

t

RenD ez - V ous
e c h n i q u e s

hors-série n°5

patrimoine
sylviculture
progrès

connaissances

économie

forêts et société
environnement

biodiversité

gestion durable



Sylviculture des chênaies dans les forêts publiques Françaises

Hors-série

RenDez-Vous techniques

Directeur de la publication

Bernard Gamblin

Rédactrice en chef

Christine Micheneau

Comité éditorial (2008)

Yves Birot, Joseph Behaghel, Jean-Marc Brézard, Léo Castex, Jean-Michel Decoud, Jean-François Dhôte, Patrice Hirbec, Laurence Lefèbvre, Pierre Leroy, Alain Macaire, Jérôme Piat, Thierry Sardin,

Maquette, impression et routage

Imprimerie ONF - Fontainebleau

Conception graphique

NAP (Nature Art Planète)

Crédit photographique

page de couverture : Yvan Sevrée, ONF

Périodicité

4 numéros ordinaires par an
(possibilité d'édition resserrée en numéro double)
+ hors séries apériodiques

Accès en ligne

<http://www.onf.fr>
(rubrique Lire, voir, écouter/Publications ONF/Périodiques)

Disponibilité au numéro, abonnement

Renseignement : cellule de documentation technique,
boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau Contact :
dtcb-documentation@onf.fr
ou par fax : 01 64 22 49 73

Dépôt légal : décembre 2010

Ce hors série a été coordonné par Erwin Ulrich, responsable du réseau RENECOFOR, avec l'aide de Bernard Vannière (retraité, ancien chef du Département Recherche ONF) et Christine Micheneau.

Citation recommandée

■ du hors-série dans son entier : Office national des forêts. Direction technique et commerciale bois, 2010. Sylviculture des chênaies dans les forêts publiques françaises. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n° 5. 72 p.

■ d'une contribution du hors-série : SARDIN T., 2010. Le guide des chênaies continentales - Points communs et différences avec les sylvicultures de la chênaie atlantique. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors série n°5 « Sylviculture des chênaies dans les forêts publiques françaises », pp. 14-20

sommaire

Hors-série n°5

Les guides de sylviculture

- 3 — Trois ans d'application du guide des sylvicultures de la chênaie atlantique
par Pascal Jarret
- 14 — Le guide des chênaies continentales - Points communs et différences avec les sylvicultures de la chênaie atlantique
par Thierry Sardin

Les questions économiques

- 21 — Comparaison économique des itinéraires sylvicoles en chênaie sessiliflore continentale
par Thierry Sardin et Frédéric Mothe
- 30 — Valoriser la production de chêne : des marchés exigeants, une sylviculture appropriée
par Claude Robert et Benoît Généré

Quelques apports de la recherche

- 37 — Conversion de chênaies en futaie régulière : quel impact sur la biodiversité ?
Illustration en forêt domaniale de Montargis
par Emmanuelle Dauffy-Richard, Laurent Bergès, Philippe Bonneil, Richard Chevalier, Frédéric Gosselin
- 47 — Gourmands et autres épicomiques du chêne sessile
Mise en place sur les troncs, dynamique et contrôle sylvicole
par Francis Colin, Florence Fontaine, Sandrine Verger et Didier François
- 58 — Sylviculture du chêne sessile et du chêne pédonculé
Réponse des jeunes peuplements aux dépressages
par Christine Deleuze et Jean-Pierre Renaud
- 68 — Les ressources génétiques des arbres face aux changements climatiques :
les différentes réponses
par Alexis Ducousso

Avant-propos

Depuis longtemps, la sylviculture des chênaies est en quelque sorte le fleuron de la foresterie française. Mais il a fallu attendre la publication du guide de la chênaie atlantique en 2004 puis celle du guide des chênaies continentales en 2008 pour que cette sylviculture, qui recouvrait une certaine disparité de pratiques, soit clairement formalisée selon les caractéristiques biogéographiques des grands bassins de production et en s'appuyant sur des réponses robustes de la recherche aux questions des praticiens.

Avec un peu de recul, ce numéro hors-série des Rendez-vous techniques s'intéresse à la conduite des chênaies publiques en application de ces deux guides, qui diffèrent par les caractéristiques de leurs domaines respectifs mais répondent aux mêmes principes directeurs. En écho à la discussion des règles de sylviculture, il donne un aperçu des réflexions économiques et des travaux scientifiques qui ont aidé à les établir. C'est en particulier l'occasion de présenter l'analyse réalisée en 2000 par Pierre Duplat sur les données des essais « chêne » du département R&D, analyse qui a donné des bases solides à la sylviculture juvénile.

Par ailleurs, les dispositions des guides intègrent les directives générales en vigueur pour la conservation de la biodiversité, qui concernent l'ensemble des écosystèmes forestiers. Nous n'y revenons pas ici. Dans le cas des chênaies, cependant, les critères de choix du traitement font une large place à la futaie régulière et une grande partie des peuplements issus de taillis-sous-futaie, encore très fortement représentés, est donc vouée à la conversion. Le Cemagref s'est saisi de la question de l'évaluation des impacts de cette conversion sur la biodiversité et nous livre le résultat d'une étude conduite en forêt de Montargis.

Enfin nous ne faisons qu'effleurer les problèmes d'adaptation aux changements globaux, avec une réflexion sur les mécanismes génétiques de l'adaptation des chênes aux changements climatiques attendus. Mais le sujet est loin d'être épuisé : de nombreux travaux de recherche sont en passe d'aboutir sur l'évolution de la productivité des chênaies à moyen et long terme, sur la vulnérabilité respective des chênes sessile et pédonculé, et sur les modalités pratiques de la substitution sessile/pédonculé dans les situations où elle sera jugée pertinente.

Ce numéro hors-série n'est donc pas une « somme » définitive de connaissances. Il témoigne de ce que nos guides ne sont pas figés : ce sont des références à faire vivre à mesure de l'avancée des savoirs et des retours d'expérience.

Le Directeur technique et commercial bois,
Bernard Gamblin

Trois ans d'application du guide cultures de la chênaie atlantique

Le guide des sylvicultures de la chênaie atlantique publié en 2004 est le premier d'une collection ONF destinée à couvrir progressivement les principaux écosystèmes forestiers publics français. Il ne vise surtout pas à « figer » la sylviculture mais à constituer une référence à faire « vivre » au fur et à mesure de l'amélioration des savoirs scientifiques et des retours d'expérience sur son application. C'est pour cela que, dans le cadre d'une mission confiée par la Direction Technique et Commerciale Bois, Pascal Jarret a réuni après trois ans un « séminaire des gestionnaires de la chênaie atlantique ». La démarche, qui servait aussi de « pilote » pour le suivi des autres guides de sylviculture, s'avère riche d'enseignements.

Réunis dans le département de l'Allier du 8 au 10 octobre 2007, les « chêniers » ont dressé un premier bilan après 3 ans d'application du guide des sylvicultures de la chênaie atlantique (5 ans en Centre-Ouest). Il s'agissait de faire le point sur le développement technique engagé dans l'ensemble du bassin de production en application du guide et d'échanger sur les difficultés rencontrées. Une trentaine de responsables de services forêt et experts de terrain, représentant douze agences réparties dans quatre Directions territoriales (de l'époque) ont participé à ce séminaire. Les équipes de recherche concernées

ont été invitées à présenter leurs travaux, notamment sur les conséquences attendues du changement climatique. Une tournée dans les forêts domaniales de l'Allier a permis de confronter les analyses avec les réalités de terrain.

Cet article rend compte des échanges très riches de ce séminaire et des conclusions et arbitrages qui en ont découlé, immédiatement ou après des tournées d'approfondissement ciblées sur certains points particuliers. Après un bref rappel des préconisations sylvicoles et un regard sur le « déploiement » auprès des sylviculteurs, il dresse un bilan

détaillé de l'application du guide et en tire les conclusions concernant le management technique, les besoins de recherche et, évidemment, les recommandations sylvicoles.

Les points clés de la sylviculture de la chênaie atlantique

au centre-ouest du territoire métropolitain, le « terroir » de la chênaie atlantique constitue le plus grand bassin mondial de production de chêne sessile à grain fin (figure 1 p. 4). Il s'agit d'un paysage de plaine bordé de collines (altitude de 100 à 400 mètres), où la forêt occupe

Séminaire des Gestionnaires de la Chêne atlantique

8-10 octobre 2007, Prieuré de Gros-Bois (Allier)

Le séminaire a réuni au total 37 participants dont 5 chercheurs « externes » et 32 personnels techniques ONF impliqués dans la sylviculture de la chênaie atlantique à tous les niveaux, de la direction générale à l'UT :

- Direction Technique (4) ; Inspection Générale (1)
- DT Centre Ouest (4) ; Agence de Bourges (2) ; Agence de Blois (2) ; Agence d'Orléans (2)* ; Agence de Poitiers (2) ; Agence de Nantes (2)
- DT Auvergne-Limousin (2) ; Agence de Moulins (4)
- DT Île de France – Nord-Ouest (2) ; Agence de Fontainebleau (1) ; Agence de Versailles (1) ; Agence d'Alençon (1)
- DT BCA, Agence de Nevers (1)

Ce public comptait notamment 6 membres du groupe de travail constitué pour l'élaboration du guide (les personnes encore en activité dans le bassin de production).

* dont François CHIEZE, jeune retraité de l'UT de Montargis, véritable expert de cette sylviculture

classiquement les sols les plus pauvres. Le climat y est marqué par des hivers doux et une faible pluviométrie (500 à 800 mm/an), avec un net déficit hydrique en période estivale. Ces conditions conviennent singulièrement au chêne sessile, avec la particularité d'un accroissement en diamètre limité par la faible production de bois d'été. La régénération naturelle est facile du fait de la fréquence des glandées.

Les objectifs de production

En forêt domaniale, les peuplements réguliers ou régularisés dominent largement avec 80 % de la surface des chênaies. Ils assurent une production de chêne à grain fin de très haute qualité, mais avec de trop faibles diamètres à l'âge d'exploitabilité (55/60 cm à 180 ans en moyenne), résultat d'une sylviculture trop prudente. On peut viser une bien meilleure rentabilité économique avec la production de bois plus gros (70 à 80 cm) au même âge, à condition de ne pas remettre en cause la régularité des accroissements et de rester dans la gamme des grains fins avec des largeurs de cernes ne dépassant pas 2,5 mm par an.

Le guide fournit les scénarios sylvicoles permettant d'atteindre ces objectifs, en fonction des grands contextes stationnels et de leur fertilité. Ces référentiels sont proposés en nombre de tiges (N) et en surface terrière (G), avec priorité à N avant 100 ans et à G après 100 ans. À hauteur équivalente, la densité visée est d'autant plus élevée que la fertilité est bonne afin de rester dans la gamme des grains fins. Le mélange d'essences est recherché à tous les stades de la vie des peuplements, le plus souvent par strates sous forme d'un sous-étage fourni et diversifié au stade adulte quand la station le permet.

Une sylviculture dynamique

On ne détaillera pas ici les préconisations pour les peuplements de chêne pédonculé, qui sont le plus

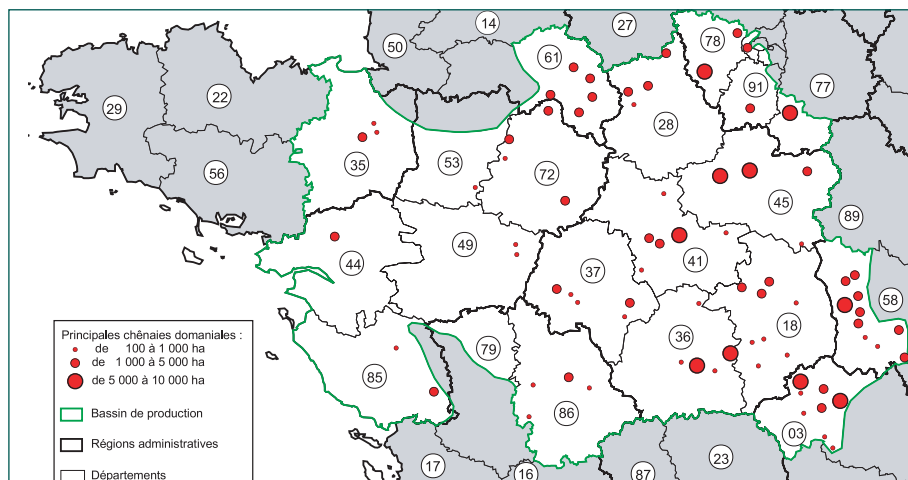


Fig. 1 : le bassin de production de la chênaie atlantique, avec la localisation des principales forêts domaniales

souvent hors station, ni celles qui concernent la conversion des peuplements issus de taillis-sous-futaie (20 % des chênaies) en futaie régulière ou en futaie irrégulière.

