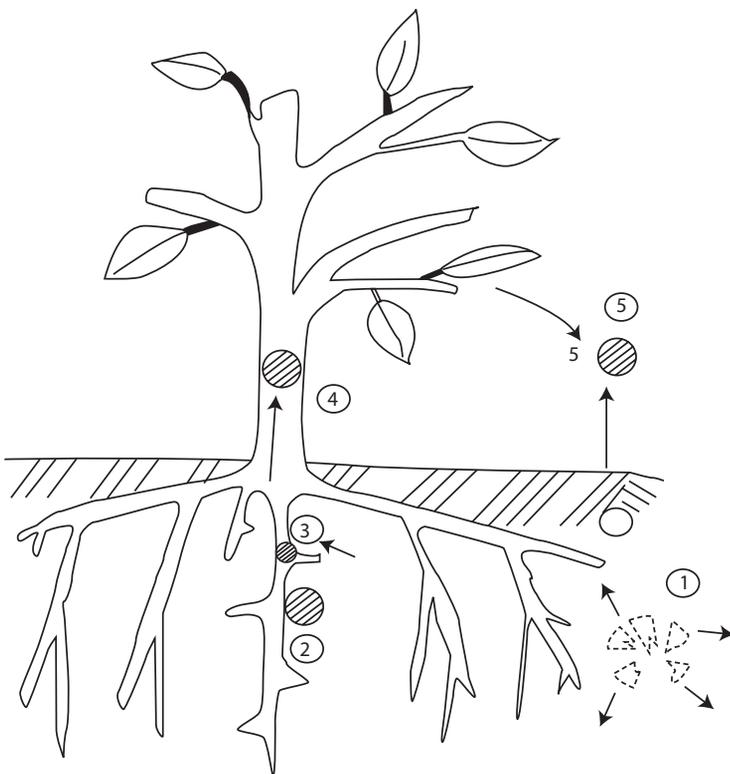
Le premier stade possible est la **dégradation** (cf. n°1 de la figure) du polluant, sous l'action de substances secrétées par les racines, ou par la flore bactérienne associée aux racines. Cela concerne des molécules organiques, qui sont de fait réduites en composants non toxiques ou moins toxiques. Le mode d'action suivant est la **fixation** (cf. n°2) sur les racines, par des voies diverses selon les produits en cause : liaisons électrostatiques (qui renvoie au fait de la capacité d'échange racinaire), piégeage par des divers gels tels que le mucilage.

L'**absorption** (cf. n°3) au sens strict implique une traversée des tissus du cortex racinaire, par des voies variées (apoplasmique, cytoplasmique, transvacuolaire) qui ne sont d'ailleurs pas toujours connues. Ce passage peut impliquer, dans le cas de polluants métalliques (métaux « lourds », souvent peu solubles), une solubilisation ou une complexation préalables par des acides organiques faibles (acide citrique, oxalique, etc.), secrétées par les racines ou les mycorhizes, action qui peut être simulée par l'injection dans le sol d'une substance complexante de synthèse comme l'EDTA.

Une fois dans les tissus conducteurs de la stèle racinaire (cylindre central de la tige où sont concentrés les tissus conducteurs primaires de la plante), la substance peut migrer vers les parties aériennes, dans une proportion inégale selon les espèces : ce phénomène de « **translocation** (cf. n°4) » est une des clefs de l'intensité des transferts sol-plante et des facultés phytoextractives du couvert végétal.

La **volatilisation** (cf. n°5), concernant certains métaux comme le mercure, l'arsenic ou le sélénium, est un phénomène plus rare de transformation des métaux en composés volatiles par des bactéries ou des champignons, étape préliminaire à un transfert vers les parties aériennes ou une libération directe

Figure 1 : Accroissement en circonférence 1 an après éclaircie



1. Dégradation du polluant sous l'action de substances secrétées par les racines
2. Fixation sur les racines
3. Absorption
4. Translocation
5. Volatilisation

dans l'atmosphère.