Au stade du renouvellement des peuplements,

on privilégie largement la régénération naturelle. Elle est conduite rapidement sur 10 à 12 ans de manière à assurer une continuité de l'ambiance forestière et du couvert ligneux des semenciers au peuplement naissant, sans passer par le stade de lande herbacée à semi-ligneuse avec tous les risques de blocage de la régénération qu'il comporte. Les travaux préparatoires sont limités au strict nécessaire. On utilise l'ensemble du potentiel ligneux existant, quelle que soit l'essence, en se contentant de régénérations claires et mélangées dont la densité minimale est fixée par le guide. Les dégagements sont conduits à partir de cloisonnements sylvicoles de type 6 mètres d'entraxe, et adaptés à l'intensité de la concurrence en n'intervenant que quand l'essence objectif est menacée. Mais l'abondance et la fréquence des glandées conduisent souvent à des régénérations denses et pures où il sera difficile de recruter un sous-étage diversifié dont le rôle éducatif est essentiel pour la qualité de la production.

Au stade de la qualification des tiges

après 3 m de hauteur, on limite strictement le nombre des interventions en visant à sauver un nombre suffisant de tiges de chêne (≈ nettoyage), ou à leur éviter une compression prolongée qui serait préjudiciable à leur vitalité et au mélange d'essences (≈ dépressage). Cela se traduit par la recommandation d'un façonnage du peuplement vers 6 m de hauteur destiné à réduire fortement la densité des tiges et à doser le mélange : la densité visée est de 3 600 tiges/ha dans des peuplements qui peuvent en comporter plusieurs dizaines de milliers. Ce façonnage permet généralement d'attendre les premières éclaircies qui poursuivent la réduction de densité du peuplement selon le référentiel approprié (fertilité). Si le façonnage n'a pas eu lieu, c'est au stade de ces premières éclaircies qu'est engagée la forte réduction de densité du peuplement en privilégiant alors un marquage en réserve.

Lorsque la phase de qualification est terminée

et que l'on peut juger de la qualité des billes de pied (en général avant la 3^{ème} éclaircie, vers 18 m de hauteur dominante), on pratique une sélection des arbres objectif au profit desquels s'exerceront les éclaircies à rotation de 8 à 10 ans. Ces

¹ Ainsi définie par la phrase qui précède, la notion de façonnage se substitue, dans le guide des sylvicultures de la chênaie atlantique, à celle de nettoyage-dépressage

arbres objectif, sont choisis d'abord pour leur vigueur et leur qualité, et secondairement en fonction de leur répartition spatiale à raison de 55 tiges/ha en très bonne fertilité (80 tiges/ha en faible fertilité).

Dans les peuplements adultes actuels, souvent en excès de densité, le guide prescrit des décapitalisations raisonnées en fonction de la surface terrière afin d'améliorer leur stabilité et la vitalité individuelle des tiges (avec un objectif moyen de l'ordre de 25 m² après coupe, et augmentant progressivement sans jamais dépasser 30 m²/ha). Ces coupes d'amélioration particulières conduisent à des récoltes qui compensent en partie l'allongement du cycle de production dans les peuplements n'ayant pas atteint les diamètres d'exploitabilité aux âges prévus. Le même référentiel en surface terrière est également utilisé pour les éclaircies dans les îlots de vieillissement.

Les conséquences de l'ensemble de ces directives sont globalement favorables à la biodiversité, et des consignes particulières sont prévues pour la gestion d'habitats remarquables (et pour des sites à forte pression d'accueil du public). Le guide insiste en outre sur la nécessité des cloisonnements d'exploitation, à la fois pour permettre la mécanisation des premières éclaircies et pour protéger efficacement les sols.

Une référence majeure que tous les sylviculteurs concernés ont dû s'approprier

pour assurer sa mise en œuvre effective, le guide a fait l'objet d'un large effort de formation au sein de l'ensemble du bassin de production ; à la date du séminaire, tous les personnels concernés avaient bénéficié d'au moins une session de cette « formation continue obligatoire ». Ces formations sont très bien acceptées dès lors qu'elles

s'inscrivent dans le cadre d'une stratégie claire, dans laquelle toute la hiérarchie est impliquée, de l'ouvrier forestier au directeur territorial.

En fonction de leur organisation, les directions territoriales (DT) concernées ont adopté deux stratégies de déploiement différentes :

- formation complète et adaptée au type de public (personnels techniques ou ouvriers) entièrement prise en charge par la direction forêt sur une courte période en DT Centre-Ouest (DTCO) ; les personnels de la Nièvre et de l'Allier ont également participé à ces formations ;
- formation des animateurs sylvicoles des agences par la direction forêt en DT Île de France - Nord-ouest (DTIDFNO), avec démultiplication progressive par thèmes selon des plans d'action annuels (formations mixtes personnels techniques et ouvriers).

La première garantit une meilleure cohérence de la politique mise en œuvre, mais représente une charge beaucoup plus lourde pour la Direction Forêt et suppose donc un effectif approprié. La deuxième, avec les stages mixtes personnels fonctionnaires/ouvriers forestiers, permet des échanges intéressants, notamment en matière de travaux. Mais le même stage ne peut répondre aux attentes des uns et des autres dont les points d'intérêt sont différents.

Dans les deux cas, le déploiement repose sur deux types de formations, avec d'abord une phase d'appropriation du guide, puis une phase très pratique de mise en œuvre. Car, comme on a pu le constater, l'appropriation des recommandations du guide par les stagiaires ne garantit pas leur mise œuvre, surtout pour les personnels ayant une longue pratique différente.

Les formations d'appropriation du guide présentent les principales orientations sylvicoles retenues, ainsi que leurs justifications

(scientifiques, économiques etc.) arbitrées en fonction des enjeux de la gestion forestière. Des tournées sur le terrain illustrent ces exposés aux différents stades de la vie des peuplements, dans les principaux contextes stationnels du bassin de production. Ces stages, qui durent une semaine environ, sont un temps privilégié d'échanges où il est intéressant de diversifier les métiers ainsi que la provenance des participants.

Les formations pratiques de mise en œuvre exigent que les stagiaires aient suivi la formation d'appropriation et s'organisent de préférence par équipes habituelles (équipes d'ouvriers ou unités territoriales). Pour les ouvriers forestiers, la formation porte sur les dégagements de régénération et le *façonnage* du peuplement au stade éducation, dans les conditions habituelles de travail de l'équipe. Pour les personnels fonctionnaires, trois interventions sont principalement visées :

- la première éclaircie dans un perchis dense où la comparaison marquage en abandon et en réserve permet de constater que seule cette deuxième modalité permet d'atteindre la densité voulue. Mais la vigilance s'impose alors pour ne pas tomber à des densités trop faibles ;

- la désignation d'arbres objectif, opération la plus technique dans la sylviculture des chênaies et pour laquelle on constate encore des pratiques très diverses, même quand les principes paraissent acquis (voir encadré et figure 2 p. 6) ;

- la décapitalisation en amélioration d'un peuplement adulte en surdensité. S'il est difficile de remettre en cause ses repères, il l'est encore plus d'en trouver de nouveaux : c'est ainsi que l'on a vu des personnels passer en futaie de chêne adulte de prélèvements en surface terrière de 2 m²/ha, essentiellement sanitaires, à des prélèvements excessifs de 10 m²/ha plus proches d'une coupe d'ensemencement que d'une coupe d'amélioration.

**Présentation d'un atelier de formation sur la désignation d'arbres objectif en chênaie atlantique
(durée de l'atelier : une demi-journée)**

1 – Implantation du dispositif :

- sélectionner un peuplement de 0,5 ha (4 bandes de 25 m de large sur 50 m de long) au stade de la désignation d'arbres objectif
- numéroté toutes les tiges, enregistrer leur diamètre et leur statut social
- avec un groupe d'experts : déterminer une désignation type en application du guide de sylviculture, identifier les principales erreurs possibles (tiges d'élite à désigner obligatoirement, chêne pédonculé ou mauvaises tiges dominantes à ne pas désigner ainsi que les situations à choix multiple)

2 – Mise en œuvre de l'exercice :

- présenter la parcelle, son histoire et ses caractéristiques dendrométriques (sans préciser la surface de l'atelier)
- répartir l'équipe de 8 à 12 participants à raison de 2 à 3 par bande
- demander aux participants de procéder à la désignation conformément à leur pratique habituelle (ou d'après ce qu'ils ont retenu de la formation d'appropriation pour ceux qui n'ont pas encore pratiqué de désignation)
- L'exercice est individuel, chacun ayant un ruban de désignation de couleur différente. Il est demandé de ne pas tenir compte de la désignation des autres stagiaires dans la bande. A l'issue de sa désignation dans chaque bande, chacun des stagiaires enregistre les tiges qu'il a désignées, enlève ses rubans et passe à la bande suivante.

3 – Analyse chiffrée du travail individuel des stagiaires :

- Chacun procède aux calculs suivants à partir des données enregistrées lors de l'implantation du dispositif : nombre total de tiges désignées, répartition par statuts sociaux et diamètre moyen des tiges désignées.
- Analyse collective des résultats individuels, comparaison avec les directives du guide de sylviculture

4 – Correction de l'exercice :

- Chacun réimplante sa désignation dans la première bande, le résultat est analysé collectivement et comparé avec la désignation-type.

- Même exercice dans la 2^{ème} bande, mais il est ensuite demandé collectivement aux stagiaires de proposer une désignation consensuelle. Elle est comparée avec la désignation type.
- Sans reprendre leur exercice individuel initial, les stagiaires procèdent dans la 3^{ème} bande à une désignation collective que l'on compare avec la désignation type
- Selon le temps disponible, même exercice dans la dernière bande et martelage du peuplement

5 – Principaux constats :

- La réimplantation de la désignation de tous les stagiaires est spectaculaire, et conduit à une véritable prise de conscience par chacun de l'écart entre sa pratique et les recommandations du guide
- Très grande hétérogénéité des pratiques, y compris au sein d'une même UT
- Très peu d'erreurs sur les tiges d'élite qui sont bien désignées, sauf quand elles sont jugées trop proches par certains
- Tendance générale à désigner trop de tiges, couramment 2 voire 3 fois trop. Avec dans certains cas confusion entre marquage en réserve et désignation d'arbres objectif
- Trop d'importance donnée à l'allure générale de l'arbre par rapport à la qualité de la bille de pied, ce qui conduit à désigner trop de codominants au détriment des dominants, et à un diamètre moyen des arbres désignés trop faible.
- Alors que les corrections des 2 premières bandes font l'objet de nombreuses discussions, les désignations proposées par les stagiaires dans les 2 dernières bandes sont toujours bonnes
- Après rappel des consignes, les martelages sont rapides et très généralement bons

A l'issue de l'atelier, le résultat est donc extrêmement satisfaisant, mais qu'en reste-t-il après une ou deux saisons ? Il sera intéressant d'organiser dès que possible un stage sur un nouveau marteloscope pour vérifier l'évolution des pratiques.

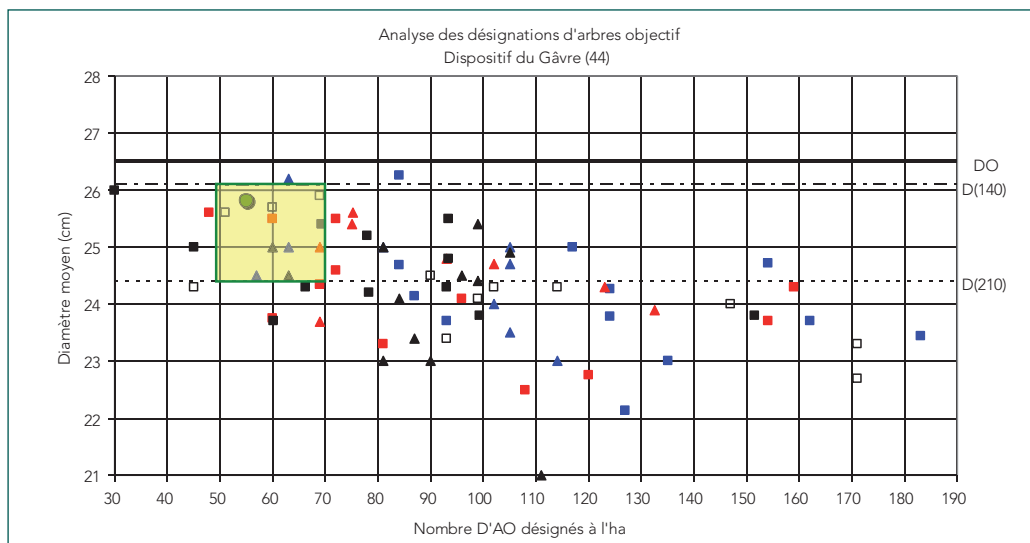


Fig. 2 : synthèse de la désignation de 74 stagiaires répartis dans 7 UT (UT d'origine caractérisée par le même symbole)

Les désignations correspondant aux recommandations du guide s'inscrivent dans la zone en jaune (50 à 70 tiges/ha pour un diamètre moyen compris entre ceux des 140 à 210 plus grosses tiges à l'ha), la désignation type est représentée par le rond vert.

Ces formations de base sont à compléter par une véritable formation continue, avec la formation systématique des nouveaux arrivants et des modules complémentaires pour répondre aux difficultés rencontrées : martelage en futaie irrégulière, gestion des peuplements après la phase de décapitalisation, adaptation de la gestion dans les stations hydromorphes, transformation des chênaies pédonculées...

C'est ainsi que de nombreux forestiers étaient étonnés, voire irrités, de se voir convoqués pour la première fois de leur longue carrière à un stage de martelage. Les mêmes s'étonnent maintenant parfois de ne pas recevoir une formation continue plus poussée.

L'application du guide de la chênaie atlantique

Le champ d'application : extension ou non aux chênaies limitrophes ?

Plusieurs départements périphériques au bassin de production sont désormais confrontés au choix de leur guide sylviculture de référence, entre chênaie atlantique et continentale. Tout bien pesé, on recommande plutôt de se rattacher au guide chênaies continentales qui offre une plus grande diversité de scénarios sylvicoles, et qui converge avec le guide chênaie atlantique à conditions sylvicoles et stationnelles équivalentes (cf. article de T. Sardin, figure 1 p. 15).

Application en chênaie atlantique proprement dite

Le guide est bien devenu l'outil de référence pour l'ensemble des « chêniers » du bassin de production. Cela ne signifie pas qu'il est appliqué « au pied de la lettre » partout, mais que les actions sont engagées en référence au guide et que les pratiques ont largement évolué dans le sens de ses recommandations. Aucune orientation générale n'est remise en cause ; cependant

certains ont rencontré pour l'adaptation au contexte local (stationnel ou en fonction des pratiques antérieures) des difficultés que le séminaire a permis de bien cerner pour y apporter les réponses appropriées.

Globalement, l'application du guide se traduit par :

- une évolution des pratiques sylvicoles, vers une plus grande efficacité avec la multiplication de diagnostics avant intervention, pour les travaux comme pour les coupes ;
- une diminution du coût des travaux, lesquels se rapprochent de ceux des ITTS ;
- une augmentation des récoltes, particulièrement significative dans les coupes d'amélioration des futaies adultes surcapitalisées sous le double effet de la réduction de rotation des coupes et de l'augmentation des prélèvements.

L'analyse des fiches d'article des catalogues de ventes (DTCO + Allier + Orne), réalisée par Claude Robert (Chef de produit chêne), a permis de préciser ce constat tout au long des échanges.

Les interventions recommandées aux différentes étapes de la vie des peuplements ont fait l'objet de larges échanges, en partie illustrés sur le terrain. Des problématiques complexes ont nécessité l'organisation de tournées spécifiques ultérieures. Il en est proposé un résumé dans ce qui suit.

Retours d'expérience sur le renouvellement des peuplements

Coupes de régénération

La pratique confirme les recommandations du guide : plus les régénérations sont rapides, moins elles sont coûteuses et moins les arbres se dégradent. Mais on peut étaler la régénération d'une parcelle dans le temps en travaillant par plages successives de 3 à 5 ha « rondement menées ». Les durées recomman-

dées de 8 à 12 ans avec 2 secondaires sont respectées, sauf dans l'Allier où la réduction n'est que progressive (de l'ordre de 15 à 16 ans en moyenne).

La pertinence des lotissements s'améliore. Mais les hêtres restent souvent conservés trop longtemps, parfois jusqu'à la coupe définitive : cela fait chuter les prix de vente et augmenter le coût des travaux de déagement.

Application des itinéraires techniques de travaux en régénération

Les ITTS de régénération naturelle existants s'avèrent bien adaptés aux principaux contextes stationnels concernés. La correction annuelle des coûts en fonction des barèmes des heures d'ouvriers et d'engins suffit à leur mise à jour.

Les cloisonnements sylvicoles de type 6 mètres sont maintenant généralisés, sauf dans l'Allier où cette technique doit encore être développée (avec priorité aux contextes stationnels à forte concurrence ligneuse).

Les interrogations sur l'avenir de l'utilisation des herbicides en forêt soulignent cependant l'urgence d'engager un travail de recherche sur les techniques de substitution : cela concerne essentiellement les stations à molinie et à fougère.

Faut-il de nouveaux ITTS pour les contextes particuliers ?

Par ailleurs les ITTS du guide ne conviennent pas dans quelques contextes très particuliers, principalement en limite de bassin de production où des tournées complémentaires ont été organisées par la DT IDFNO pour affiner la question

La régénération naturelle **en contexte de concurrence ligneuse** à très forte croissance (type *Prunus serotina*, châtaignier, érable sycomore) exige des adaptations, mais chaque espèce concurrente pose des problèmes spécifiques qui ne



P. Jarret, ONF

Retours d'expérience : présentation et discussion en salle

Difficultés pour la transformation des peuplements de chêne pédonculé

La maîtrise de la transformation des peuplements de chêne pédonculé au stade régénération devient une impérieuse nécessité dans le contexte de changements climatiques attendus.

Comme prévu par le guide, une attention particulière est à porter au choix de l'essence objectif : dans de nombreuses stations où l'on a actuellement une dominante de chêne pédonculé, on ne peut attendre une production de chêne sessile de qualité et les pins de plaine (sylvestre, maritime ou laricio, selon la station) sont à recommander. Le chêne pédonculé peut alors être cultivé en accompagnement avec les pins introduits à faible densité, en lui laissant « sa chance » si ses capacités d'adaptation sont supérieures à ce qu'on craint actuellement. L'itinéraire correspondant relève du guide des sylvicultures Pineraias des plaines du Centre et du Nord-Ouest (ITTS 3 P. X 2).

Quand la transformation en chêne sessile est justifiée, les recommandations du guide sont jugées peu pertinentes :

- « Extraire les chênes pédonculés lors de la coupe d'ensemencement » revient à favoriser leur régénération si l'on est en phase avec une glandée, car on offre alors aux semis des conditions de développement optimales. C'est en fait une dizaine d'années avant le relevé de couvert qu'il faut procéder à l'extraction des pédonculés dans des conditions ne permettant pas aux semis de subsister.

- « Détruire chimiquement la régénération de chêne pédonculé avant plantation de chêne sessile », c'est bien s'assurer de la transformation en chêne sessile mais en perdant le bénéfice de l'accompagnement ligneux dont le guide souligne tout l'intérêt pour l'obtention rapide d'un peuplement de qualité.

peuvent être résolus par un seul ITTS. Le contrôle des rejets de châtaignier fait l'objet de recommandations dans le guide de sylviculture du châtaignier dans le nord-ouest. Mais ces techniques de préparation ou de dégagement chimique risquent d'être remises en cause par l'évolution de la réglementation. Il faut donc engager un effort de recherche-développement pour mettre au point des techniques efficaces dans ces contextes.


Le recours à la **régénération artificielle** reste limité sauf dans la DT IDFNO où on souhaitait des compléments au guide, pour diminuer dans certains cas les densités de plantation et répondre aux problèmes de régénération artificielle sur sables profonds.

Pour les densités de plantation on peut, après visite de multiples chantiers, retenir les conclusions suivantes :

- il ne faut pas diminuer la densité en l'absence totale d'accompagnement ligneux : rester à 2 500 tiges par ha (ITTS 3 CHS 1) ;
- la densité de 1 650 tiges par ha préconisée en cas d'accompagnement feuillu naturel (ITTS 3 CHS 2) peut s'appliquer aux contextes où le

recrû initial est limité mais va s'étoffer rapidement vu la dynamique locale de végétation (notamment bouleau) ;

- on ne peut envisager de réduire significativement la densité de plantation à 1 100 tiges par ha que lorsqu'un fort recrû ligneux initial, notamment de charme, garantit la bonne éducation des tiges ; cela permet de réduire les coûts de plantation et d'entretien (nouvel ITTS 3 CHS 3 en préparation).

 Les faibles densités (1 650 et 1 100 tiges/ha) supposent que la question de l'équilibre forêt-gibier soit préalablement réglée !

En régénération artificielle sur sables profonds, situation qui concerne essentiellement l'Île-de-France, on constate de nombreux échecs de plantation. L'utilisation de plants trapus cultivés spécifiquement serait de nature à améliorer la reprise, et on songeait aussi à un ITTS relatif à la technique de semis artificiels. Mais, en application du guide, il faut surtout se poser la question de l'opportunité de plantations de chêne sessile dans ce contexte où on ne peut attendre qu'une production médiocre en quantité et en qualité et où les pins de plaine sont à recommander.

Quant aux exemples « réussis » de plantations de chêne sessile dans un recrû de chêne pédonculé, les visites postérieures au séminaire ont révélé qu'ils ont bénéficié jusqu'à un stade de 6 à 8 m d'une continuité de suivi exceptionnelle qu'on ne peut généraliser. Or le peuplement de chêne sessile est loin d'être acquis à ce stade si ce suivi se relâche. La plantation de chêne sessile dans un recrû de chêne pédonculé n'est pas une technique maîtrisée. L'importance de la problématique justifie un investissement en recherche-développement.

Retours d'expérience sur la conduite des peuplements

Les recommandations du guide sur la conduite des peuplements ont été examinées point par point en confrontant les préconisations à la pratique effective et aux difficultés rencontrées.

Façonnage des peuplements

L'absence d'intervention entre 3 et 6 m peut rendre la concurrence ligneuse menaçante pour le chêne durant cette période et imposer un nettoyage (principalement en chênaie-charmaie et en chênaie-hêtraie). En fait, ces situations viennent d'un déficit de dégagement en fin de régénération vers 3 m de hauteur et il faut donc redoubler de vigilance à ce stade.

Le **façonnage vers 6 m** de hauteur se fait dans certains cas à des coûts qui dépassent largement celui prévu par l'ITTS. L'analyse des chantiers concernés permet en général d'en identifier les causes et de « corriger le tir » :

- surqualité dans le travail réalisé au niveau du démantèlement des tiges coupées, de la hauteur de coupe ou de l'intervention dans le sous-étage de chêne ;
- intervention trop précoce : le seuil de 6 m est à considérer comme un minimum, en visant plutôt 7-8 m sans changer l'intensité prévue (3 100 tiges à 7 m, 2 700 à 8 m).

Au vu des résultats expérimentaux et des retours d'expérience, ce **façonnage** dans les faibles fertilités (fertilité 3) n'est pas à considérer comme une opération prioritaire.

Un **2^e façonnage vers 10 m** de hauteur est possible mais réservé, selon le guide, aux contextes où le chêne est menacé dans l'étage principal. De fait il s'impose en règle générale dans le contexte de la chênaie-hêtraie.

Premières éclaircies

Les premières éclaircies sont maintenant bien calées et font l'objet de diagnostics préalable parfois systématiques pour les 2 ou 3 premières coupes. On peut réorienter une partie de cet effort vers les étapes déterminantes de la trajectoire sylvicole recherchée : un diagnostic à la 1^{re} éclaircie, un autre à la désignation d'arbres objectif, puis vers 100 ans quand on commence le suivi en surface terrière.