Enfin, chez certaines plantes et pour des substances liquides, on peut observer l'évaporation d'une partie de la substance, après transformation. Cela est avéré chez des peupliers avec un solvant organique, le Trichloréthylène (TCE). Plus généralement, les arbres montrent par rapport aux plantes herbacées une efficacité supérieure dans la fonction de **contrôle hydraulique 6** de la pollution, en raison d'une évapotranspiration supérieure, qui assure par le fait la stabilisation dans le cycle biogéochimique de substances solubles comme les nitrates, qui sous d'autres couverts auraient été entraînées vers les eaux souterraines par l'infiltration sous-racinaire. C'est un effet comparable à l'effet CIPAN des Cultures Intercalaires Pièges à Nitrates promues par les politiques agro-environnementales.

Au total, on distingue d'un point de vue pratique deux grands types de stratégie : la phytostabilisation (fondée

sur les processus 2, 3, 5, 6), où on cherche à éviter la dispersion du produit dans les sols et les eaux souterraines (la revégétalisation des carrières ou terils, la réhabilitation des friches industrielles relèvent de cette thématique), et la phyto-extraction (4 et 5), où une récolte des parties aériennes assure une décontamination - au moins partielle - du milieu. La technique ne se limite donc pas au deuxième cas, ce qui a amené des auteurs à préférer le terme plus neutre et d'acception plus large de « phyto-management » pour désigner l'ensemble de ces procédés.

Atout et limites des ligneux

Pour les polluants métalliques, l'essentiel des travaux de recherche a d'abord porté sur des plantes herbacées à fort rendement d'extraction, appelées métalphytes ou hyperaccumulatrices. Ce dernier qualificatif s'applique aux espèces pouvant accumuler dans leur biomasse des métaux à des teneurs fortes, variables selon l'élément considéré (supérieures à 0,1 % de la matière sèche pour le cadmium, jusqu'à 1 % pour le zinc). Les Brassicacées, et notamment des crucifères de petite taille telles que le tabouret (*photo page suivante*) (*Thlaspi sp.*)

Tableau 3 : avantages comparés des couverts herbacés et ligneux

Fonctions	Type de couvert	Couverts herbacés	Couverts ligneux
Extraction des éléments traces métalliques		Forte à très forte (quelques dizaines de kg/ha)	Moyenne à faible (qq grammes - da g/ha)
Profondeur de mobilisation		0 - 30 (50) cm	50 - 100 (150) cm
Production de biomasse (en t de matières sèches/ha/an)		Faible à moyenne (2-8 t)	Forte à très forte (10-20 t)
Rusticité		Moyenne à forte	Faible
Valorisation économique		Limitée (phytominig)	Multiple (dont biomasse)



Parmi les ligneux, le saule, traité en taillis à très courtes rotations, apparaît comme une des essences les plus prometteuses. Site expérimental d'épandage de boues liquides à Pleyber-Christ (Finistère).



© Nevena Basic (CH)

Le tabouret bleuâtre (Thlaspi caerulescens), est à la phytoremédiation ce que la mouche du vinaigre ou drosophile a été pour la génétique morganienne : un modèle de recherche.



© Nevena Basic (CH)

et l'arabette (*Arabidopsis sp.*) en font partie et font l'objet d'un grand nombre de recherches.

Indépendamment de leurs performances, ces espèces annuelles à cycle court facilitent les programmes de sélection génétique pour améliorer cette propriété, qui est sous le contrôle de quelques gènes. Toutefois, les biomasses en jeu sont modestes (quelques tonnes de matières sèches/ha). Au total, les quantités extraites peuvent atteindre quelques dizaines de kg/ha/an dans le cas du zinc.

Par comparaison, les performances accumulatives des espèces ligneuses sont moindres, mais en raison d'une production supérieure (10 à 15-20 t de MS/ha/an), on peut attendre au final des résultats intéressants. Des mesures faites par l'IDF (Charnet, 2006) dans des expérimentations d'épandage de boues en taillis de saules (photo 2, p.64) révèlent des extractions de quelques kg pour le zinc, de quelques dizaines de g pour le cadmium, pouvant être doublées en cas de récolte des brins au stade feuillé. Ces rendements seraient du reste supérieurs et plus réalistes si on les rapportait à la fraction assimilable des métaux – la seule virtuellement toxique – et non à la teneur en élément total, boîte noire sans signification écotoxicologique. L'autre atout des ligneux est la plus forte prospection volumique du sol, conséquence d'un enracinement plus puissant.