L'entraxe de cloisonnements de 25 m recommandé par le guide ne permet pas les éclaircies mécanisées en plein. L'évolution vers la mécanisation paraissant inexorable, cette directive est à revoir selon les principes énoncés plus loin à propos de la protection des sols.

Désignation d'arbres objectif

Dans la sylviculture recommandée, la désignation d'arbres objectifs est une étape essentielle mais dont la technicité est parfois sous-estimée (cf. encadré p. 6) et la pratique pas assez généralisée ; d'où la nécessité d'un effort soutenu de développement sur cette opération, notamment en IDFO où cette partie du guide n'avait pas encore été déployée à la date du séminaire. Il est par ailleurs recommandé d'identifier les objectifs de désignation dans les programmes d'action des UT pour en généraliser la mise en œuvre. Quant aux difficultés rencontrées sur le terrain, elles ont été analysées comme suit.

- Il faut avoir réduit fortement la densité avant désignation, pour pouvoir juger de la vigueur des tiges. Dans les peuplements conduits trop denses, il apparaît nécessaire d'affiner les critères de déclenchement de l'opération : d'après l'examen des marteloscopes existants, on peut ajouter le critère d'atteinte d'un diamètre dominant de 25 cm.

- Dans les peuplements où la désignation est ancienne et réalisée selon des critères inadéquats (« arbres de place » recrutés parmi les codominants), il est recommandé de diagnostiquer la parcelle (Sylvie) et de ne pas hésiter à refaire la désignation si elle est vraiment inadéquante.

- L'existence d'une désignation, surtout si elle a servi de base à plusieurs éclaircies successives, est souvent considérée comme un obstacle majeur à l'implantation de cloisonnements d'exploitation quand ils font défaut. C'est une illusion qu'il faut corriger. Parmi les arbres objectif, la moitié au mieux sont des tiges d'élite ; les autres peuvent assez facilement être remplacés par un voisin presque aussi bon. Dans la pratique, on constate que l'implantation des cloisonnements d'exploitation permet de respecter pratiquement toutes les tiges d'élite en abandonnant un peu l'esprit de géométrie.

Scénarios de rattrapage

Presque tous les peuplements adultes actuels sont en situation de rattrapage. Or on constate encore fin 2007 une grande hétérogénéité des prélèvements dans le bassin de production (de moins de 2 m² à plus de 10 m²/ha en amélioration). Les extrêmes ne sont pas rares et ne paraissent généralement pas justifiés au plan sylvicole. Il faut insister ici sur la nécessaire progressivité des rattrapages : mieux vaut prélever successivement 2 fois 6 m²/ha qu'une fois 8 puis 4. Les valeurs cibles du guide sont jugées satisfaisantes, et les coupes non traumatisantes pour le peuplement, tant qu'on ne dépasse pas les



P. Jarret, ONF

Discussion en forêt sur les scénarios de rattrapage

valeurs maximales qui, rappelons-le, comprennent l'ouverture éventuelle du cloisonnement d'exploitation. Pourtant ces coupes de rattrapage soulèvent encore de nombreuses réticences dans certaines UT où l'on se demande si le niveau de récolte pourra être maintenu lors du passage suivant. L'expérience acquise dans le Berry ou le Blaisois après 2 passages en coupe à rotation de 10 ans montre que ces interrogations dans les forêts où les coupes de rattrapage ne font que commencer ne sont pas fondées. **Le bilan reste à faire pour le troisième passage en coupe de décapitalisation** alors qu'on se rapproche des valeurs du référentiel en surface terrière.

Gestion des taillis et sous-étages

Les recommandations pour le taillis ou le sous-étage sont contestées ou jugées trop générales, c'est un point faible du guide.

Le guide écarte les introductions artificielles d'essences à vocation de sous-étage en dehors du stade régénération, mais il y aurait dans plusieurs forêts domaniales des exemples d'introductions réussies au stade premières éclaircies. Vérification faite, si l'on rencontre

effectivement des introductions de hêtre réussies à ce stade, le retard pris ne lui permet jamais de jouer efficacement un rôle de sous-étage. Le 1^{er} façonnage du peuplement pourrait par contre offrir l'opportunité d'une introduction efficace, mais la technique reste à tester sur chantiers pilotes.

Si le guide insiste sur la nécessité d'intervenir dans les taillis et sous-étages, il reste imprécis sur leurs modalités pratiques. Ces interventions restent négligées au niveau gestion, avec pour conséquences un effet dépressif sur la croissance de l'étage principal, par concurrence au niveau des houppiers, ainsi qu'un déficit de récolte devant être compensé dans d'autres catégories pour respecter l'objectif de récolter globalement la production. Différentes modalités de gestion des taillis ont été testées sur le terrain dans les peuplements issus de TSF, sans qu'aucune ne donne vraiment satisfaction. Les techniques adaptées, répondant au double souci d'économiser les moyens humains et de permettre la mécanisation, restent donc à mettre au point (chantiers pilotes) selon les pistes suivantes :

- enlèvement sans marquage préalable des deux plus gros brins par cépée, bien adapté au plan sylvicole, mais difficilement mécanisable ;
- enlèvement d'une cépée sur 2 avec repérage des cépées à enlever sur le plus gros brin, mécanisable mais résultat sylvicole à confirmer ;
- coupe rase du taillis sur des bandes de 6 mètres de largeur séparées par des interbandes de même largeur, mécanisable mais résultat sylvicole à confirmer.

Protection des sols et trame de vieux bois

Protéger les sols :

le cloisonnement d'exploitation

La mise en place de cloisonnements à espacement adapté constitue la meilleure solution pour limiter le tassement des sols lors des coupes et des travaux. L'analyse de C. Robert sur les catalogues de ventes (2007) met en évidence des **équipements globalement insuffisants**, souvent inadaptés, avec une grande disparité entre agences : de 65 à 98 % de coupes cloisonnées en régénération, de 50 à 85 % en amélioration jeunes bois et de 5 à 60 % en amélioration gros bois. Les échos du terrain confirment et précisent ce constat :

■ La circulation des engins sur toute la parcelle est encore souvent jugée sans conséquence dès lors qu'on ne constate pas de scalpage ou d'orniérage, ou seulement des dégâts ponctuels ; or on enregistre 80 à 90 % du tassement des horizons de surface entre le premier et le troisième passage d'engins sur sols sensibles.

■ Quand ils existent, les cloisonnements d'exploitation sont souvent perçus comme un moyen d'accéder aux bois par tous temps alors que, pour qu'ils restent fonctionnels, il faut éviter de les dégrader et leur appliquer des mesures de protections particulières en terrains et périodes sensibles.

■ Les méthodes d'exploitation (pas d'abattage dirigé) et les engins de débardage utilisés (tracteurs

à pinces exclusivement) ne permettent pas de respecter les cloisonnements existants.

■ L'écartement des cloisonnements existants est souvent trop important pour y cantonner la circulation des engins.

Le plan d'action prévu pour **remédier à cette situation** relève désormais de l'application de la note de service nationale NDS-09-T-297 du 10/0609 :

- le cloisonnement est systématiquement installé au stade des coupes de régénération et dans les jeunes peuplements, au pas de 18 m (maximum de la fourchette) bien adapté aux jeunes futaies de chêne très hautes dont on prévoit de mécaniser les premières éclaircies (constat sur différents chantiers) ;
- dans les peuplements adultes à gros bois peu ou pas cloisonnés, on n'ouvre temporairement en amélioration que la moitié de ce réseau optimal, ce qui suffit à organiser correctement l'exploitation.

Gestion des vieux bois

Les peuplements arrivant au stade de la régénération dans la chênaie atlantique sont le plus souvent des futaies régulières (vraies ou sur souche) en excès de densité, avec de faibles diamètres et des houppiers généralement étriqués (pas de vrais dominants). Les arbres y cumulent souvent haute valeur économique et écologique (les plus gros diamètres correspondant aux arbres dont les houppiers sont les plus développés). Enfin ces peuplements couvrent des surfaces contiguës importantes homogènes au niveau des âges et des dimensions, rançon des aménagements par affectations permanentes (cantons forestiers de l'ordre de la centaine à plusieurs centaines d'hectares).

Ces particularités ont des conséquences pour la gestion de la trame de vieux bois :

- difficulté à conserver durablement

des surréserves qui ne résistent pas à l'isolement, du fait de l'historique des peuplements et du déficit de pluviométrie estivale ;

- sensibilité aux effets de lisière (pour les mêmes raisons), d'autant plus importants que la surface de l'îlot conservé est plus petite. L'étude des rares très vieux peuplements actuels permet de situer le seuil de viabilité des îlots de vieillissement à une dizaine d'hectares pour un âge de 250 à 300 ans.

Cela conduit à retenir, pour la trame de vieux bois, les orientations suivantes :

■ limiter le maintien d'arbres au niveau des coupes de régénération à des arbres à haute valeur écologique, mais faible valeur économique (chandelles, foudroyés) ou à des îlots localisés de moindre valeur économique (zones humides, lentilles sableuses) ; ces conditions sont rares à ce stade ;

■ garantir la continuité spatio-temporelle des gros bois au niveau des cantons en s'assurant, avant régénération d'une parcelle, de la proximité de gros bois. La mise en place d'îlots de vieillissement ou de parcelles labels est à envisager quand la programmation des régénérations ne permet pas d'assurer cette continuité.

Les **îlots de vieillissement** et des parcelles label arrivent le plus souvent au stade de la régénération « normale » en excès de densité. Leur gestion, très discutée, n'est finalement pas un problème : **le référentiel en surface terrière du guide, indépendant de l'âge, leur est totalement applicable** pour définir les niveaux de prélèvement.

Conclusions et décisions

Ce premier séminaire pour l'application d'un guide de sylviculture a parfaitement rempli ses objectifs.

En terme de management technique, il a renforcé la détermination

des gestionnaires qui y ont participé à généraliser l'application du guide sylviculture. Il a permis d'identifier :

- Les problématiques techniques justifiant un accroissement de l'effort de développement. Il s'agit principalement de la désignation d'arbres objectif et de la généralisation des cloisonnements d'exploitation.
- Les services ou départements restant en retrait dans le déploiement du guide
- Les besoins en formations complémentaires : le martelage en futaie irrégulière, la gestion des peuplements après décapitalisation, l'adaptation de la gestion dans les stations hydromorphes et la transformation des chênaies pédonculées.

Un point a fait l'unanimité de l'ensemble des participants : la nécessité de **renforcer le management technique dans un bassin de production aux enjeux de production particulièrement élevés**.

L'élaboration et le déploiement du guide ont créé une dynamique qui pourrait retomber faute de management de proximité suffisant : tournées de programmation, de suivi et de contrôle des coupes et travaux, directives pratiques suite aux diagnostics, retours terrain sur les réalisations, direction des martelages, etc.

Les **échanges gestionnaires/chercheurs** ont été à bénéfices réciproques. Les gestionnaires ont pu prendre connaissance de manière privilégiée des derniers résultats de la recherche (voir encadré). Les chercheurs (ONF et partenaires) ont pu mesurer les attentes des gestionnaires, qui ont suggéré de nombreuses pistes de recherche ou de développement. Il s'agit en particulier :

- d'approfondir les analyses des essais dépressage en mesurant l'effet sur l'ensemble du peuplement, et pas seulement sur des tiges d'avenir présélectionnées ;
- de la conduite des régénérations dans des contextes particuliers de

L'évolution des connaissances

Les scientifiques invités ont tous répondu positivement pour présenter les résultats récents de leurs travaux dont quelques-uns sont développés dans les articles de ce numéro. Ces présentations ont donné lieu à de larges échanges avec les gestionnaires, leurs conséquences pratiques résumées ci-dessous confortant globalement les orientations du guide des sylvicultures de la chênaie atlantique.

■ Présentation de Frédéric MOTHE (LERFOB Nancy) : simulation multicritère de l'impact de sept scénarios sylvicoles appliqués au chêne sessile : production, recette, écologie et emplois.

À diamètre final équivalent (75 cm), sylviculture « claire » (voisine de celle recommandée par le guide) et sylviculture « traditionnelle » présentent des bilans globalement très voisins, mais avec un gain de 35 ans sur la révolution. Le scénario « îlot de vieillissement » correspondant aux parcelles labels du guide de sylviculture apparaît particulièrement performant en matière de multifonctionnalité.

■ Présentation de Jean-Daniel BONTEMPS (LERFOB Nancy) sur l'évolution de productivité du chêne sessile.

La date (de naissance des peuplements ?) apparaît comme un facteur de variabilité important de fertilité pour le chêne sessile, avec un gain de productivité de l'ordre de 50 % en un siècle en liaison avec l'augmentation du CO₂, des dépôts azotés, etc. Avec une conséquence certaine : il devient impossible de viser à la fois un diamètre objectif donné (70-80 cm), un âge d'exploitabilité (170-190 ans) et un accroissement objectif (2 à 2,5 mm maxi).

Ces travaux, qui devraient être publiés prochainement dans des revues scientifiques majeures sont les bases du futur guide de sylviculture à fertilité variable dans le temps, guide à prévoir à échéance de 10-15 ans.

■ Présentation d'Alexis DUCOUSSO (INRA Pierroton) Conséquences prévisibles des changements climatiques sur les chênaies.

L'intensité et la rapidité du changement climatique annoncé sont sans précédent depuis le dernier réchauffement postglaciaire. À exigences équivalentes, l'aire potentielle des espèces va se déplacer de manière importante vers le Nord. Est-ce que les espèces forestières pourront répondre à ces changements en un laps de temps si court ?

On peut rester raisonnablement optimiste pour le chêne sessile du fait de sa diversité génétique élevée, de son haut pouvoir de dispersion du pollen et d'une bonne capacité adaptative par rapport à l'élévation de température qui pourrait dans un premier temps se traduire par une augmentation de productivité.

Les règles de bonne gestion actuelles en matière de génétique des peuplements ne sont pas à remettre en cause à court terme, mais un effort de recherche important est à engager pour accompagner, voire anticiper les changements attendus.

■ Présentation de Francis COLIN (LERFOB Nancy) et Florence FONTAINE (Université de Reims) sur les formations épïcormiques du chêne (gourmands, picots, broussins...).

Ces formations ont une forte influence sur la qualité commerciale des grumes de chêne. Au stade juvénile, l'éclaircissement favorise les pousses feuillées, mais la forte densité maintient un effectif

de bourgeons plus important : seules des interventions très violentes, d'une intensité supérieure aux recommandations du guide chêne, ont une influence significativement défavorable pour le développement de bourgeons en amas.

Au stade adulte, l'influence favorable d'un sous-étage diversifié et bien développé est confirmée. L'hypothèse d'une origine génétique de la brogne ne serait pas confirmée. Enfin, l'utilisation du scanner permet d'espérer progresser rapidement dans la connaissance du phénomène.

■ Présentation de Sandrine VERGER (Service Recherche Direction Forêt DTCO) sur la synthèse après 15 ans de suivi des essais de dépressage des chênes.

Sur un échantillon de tiges d'avenir sélectionné préalablement à l'intervention, on constate une augmentation forte et durable de la croissance en diamètre en fonction de l'intensité du dépressage, d'autant plus nette que la fertilité est élevée. L'élagage est temporairement ralenti. Les essences d'accompagnement en sous-étage profitent de l'intervention quand elles sont présentes. Il serait nécessaire de préciser ce constat sur l'ensemble du peuplement en procédant à une nouvelle désignation de tiges d'avenir après quinze ans, et en comparant les modalités d'intervention sur cette population.

L'intensité de dépressage recommandée par le guide constitue un bon compromis, mais le stade d'intervention serait à retarder un peu : plutôt 3 100 tiges à 7 m que 3 600 à 6 m (diminution du coût des travaux, meilleure efficacité et période d'attente de la 1^{ère} éclaircie moins pénalisante).

L'intérêt du dépressage n'est pas confirmé dans les plus faibles fertilités, très peu représentées sur le terrain (< 10 % des peuplements).

■ Présentation de Sandrine VERGER (Service Recherche Direction Forêt DTCO) sur le dépérissement du chêne pédonculé en FD de Vierzon, présentation du programme de recherche DRYADE.

On observe un dépérissement de chêne pédonculé particulièrement important depuis l'année 2000 en FD de Vierzon. Il s'agit de peuplements dans des conditions stationnelles difficiles, avec un historique sylvicole défavorable.

Le dépérissement touche toutes les classes d'âge, quels que soient le statut social des tiges ou la densité du peuplement. Toute intervention sylvicole, notamment les coupes sanitaires, accélère le dépérissement du peuplement restant. Cela a conduit à mettre en œuvre un diagnostic systématique des peuplements dépérissants : à moins de 30 % de chênes en classe DEPEFEU 3 et +, on abandonne toute intervention sylvicole ; au-delà, on engage la coupe rase du peuplement et la substitution d'essence au profit du chêne sessile ou des pins en fonction de la station.

Le volet chêne pédonculé-Vierzon du programme de recherche Dryade (2007-2010) vise à améliorer les diagnostics de dépérissement (images satellitaires), analyser les facteurs déclenchants et aggravants (avec une forte suspicion sur le rôle de l'oïdium). Alors que le phénomène paraît s'étendre à d'autres massifs forestiers, le dépérissement de Vierzon pourrait constituer les prémices d'un dépérissement de grande ampleur lié au changement climatique.



P. Jarret, ONF

Discussion en forêt sur la gestion des vieux bois

concurrence ligneuse à très forte croissance ;

- de la recherche de techniques de substitution aux herbicides ;
- de la transformation de peuplements de chêne pédonculé en sessile ;
- de tester l'implantation de sous-étage au stade du *façonnage* du peuplement ;
- de mettre au point des modalités d'éclaircies mécanisables de taillis et de sous-étage, dans un souci d'économie de moyens humains.

Enfin, à l'issue de débats animés, **le guide de sylviculture ressort globalement conforté**, aussi bien par les résultats de la recherche que par les retours d'expérience des gestionnaires. Toutes les pro-

positions d'adaptation ont été examinées, certaines n'ayant pas de suite justifiée. Les principales décisions portent sur des ajustements ou des compléments par rapport aux recommandations techniques du guide :

- utiliser de préférence le guide des sylvicultures des chênaies continentales en périphérie du bassin de production, notamment au nord de la Seine ;
- pour la régénération des peuplements mélangés chênes sessile et pédonculé, procéder à l'extraction des pédonculés une dizaine d'années avant le relevé de couvert ;
- repousser de 6 à 7 m le seuil de déclenchement du *façonnage*, sans changer l'intensité prévue (soit 3 100 tiges par ha pour $H_o = 7$ m) ;

- ne pas considérer le *façonnage* comme une opération prioritaire dans les faibles fertilités (fertilité 3) ;
- pour le déclenchement de la désignation des arbres objectif dans les peuplements conduits trop denses, compléter le critère hauteur par un critère diamètre dominant fixé à 25 cm ;
- ajuster les recommandations relatives aux cloisonnements d'exploitation conformément aux dispositions de la NDS-09-T-297 pour permettre la mécanisation des premières éclaircies et limiter efficacement la circulation des engins dans les parcelles ;
- en futaie régulière (vraie ou sur souche), ne pas conserver d'arbres de qualité en surréserves au-delà de la coupe définitive, et privilégier la création d'îlots de vieillissement de 10 ha minimum ou à l'échelle de parcelles entières dans le cadre de parcelles label ;
- appliquer le référentiel en surface terrière pour la gestion des îlots de vieillissement et des parcelles label.

Un séminaire du même type est en préparation pour 2011, selon le vœu des participants de faire ainsi le point tous les 3 ou 4 ans. Il portera notamment sur les sylvicultures de rattrapage, d'après l'expérience des forêts où elles sont engagées depuis le plus longtemps.

Pascal JARRET

Directeur forêt

ONF – DT Centre Ouest

– Auvergne-Limousin

Le guide des chênaies continentales Points communs et différences avec les sylvicultures de la chênaie atlantique

Le guide des chênaies continentales repose sur les mêmes principes directeurs que celui de la chênaie atlantique, mais la plus grande hétérogénéité du domaine et des forêts concernées conduit à une plus grande diversité de scénarios sylvicoles. Avec en particulier des itinéraires à cernes larges et âge d'exploitabilité réduit, correspondant à des éclaircies plus dynamiques, ou du détourage. Mais, à conditions équivalentes, les recommandations des deux guides sont convergentes : il faut simplement comprendre que la sylviculture « classique » du domaine continental correspond à la sylviculture « dynamique » de la chênaie atlantique.

Quatre années après la sortie du premier guide de sylvicultures biogéographique pour la chênaie atlantique, l'ONF a publié le guide des sylvicultures des chênaies continentales. Cet article présente, ce nouveau guide, sans toutefois rentrer dans le détail technique, en faisant régulièrement le parallèle avec le premier.

Il commence par une très brève description du champ d'application et présente dans une deuxième partie les principaux éléments forts ayant présidé au choix et à l'élaboration des itinéraires sylvicoles.

Les préconisations sylvicoles en matière de renouvellement et de conduite des peuplements en futaie régulière ne sont pas décrites, seules celles qui sont novatrices ou différentes de celles de la chênaie atlantique sont exposées respectivement en troisième et quatrième parties.

Le champ d'application

Le secteur géographique

Le champ d'application du guide des chênaies continentales porte sur au

moins 20 % du territoire métropolitain, le grand Nord-Est. Il comprend en tout ou partie 8 régions administratives et 20 départements (figure 1). Ce vaste territoire recouvre des contextes géologiques complexes et de multiples influences climatiques, avec 15 secteurs biogéographiques relevant globalement du domaine continental (figure 2). Il diffère en cela de celui de la chênaie atlantique où les conditions climatiques sont homogènes, avec notamment une sécheresse estivale marquée.

Le cadre biogéographique régissant la distribution des habitats, les chênaies continentales offrent une multitude de facettes, liées également aux histoires sylvicoles variées, que le gestionnaire doit s'efforcer de prendre en compte et mettre en valeur. Cela s'est traduit logiquement par une palette d'itinéraires possibles plus large que pour le guide de la chênaie atlantique. Par exemple, l'irrégularité des glandées observée pour une partie des chênaies continentales nécessite une pratique

différente de celle de la chênaie atlantique où les glandées sont très régulières.

Les délimitations données au champ d'application du guide des chênaies continentales, comme à celui de la chênaie atlantique, n'ont pas un caractère absolu. Les gestionnaires en zone de bordure ou dans les régions limitrophes trouveront dans chacun des guides des informations sur les contextes et situations pour lesquels les itinéraires proposés peuvent y être appliqués. Cela concerne particulièrement les chênaies de Normandie (Basse-Normandie et Haute-Normandie), de l'Oise et de la Somme ; elles ne sont incluses dans aucun des deux guides, ce qui obligera le gestionnaire à choisir, pour chaque forêt et selon les caractéristiques stationnelles, climatiques, historiques, le guide le plus pertinent... Si les peuplements connaissent une sécheresse estivale plus ou moins marquée qui conduit à une croissance en diamètre faible (peu ou pas de bois d'été), il se référera plutôt au guide de la chênaie atlantique.