Du point de vue économique, ils peuvent en outre apporter un revenu par la valorisation de la récolte (bois énergie, bois matériau, paillage). Le tableau 3 (p.64) regroupe les avantages et inconvénients des deux types de couverts.

État de l'art d'une technique récente

Une analyse de la littérature scientifique internationale indique une forte concentration des recherches autour de quelques groupes d'espèces. Pour les ligneux, la liste est encore plus réduite, et tourne autour d'une demi-douzaine d'espèces. En plus des genres *Populus* et *Salix* déjà cités, figurent çà et là des références sur les genres...

Même déséquilibre des références pour ce qui concerne les types de polluants étudiés, la majorité de la production scientifique ayant trait aux métaux lourds ou éléments traces métalliques (ETM). Ceux qui couvrent les

composés traces organiques (CTO) et les explosifs sont nettement moins nombreux. Le cas des radionucléides est spécial, puisqu'à la toxicité chimique des isotopes stables ils ajoutent leur toxicité radiologique (essentiellement par exposition interne : la plupart sont des émetteurs alpha aux rayons 1^{er} pénétrants). Dans les terrains fortement pollués des environs de Tchernobyl, des programmes internationaux de radioprotection ont testé diverses variantes de phytoremédiation pour extraire le Césium 137 des sols, par couvert de ray-grass (CEA) ou taillis à courtes rotations de saules (SCERN).

Si on envisage le domaine opérationnel, le champ se restreint singulièrement. Parmi les procédés validés ayant fait leur preuve en vraie grandeur, on observe peu de cas utilisant les espèces ligneuses. L'usage de celles-ci relève donc encore majoritairement de la recherche, au moins en Europe.

En France, on voit apparaître des chantiers utilisant ces espèces dans le traitement tertiaire des effluents agro-alimentaires ou industriels d'établissements classés (ICPE), en période estivale. Selon les volumes d'eaux en jeu et la composition des effluents, la technique s'apparente à de la fertirrigation ou de l'irrigation, ce qui dans les cas les plus favorables permet de résoudre un problème de rejets par une valorisation économique (production de biomasse). Le saule, traité en taillis à très courtes rotations (2 ou 3 ans), paraît bien adapté à ces usages. Les épandages de boues représentent un cas original de valorisation de déchet apportant à la fois des éléments nutritifs en quantités significatives (mais pas toujours équilibrées), et des polluants résiduels en quantités infinitésimales encadrées par la législation, pouvant être plus ou moins neutralisés par les récoltes de la biomasse.

L'avenir

Le tableau de la situation actuelle laisse donc entrevoir, à travers certains acquis de la recherche, la possibilité d'un débouché – et dans les cas les plus favorables un marché – pour un usage remédiant des cultures ligneuses. Le Pôle de compétence des sites et sédiments pollués en Nord – Pas-de-Calais a joué en France un rôle pionnier sur ces sujets, relayé par diverses équipes universitaires. Les études en cours ou en projet visent à tester matériel végétal ou itinéraires techniques pour étendre la gamme des solutions s'offrant aux prestataires. Le Conservatoire national de la biodiversité forestière (Guéméné-Penfao-44) s'investit dans la première mission, tandis qu'un programme comme TSAR (Techniques sylvicoles et agricoles remédiantes), initié par ArboCentre et engagé par l'INRA d'Orléans, l'IDF et la Chambre d'Agriculture du Loiret, va installer des sites ateliers en région Centre, pour évaluer de nouveaux modèles culturels, intégrant même des essences forestières plus traditionnelles telles que les résineux, traitées en « futaies courtes » (i.e. 20 ans). Le couplage des fonctions remédiantes avec la production d'une biomasse valorisable est pour ces cultures un atout décisif.