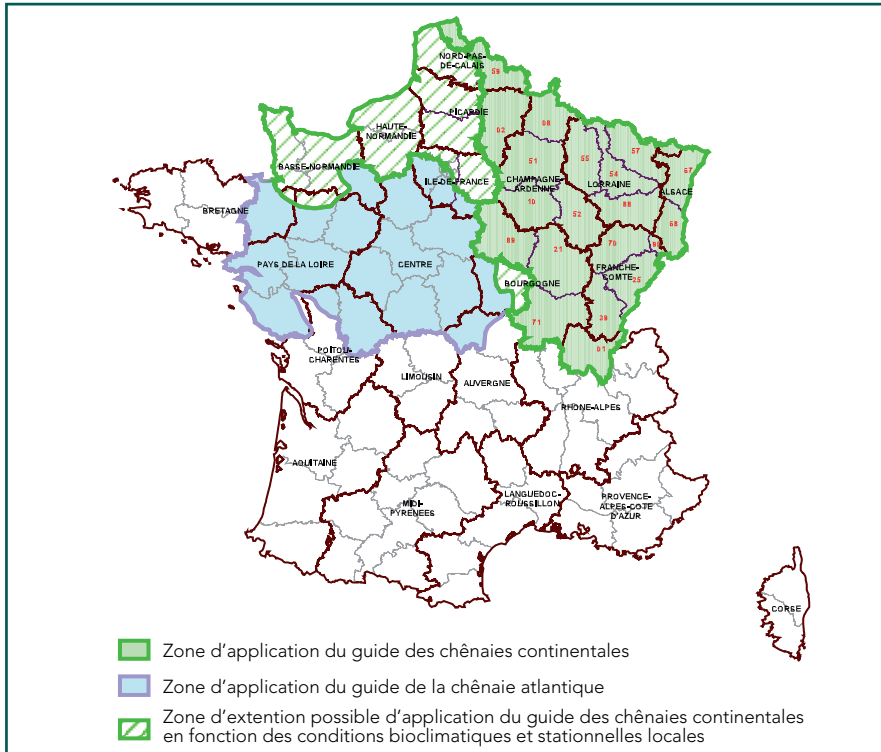


Fig. 1 : zones d'application des guides des chênaies continentales et de la chênaie atlantique

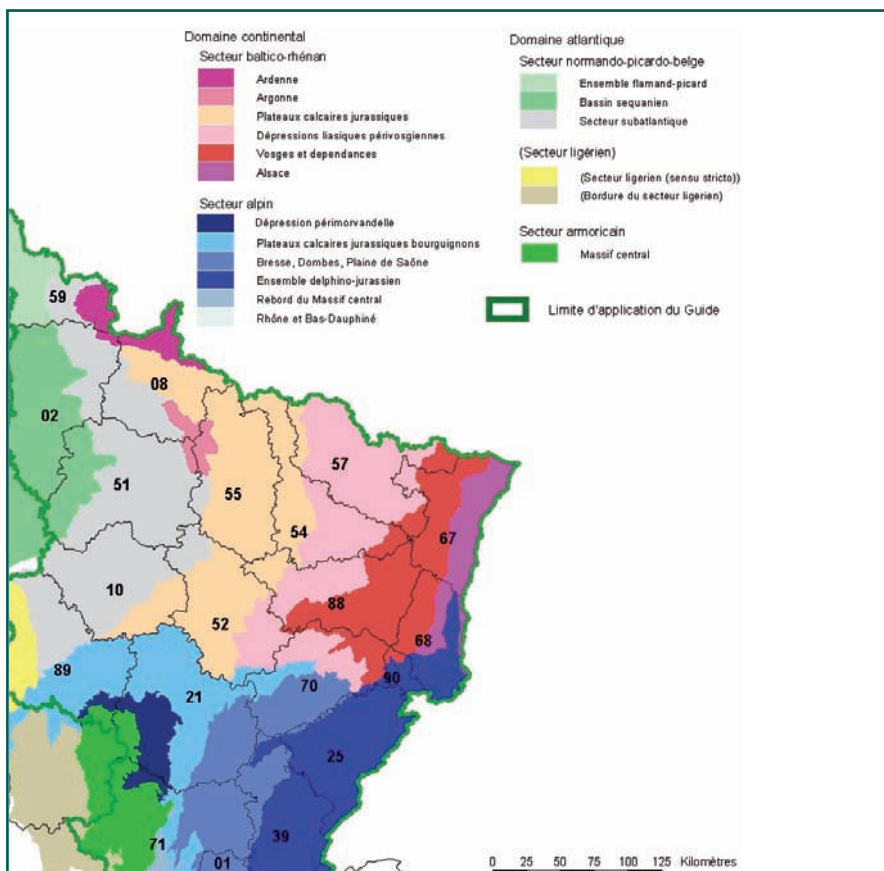


Fig. 2 : carte des domaines et des secteurs biogéographiques sur la zone d'application du guide

À l'opposé, si les conditions stationnelles conduisent à une croissance soutenue ne rendant guère possible la production de bois à cernes fins, les itinéraires du guide des chênaies continentales seront privilégiés.

Les peuplements

Le guide des chênaies continentales traite des peuplements dans lesquels l'un des deux chênes, le chêne sessile ou le chêne pédonculé, représente au moins 66 % du peuplement objectif. Les surfaces concernées, basées sur les données de l'inventaire forestier national (IFN), couvrent près de 800 000 ha en forêts publiques, dont un quart seulement en forêt domaniale (tableau 1 p 16). En outre, ces chênaies présentent le plus souvent une structure de peuplement en cours de conversion du taillis-sous-futaie en futaie (structure de mélange de futaie et de taillis, selon la nomenclature de l'IFN) : un peu plus de la moitié des chênaies sont dans ce cas en forêts domaniales et plus de 75 % dans les autres forêts publiques.

Les filières bois

Les volumes récoltés annuellement dans les chênaies continentales (toutes forêts publiques confondues) sont en moyenne de l'ordre de 1 million de m³. Une analyse des ventes réalisée sur les années 2005 et 2006 a permis d'établir une mercuriale des prix, que l'on peut comparer aux mercuriales tirées des prix constatés en chênaie atlantique (DT Centre-Ouest) pour la futaie régulière, d'une part, et pour les peuplements en cours de conversion de taillis-sous-futaie, d'autre part (figure 3 p. 16). La courbe des prix continentaux est inférieure aux deux courbes de prix atlantiques, la différence étant particulièrement accusée avec celle des chênes de futaie.

Les éléments forts pour la construction des itinéraires

Outre les contextes biogéographiques qui ont été traduits en grands ensembles stationnels, des

	Forêts domaniales	Autres forêts publiques
DT Ile-de-France – Nord-Ouest (Nord + Aisne)	22 415	4 647
Champagne-Ardenne	43375	112 993
Bourgogne (hors Nièvre)	44 092	134 064
DT BCA (total)	87 648	247 058
DT Lorraine	50 364	137 706
DT Alsace	18 113	31 635
DT Franche-Comté	13 098	148 212
DT Rhône-Alpes (Ain)	589	10 325
Total zone	192 316	579 493

Tab. 1 : surfaces des chênaies publiques par nature de propriété et selon la région et la direction territoriale

éléments jugés forts ont été identifiés comme devant jouer un rôle important dans la constitution des itinéraires proposés.

Des sylvicultures spécifiques pour le chêne sessile et le chêne pédonculé

Dans près de 45 % des chênaies continentales, l'essence principale est le chêne pédonculé et dans les autres, soit 55 %, c'est le chêne sessile (données IFN). Connaissant la différence d'autécologie entre les deux chênes, cela conduit à proposer une gestion différenciée assortie de recommandations pour l'adéquation du choix station/essence.

Le chêne pédonculé se trouvant souvent dans des conditions stationnelles limites, autant pour ses exigences en alimentation hydrique que trophique, des recommandations spécifiques sont données pour limiter les risques de dépérissement, dans le cadre notamment du changement climatique. Si la substitution par le chêne sessile est envisagée, elle ne peut être généralisée, ne serait-ce que pour des raisons économiques, mais aussi parce que des dépérissements actuels sont en partie liés à une sylviculture passée trop conservatrice. La simple application des itinéraires sylvicoles pour les peuplements en place devrait réduire grandement les risques, notamment l'itinéraire par *détourage* qui donne aux arbres toute la place nécessaire.

Des orientations sylvicoles favorables à la biodiversité

Comme il se doit, le guide intègre dans ses préconisations sylvicoles les grands principes favorables à la biodiversité :

- recherche d'un mélange d'essences, évolutif dans le temps selon la longévité des espèces, dans toutes les strates (gestion du taillis) ;
- maintien de la diversité génétique par la préférence donnée à la régénération naturelle, par le choix des provenances et la qualité génétique des matériels forestiers

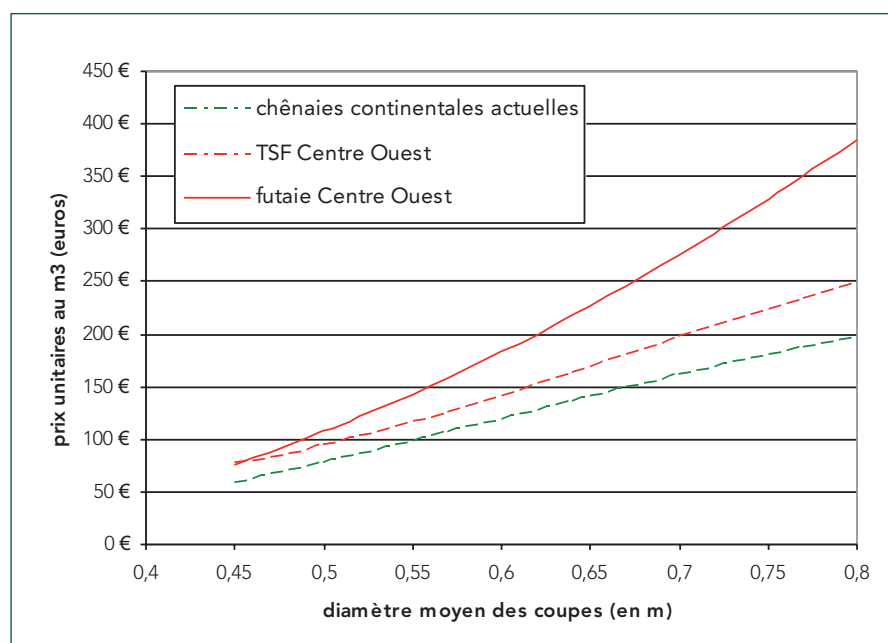


Fig. 3 : mercuriale des prix unitaires de 2006 pour les chênaies continentales comparées à celles de la direction territoriale Centre Ouest : l'une de 1999 pour la futaie vraie, l'autre de 2006 pour les peuplements issus de TSF (la prise en compte sans correction de ces deux mercuriales établies à 7 ans d'intervalle se justifie pour le chêne dont les prix en euros constants sont restés stables)

de reproduction utilisés en cas de plantation et par une gestion raisonnée des ressources génétiques ;

- maîtrise des populations de cervidés à un niveau compatible avec la conduite des régénérations naturelles ;
- respect du sol, capital vie de la forêt.

À l'échelle régionale ou du paysage, la diversité s'exprime dans la multiplicité des traitements et des itinéraires proposés.

Les dispositions plus « transversales » ne sont pas oubliées : conserver des arbres creux, sénescents ou morts ; mettre en place des îlots de vieillissement et de sénescence ; s'assurer de la représentativité des réserves biologiques intégrales... et appliquer les règles de gestion spécifiques à la protection des espèces et des habitats naturels remarquables.

Le hêtre, un concurrent redoutable

Les chênaies continentales sont en grande partie (pour moitié, voire plus) dans des habitats de hêtraie-chênaie (-charmaie). Cette particularité est due à l'action passée de l'homme qui a bloqué la dynamique naturelle en favorisant le chêne, empêchant l'évolution vers la hêtraie.

Lorsque, dans ces situations, l'objectif est de conserver le chêne comme essence prépondérante, cela implique de continuer à intervenir de manière volontariste pour contenir le hêtre. Si le guide propose d'être moins interventionniste que par le passé dans les jeunes stades, pour des raisons économique et écologique, il ne s'agit pas de se contenter d'accompagner la dynamique naturelle, et les travaux pour maintenir la chênaie ont évidemment un coût supérieur à ceux qui accompagneraient l'évolution vers la hêtraie. Mais cette orientation présente plusieurs avantages certains :

- économiquement, le chêne a pratiquement toujours été nettement plus rentable que le hêtre, aujourd'hui il est d'un rapport très supérieur ;



T. Sardin, ONF

chênaie de haute qualité où le hêtre doit être contenu (FD de Sturzelbron, 57)

- compte tenu du changement climatique en cours, le chêne sessile est préférable car plus résistant aux sécheresses et aux engorgements hivernaux qui devraient être plus fréquents ;
- écologiquement, le maintien de chênaies comme phases transitoires de chênaies-hêtraies (-charmaies) participe à la biodiversité des écosystèmes.

En revanche, le traitement en futaie irrégulière, traitement où le couvert continu serait très favorable au hêtre, plus tolérant à l'ombrage, n'est pas recommandé dans les habitats de hêtraie-chênaie (-charmaie), dès lors que l'on veut pérenniser des peuplements à dominante de chêne.

Une gestion basée sur le principe des diagnostics avant intervention

Un guide des sylvicultures ne peut pas décrire tous les cas de figure de peuplements existant et donner pour chacun les consignes précises d'intervention adaptée. Cela est d'autant plus difficile que la zone d'application est vaste, les conditions du milieu variées. Aussi, le guide fixe les orientations générales, en fonction des objectifs assignés au peuplement, et incite le sylviculteur à toujours juger de

l'opportunité d'une intervention avant d'en fixer les modalités. Le guide n'est donc pas un carcan, mais un outil d'aide à la décision, décision qui reste bien du ressort du sylviculteur.

Des outils de diagnostic sont proposés. En conduite des peuplements, le logiciel SYLVIE permet d'avoir les caractéristiques dendrométriques principales d'un peuplement en futaie régulière pour se positionner dans les référentiels (chapitre 4) et ajuster les éclaircies en conséquence. Pour les travaux, le guide (chapitre 3) donne des méthodes simples de sondage pour apprécier l'opportunité ou non d'un dégagement, d'un nettoiement ou d'un dépressage.

Une sylviculture pour les peuplements en conversion

Près des trois quarts (3/4) des chênaies continentales sont des peuplements constitués d'un mélange de futaie et taillis (données IFN), car de nombreuses forêts sont d'anciens taillis-sous-futaie en cours de conversion. Ces peuplements présentent souvent une hétérogénéité des diamètres plus forte qu'en futaie régulière vraie. Pour éviter des sacrifices d'exploitabilité non raisonnés au moment

du renouvellement de ces peuplements, le guide offre des solutions :

- il propose de traiter les peuplements les plus irréguliers en futaie irrégulière (sauf en hêtraie-chênaie (-charmaie) où ce traitement est contre-indiqué, comme on l'a vu) ;
- en futaie régulière, il donne la possibilité de récolter des arbres parmi les plus gros en coupe d'amélioration (ou de préparation) et autorise dans les régénérations le maintien de surréserves pour les rares tiges de haute qualité n'ayant pas atteint un diamètre suffisant.

Les premières éclaircies, fondamentales pour l'avenir

Pour mettre le peuplement sur la bonne trajectoire sylvicole, il est important que les premières éclaircies soient réalisées au moment opportun, moment déterminé par un couple hauteur - âge dépendant de la classe de fertilité. Ce moment correspond à la fin de la phase de qualification au cours de laquelle la bille de pied est éduquée, bille de pied souhaitée d'autant plus longue que la fertilité est bonne.

Dans les cas où cette première éclaircie ne serait pas commercialisable, il est conseillé d'intervenir en travaux sous forme d'une éclaircie localisée au profit d'un nombre limité d'arbres d'avenir (environ trois fois le nombre d'arbres objectif).

Des diamètres d'exploitabilité destinés à la production de bois de haute qualité

Pour les deux chênes, les exigences sont les mêmes : obtenir des billes de gros diamètre, de fil droit et exemptes de singularités, avec des accroissements réguliers.

Les diamètres d'exploitabilité optimaux dépendent de la qualité des tiges : ils vont ainsi de 75-80 cm pour les qualités A-B à 55 cm pour la qualité D. Ils sont toutefois réduits d'une classe de diamètre pour les peuplements d'origine taillis-sous-futaie où les arbres, issus de rejet de souche donc avec un risque plus élevé d'altération au niveau de la bille de pied,

peuvent être nombreux. Enfin, il est prévu de conduire quelques peuplements de très haute qualité jusqu'à un diamètre moyen de 90 cm dans le cadre d'îlots de vieillissement.

La phase d'installation

La conduite des régénérations préconisée est classique et reprend ce qui a permis l'existence des futaies de chênes prestigieuses connues de tous. Les avancées concernent les modalités évoquées plus haut pour limiter les sacrifices d'exploitabilité dans les anciens TSF en conversion.

En matière de travaux, l'évolution consiste à ajuster l'intensité des interventions pour ne faire que ce qui est jugé indispensable à l'atteinte des objectifs (aussi bien quantitatifs, avec des densités de semis raisonnables, que qualitatifs, avec le maintien d'un mélange dosé). Pour cela, le guide des chênaies continentales propose des interventions basées sur le principe de points d'impacts afin d'éviter le travail en plein et systématique. Par exemple, pour un nettoyage qui interviendrait à une hauteur de peuplement de 4 à 6 m, l'opérateur est incité à travailler sur 400-500 points/ha, sachant qu'à chaque point il doit se reposer la question de savoir s'il est vraiment nécessaire d'intervenir ; le guide lui donne des critères pratiques pour juger de l'utilité locale du nettoyage et doser l'intervention en fonction du niveau de la concurrence. Dans les situations les plus concurrentielles, l'intervention en plein reste bien entendu possible.

La conduite des peuplements

De manière classique, le guide propose des itinéraires de futaie régulière par classe de fertilité. Cet aspect, maintenant connu de tous les sylviculteurs, est en effet fondamental car il permet de moduler le niveau de compétition entre les arbres en fonction de la richesse de la station. Pour chaque classe de fertilité, un couple hauteur/âge

détermine l'entrée en sylviculture. Ce système est bien entendu plus complexe, ou tout du moins plus difficile à mémoriser, qu'une entrée sur un critère fixe de hauteur, comme dans les premiers guides de sylviculture, ou d'âge (l'un et l'autre sont trop simplistes pour être vraiment pertinents), mais il permet de pratiquer des sylvicultures mieux adaptées à la diversité des conditions de croissance rencontrée dans les forêts. Même si cela demande plus de technicité.

Le guide présente aussi un itinéraire sylvicole de futaie irrégulière, commun aux deux chênes ; après un rappel des principes généraux de ce traitement, il en précise les spécificités pour les chênaies et indique les caractéristiques dendrométriques recommandées. Cependant l'ouvrage rappelle d'abord (chapitre 2) que le choix du traitement résulte d'une analyse préalable. En particulier, la futaie irrégulière n'est pas à retenir dans les contextes de hêtraie-chênaie (-charmaie) lorsque le chêne est l'essence objectif principale. Inversement, elle est bien adaptée aux peuplements irréguliers sur station hydromorphe, le maintien d'un couvert continu qui en découle évitant les remontées de nappe et les risques de blocage lors des phases de renouvellement.

La conduite du chêne sessile en futaie régulière

Pour le chêne sessile, trois familles de référentiels sont proposées, chacune étant composée de trois référentiels, un pour chaque classe de fertilité :

- sylviculture *dynamique*, pour la production d'arbres à cernes larges ;
- sylviculture *classique* pour la production, majoritairement, d'arbres à cernes fins ;
- sylviculture *de détournement* d'arbres de récolte pour la production d'arbres à cernes les plus larges possibles, proches de la croissance libre.

Le premier critère de qualité pour le bois de chêne étant la régularité des cernes, le gestionnaire ou le propriétaire peut orienter son peuplement

vers l'une ou l'autre de ces trois familles lors des premières éclaircies mais, pour les peuplements déjà adultes, le référentiel applicable sera celui qui préconise les caractéristiques qui s'approchent le plus de celles du peuplement actuel.

Pour les fertilités extrêmes, classe 1 supérieure et classe 3, la sylviculture *dynamique* doit être privilégiée. En effet, dans le premier cas les arbres poussent trop vite pour pouvoir espérer produire du bois à cernes fins et dans le second cas la sylviculture *dynamique* produit déjà des arbres à cernes fins : la sylviculture *classique* conduirait à des cernes très fins dont on ne voit aujourd'hui pas l'intérêt. Compte tenu de ce qu'elle sera aussi appliquée sur une part des peuplements en bonne fertilité (classe 2), la sylviculture *dynamique* devrait être la plus pratiquée dans les chênaies continentales.

La sylviculture *classique*, qui correspond à la sylviculture préconisée dans la chênaie atlantique, sera réservée aux peuplements dont on espère pouvoir obtenir, en quantité significative, de la qualité A ou B, soit plutôt en classe de fertilité 2. Elle sera systématiquement mise en œuvre dans les secteurs où la récolte des peuplements précédents avait fourni des bois à cernes fins

de haute qualité (notion de cru), y compris dans les jeunes peuplements issus de régénération naturelle et qui semblent pourtant en classe de fertilité 1 (voir l'article sur la comparaison économique de ces itinéraires dans ce même numéro).

La sylviculture *de détournement* d'arbres de récolte relève d'un concept nouveau (cf. encadré). Elle est proscrite dans les peuplements au potentiel de qualité élevé car elle conduit à un très mauvais bilan économique (cf. article de ce même numéro) et doit être réservée, dans le cas du chêne sessile, à des contextes particuliers, principalement :

- les peuplements à dominante écrasante de hêtre mais où le chêne est l'essence objectif prioritaire ;
- les secteurs où les premières éclaircies seront difficiles à commercialiser pour diverses raisons (terrain en pente, petite parcelle au sein d'une petite forêt...) ; le raisonnement doit porter sur 2 ou 3 éclaircies et pas seulement sur la première, dont les possibilités de mévente sont nombreuses et aléatoires.

Pour réussir, cette sylviculture *de détournement* ne doit souffrir d'aucun retard sur la première éclaircie qui intervient plus tôt que pour la sylviculture *dynamique* (par exemple à 12 m contre 14 m de Ho en classe de fertilité 2).

La conduite du chêne pédonculé en futaie régulière

Pour le chêne pédonculé, seules deux familles de référentiels sont proposées : sylviculture *dynamique* et sylviculture *de détournement* d'arbres de récolte.

La sylviculture *dynamique* est celle qui devrait être la plus pratiquée dans les chênaies pédonculées continentales. Elle est beaucoup plus intensive que ce qui a pu se faire dans le passé et que celle destinée au chêne sessile (environ 4 m²/ha de surface terrière en moins dans les jeunes stades).

La sylviculture *de détournement*, selon le concept nouveau expliqué en encadré, est réservée à des contextes particuliers similaires à ceux qu'on a indiqués pour le chêne sessile, à ceci près que l'essence potentiellement concurrente n'est plus le hêtre mais, le plus souvent, le frêne. Cet itinéraire prévaut aussi dans un autre cas, spécifique au chêne pédonculé : lorsque le peuplement occupe une station qui laisse craindre des risques de dépérissement important, notamment liés au changement climatique. Là encore, cette sylviculture ne souffre aucun retard sur la première éclaircie qui intervient plus tôt que pour la sylviculture *dynamique* (par exemple à 12 m contre 13-14 m de Ho en classe de fertilité 2).

Sylviculture en plein par éclaircies, ou sylviculture par détournements d'arbres de récolte : quelles différences ?

L'éclaircie

L'éclaircie est une intervention sylvicole de desserrement qui conduit à abaisser la densité du peuplement, **en priorité au profit des arbres objectif** lorsqu'ils ont été désignés, mais sans négliger le reste du peuplement.

La notion d'intensité de l'éclaircie est importante, le sylviculteur la dose selon l'accroissement recherché sur le diamètre. Les arbres objectif, même s'ils bénéficient d'une attention particulière, ne sont pas mis en croissance libre. Ils continuent de s'élaguer naturellement grâce à la concurrence dosée exercée par leurs voisins.

L'éclaircie est le plus souvent **en plein**, toutes les tiges du peuplement restant en bénéficiant, mais, en début de phase d'expansion, elle peut être **localisée** au seul profit d'arbres d'avenir.

Le détournement

Le détournement est une intervention sylvicole de desserrement qui conduit à abaisser la densité du peuplement **exclusivement au profit des arbres objectif**. Ces derniers ont été le plus souvent désignés par avance.

Le détournement est une intervention très dynamique de la phase d'expansion : les tiges en bénéficiant ont acquis la hauteur de bille recherchée, l'objectif est de les faire croître le plus vite possible. **Il n'y a pas de notion d'intensité, toutes les tiges susceptibles de concurrencer les arbres objectif sont éliminées.**

Le détournement est une intervention **toujours localisée**, le peuplement intermédiaire étant laissé en l'état. Mais un peuplement peut tout à fait bénéficier de détournements durant une certaine période, puis être éclairci en plein par la suite.