L'aspect économique est surtout connu par les études américaines, et met en évidence le faible coût des techniques végétales de remédiation, par rapport aux procédés physiques ou chimiques. Il existe aux USA et au Canada un marché de la phytoremédiation avec prestataires privés, évalué il y a quelques années à plusieurs centaines de millions de dollars. Il est clair cependant que c'est le service social, plus que la rentabilité intrinsèque (incertaine) qui fait l'atout du procédé. La multiplication des contraintes réglementaires environnementales soutient déjà – et soutiendra de plus en plus – ce marché émergent.

Le champ d'applications apparaît d'ores et déjà comme très vaste :

- revégétalisation de friches industrielles, de carrières, de centres d'enfouissement techniques (CET), opérations qui s'apparentent plus à de la stabilisation ou de la restauration.

- chantiers de décontamination au sens strict, dans le cas de pollutions industrielles diffuses (exemple connu de sols prairiaux pollués par le plomb d'une usine de batteries), champs de tir militaires, sites de fabrication ou de stockage de munitions, établissements classés Seveso, etc.

- mise au point de modèles sylviculturaux de boisements pour la protection ou la reconquête de la qualité de l'eau contre les pollutions diffuses d'origine agricole, domaine où l'IDF s'est déjà investi (Charnet, 2007), qui a déjà été traité dans Forêt-entreprise (idem, 2004).

Le récent colloque organisé à Angers par le CNBF sur les « Nouveaux usages de l'arbre » témoigne de l'intérêt suscité par ce thème auprès d'un large public et de la variété des acteurs concernés. Les forestiers y ont leur place, ne serait-ce que pour la mise au point des itinéraires sylvicoles. ■

Résumé

Depuis une vingtaine d'années, sont apparues sous l'appellation de phytoremédiation, un ensemble de techniques de génie végétal destinées à traiter la pollution des sols et des eaux. Si les plus opérationnelles d'entre elles utilisent des bactéries et des plantes herbacées, les recherches laissent entrevoir l'intérêt d'espèces ligneuses pour ces fonctions, dans le cadre des « nouveaux usages de l'arbre »

Mots-clés : phytoremédiation, phytomanagement, sols pollués.

Bibliographie

- **BERT V. et DERAM A., 1999** – *Guide des Phytotechnologies*. Environnement et Développement Alternatif (EDA), Lille, 154 p.
- **Charnet E., 2003** – *Transfert des ETM dans la plante, volet ligniculture (Action de recherche ACTA-ICTA n° 2000/17)*. Rapport final. Institut pour le Développement Forestier, Rennes, 23 p. + 15 annexes.
- **Charnet E. (coord.), 2004** – *Forêt et qualité de l'eau (dossier)*. Forêt-Entreprise n° 159 (octobre 2004/5), pp. 19-46.
- **Charnet E., 2006** – *Valorisation de boues biologiques en taillis à très courtes rotations de saules*. Expérimentation sur la commune de Pleyber-Christ (Finistère) ; Convention ADEME n° 03 25 035. Rapport final, volet environnemental, Institut pour le Développement Forestier, Orléans, 35 p.
- **Charnet E. (coord.), 2007** – *Boisements et pollutions diffuses*. Rôle protecteur ou épurateur des boisements linéaires ou en plein à l'égard des pollutions diffuses (Action ACTA 04-08). Rapport final, 2 tomes. Institut pour le Développement Forestier, Orléans.
- **Charnet E., 2009** – *Le phytomanagement, protection et dépollution des eaux et des sols : un état des connaissances et des pratiques en France : Actes du colloque « Nouveaux usages de l'arbre » (Angers, 19-20 juin 2008)*. Revue Forestière Française, n° spécial (à paraître).
- **IIRC, 1999** – *Phytoremediation decision tree. Decision tree document*. Interstate Technology Regulatory Cooperation Work Group Phytoremediation Work Team. IIRC (USA), 25p. + appendix.
- **Terry N. and Banuelos G., 2000** – *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Lewis Publishers, London – New York – Washington, (ed.), 389 p.