¹ le terme classique ne fait aucunement référence à une « tradition » sylvicole pour cet itinéraire, mais au fait que cette sylviculture est celle qui est actuellement préconisée en chênaie atlantique, réputée pour ses nombreuses forêts de production de très haute qualité.

s y n t h è s e

Le champ d'application du guide des chênaies continentales porte sur 15 secteurs biogéographiques. En cela il diffère du guide de la chênaie atlantique, consacré essentiellement au secteur ligérien ; les conditions homogènes de ce secteur, sécheresse estivale et régularité des glandées, influencent fortement la sylviculture du chêne sessile. Les itinéraires sont donc logiquement plus nombreux pour les chênaies continentales, d'autant que la surface des peuplements concernés est de près de 4 fois plus importante, certains avec des différences fortes.

La proportion des forêts domaniales n'y est que de 26 % contre près de 85 % en chênaie atlantique. La présence de peuplements composés d'un mélange de futaie et taillis concerne près des 3/4 de l'ensemble des chênaies continentales, alors que la chênaie atlantique en comporte entre 1/4 et 1/3.

Les éléments forts pour la construction des itinéraires du guide des chênaies continentales sont très similaires à ceux retenus pour le guide de la chênaie atlantique : production de gros bois de qualité tout en préservant la biodiversité, gestion pilotée par diagnostics...

Les spécificités du nouveau guide découlent des grandes caractéristiques des chênaies continentales : beaucoup de réflexions ont porté sur la sylviculture du chêne pédonculé en lien avec le changement climatique, les recommandations pour maintenir le chêne dans les hêtraies-chênaies sont nombreuses et détaillées, tout comme celles pour gérer les peuplements en cours de conversion de taillis-sous-futaie

En phase de renouvellement les deux guides de sylvicultures préconisent d'adapter la nature et l'intensité des travaux forestiers pour ne retenir que les interventions jugées utiles et seulement nécessaires à l'atteinte des objectifs.

Pour aider le sylviculteur à cette évolution, on trouve dans le guide des chênaies continentales le principe d'interventions par points d'impacts afin d'éviter l'intervention en plein lorsqu'elle ne s'avère pas indispensable.

Pour la conduite des peuplements, le guide des sylvicultures des chênaies continentales ouvre la possibilité à plus d'itinéraires sylvicoles que celui de la chênaie atlantique, notamment en futaie régulière. C'est une conséquence logique d'une plus grande zone d'application qui recèle plus de diversité dans les peuplements actuels. La forte productivité de nombreuses chênaies sessiliflores continentales impose par exemple de renoncer à produire du bois à cernes fins dans ces conditions, ce qui a conduit à un itinéraire spécifique.

La seconde spécificité du guide des chênaies continentales est la possibilité, dans des contextes toutefois bien précis et qui devraient rester rares, de mener une sylviculture par détourages.

Sinon, lorsqu'il est envisagé de produire du bois de haute qualité, comme ce qui se pratique de manière courante en chênaie atlantique, l'itinéraire sylvicole est le même pour les deux grands contextes biogéographiques



Détourage dans une jeune futaie de chêne sessile

Conclusion

Avec le guide des sylvicultures des chênaies continentales, qui vient compléter celui de la chênaie atlantique, la très grande majorité des chênaies publiques de production (chêne sessile et chêne pédonculé) se trouve maintenant dotée d'un guide de sylvicultures rénové.

Si les conditions de croissance sont globalement bien distinctes entre les deux domaines biogéographiques, certains peuplements peuvent néanmoins se trouver dans des situations très similaires ; pour ces situations, les objectifs et les sylvicultures sont identiques, ce qui rend la coexistence de deux guides pour les chênes totalement cohérente.

Avec une surface concernée de près de 4 fois celle de la chênaie atlantique, les chênaies continentales présentent une plus grande palette de contextes, de types de peuplements, d'histoires sylvicoles... (ce qui justifie la dénomination au pluriel). Cette diversité s'est traduite par une gamme plus large d'itinéraires possibles. Chaque itinéraire est donné avec des critères de choix ; il peut être recommandé pour certains contextes forestiers, ou considéré comme inadéquat dans d'autres cas.

Thierry SARDIN

ONF, direction technique
et commerciale bois
département forêts

Comparaison économique des itinéraires sylvicoles en chênaie sessiliflore continentale

La modélisation est un outil très intéressant pour l'évaluation de la pertinence économique des différents scénarios sylvicoles. Mais, comme elle doit recourir à un certain nombre d'hypothèses, les conclusions valent surtout par la discussion de ces hypothèses et la mise en perspective des résultats. Moyennant quoi la démarche apporte un éclairage utile et concret sur le choix d'un itinéraire sylvicole.

Cet article permet d'apporter un éclairage économique aux itinéraires sylvicoles proposés dans le récent guide des chênaies continentales pour le chêne sessile traité en futaie régulière. Sur la base du modèle qui a servi à l'élaboration des itinéraires, nous comparons les volumes récoltés, globalement d'abord puis par filière, et nous calculons les rendements économiques.

Les hypothèses retenues, en terme de tarif de cubage ou de prix moyen, sont ensuite discutées car elles sont souvent simplifiées pour ne pas alourdir l'analyse. Si les itinéraires s'avèrent très différents en terme de rendement économique, il est rappelé qu'ils sont tous potentiellement utilisables, même s'ils seront appliqués chacun avec des fréquences très variables, car le choix doit se faire sur une analyse multicritères, liée notamment à l'état actuel des peuplements.

Présentation des itinéraires

Le guide des chênaies continentales propose pour le chêne sessile trois familles de référentiels sylvicoles (chaque famille est déclinée selon la fertilité en trois référentiels) :

- sylviculture *dynamique*, pour la production d'arbres à cernes larges ;
- sylviculture *classique*, pour la pro-

duction, majoritairement, d'arbres à cernes fins (sylviculture identique à celle préconisée en chênaie atlantique) ;

- sylviculture de « détourages d'arbres de récolte » pour la production d'arbres à cernes les plus larges possibles, proches de la croissance libre. La limite entre cernes fins et cernes larges a été fixée à environ 2,5 mm.

Les deux premières familles ont été élaborées à l'aide du modèle de croissance Fagacées mis au point par l'INRA sur la base d'un indice de

densité qui correspond au rapport entre la surface terrière recherchée et la surface terrière maximale biologique d'un peuplement de diamètre moyen identique (il s'agit de l'indice de densité de Reineke, communément noté RDI). En classe de fertilité 2, l'indice retenu est ainsi de 0,425 en sylviculture *dynamique* et 0,55 en sylviculture *classique*. La troisième famille de référentiels a été construite à dire d'expert, basé sur une estimation de la croissance maximale possible du chêne sessile en diamètre. Les trois référentiels pour la classe



T. Sardin, ONF

* le terme *classique* ne fait aucunement référence à une « tradition » sylvicole pour cet itinéraire, mais au fait que cette sylviculture est celle qui est actuellement préconisée en chênaie atlantique, réputée pour ses nombreuses forêts de production de très haute qualité.

de fertilité 2 sont présentés dans le tableau 1, ils conduisent tous à un diamètre moyen des chênes de 75 cm, sachant que si le diamètre d'exploitabilité retenu est moindre, le référentiel est simplement interrompu par une mise en régénération au moment voulu.

Comparaison des volumes et des revenus par coupe

Les volumes de gros bois produits

La première analyse que nous avons faite entre les différents itinéraires porte sur les volumes de bois les plus rémunérateurs produits par chacun d'eux. Le tableau 2 donne les volumes grume (calculés pour les trois itinéraires par la même formule $V = 0,35 \times G \times Ho$) récoltés dans toutes les coupes (amélioration et régénération) dont le diamètre moyen entre dans la catégorie des Gros Bois ($\geq 47,5$ cm). Pour l'itinéraire *détourage*, l'hypothèse est faite que cela ne concerne que la récolte des arbres objectifs, au nombre de 50/ha (densité maximale), les récoltes intermédiaires ne portant que sur des tiges plus petites (il n'y a pas de coupe d'amélioration dans le peuplement interstitiel ce qui ne favorise pas la croissance d'autres tiges que les arbres objectifs).

Par rapport à la sylviculture *classique*, la sylviculture *dynamique* et la sylviculture par *détourages* réduisent la récolte totale des coupes « à gros bois » respectivement de 40 % et 66 % en volume (cf. tableau 2) ; en récolte moyenne annuelle, la diminution est atténuée du fait du raccourcissement des révolutions qui accompagne l'intensification des éclaircies, mais elle est encore respectivement de 33 % et de plus de 50 %.

Cette baisse de récolte des gros bois avec l'intensification des éclaircies, est significative et elle est en outre probablement sous estimée du fait du choix de la même formule

Dynamique				Classique				Détourages		
âge ans	Ho m	N /ha	G m ² /ha	âge ans	Ho m	N /ha	G m ² /ha	âge ans	Ho m	D* cm
36	14,2	1000	14,7	36	14,2	1200	16,8	29-33	12	15
42	16,0	660	14,7	42	16,0	822	17,0	33-37	14	16-18
48	17,6	470	14,9	50	18,2	575	18,2	39-43	15-16	19-21
56	19,4	325	15,0	58	20,1	430	19,1	45-49	17-18	23-24
64	21,1	245	15,5	66	21,8	340	19,9	51-55	18,5	26-29
72	22,6	195	16,2	75	23,5	269	20,8	59-63	19,5	31-33
81	24,0	156	16,9	84	25,0	219	21,5	67-71	21	35-37
90	25,3	128	17,4	93	26,5	183	22,2	75-79	22	41-44
102	27,0	101	18,0	103	27,9	153	22,9	85-89	23	48-50
114	28,5	83	18,9	113	29,3	130	23,6	95-99	24	57
126	30,0	69	19,6	123	30,7	112	24,3	107-111	25,5	65
138	31,4	60	20,2	135	32,3	94	24,9	125	28	75
153	33,2	60	25,5	147	33,9	80	25,6	-	-	-
-	-	-	-	159	35,5	70	26,3	-	-	-
-	-	-	-	171	37,0	70	30,8	-	-	-

* diamètre moyen attendu des arbres objectif à chaque intervention (en cm)

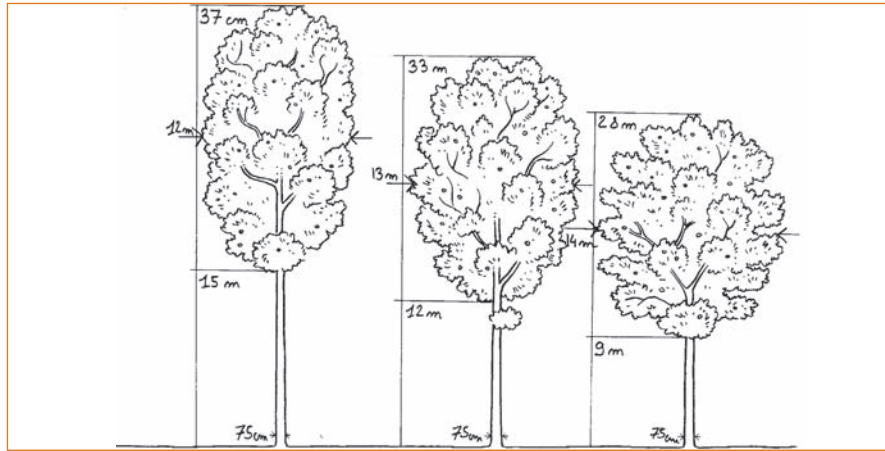
Tab. 1 : référentiels du guide des chênaies continentales pour la sylviculture du chêne sessile en futaie régulière en classe de fertilité 2

Récolte des coupes de Gros Bois (diamètre moyen coupe $\geq 47,5$ cm)	Sylviculture		
	Classique	Dynamique	Détourage
Récolte totale	630 m ³ /ha	380 m ³ /ha	216 m ³ /ha
Rapport/classique	100 %	60 %	34 %
récolte moyenne annuelle	3,68 m ³ /ha/an	2,48 m ³ /ha/an	1,73 m ³ /ha/an
Rapport/classique	100 %	67 %	47 %

Tab. 2 : récolte de Gros Bois selon les itinéraires ; volume grume des coupes de diamètre moyen $\geq 47,5$ cm, calculé avec le même coefficient de forme $f = 0,35$ pour les trois itinéraires

Récolte des coupes de Gros Bois (diamètre moyen coupe $\geq 47,5$ cm)	Sylviculture et coefficient de forme correspondant		
	Classique $f = 0,35$	Dynamique $f = 0,31$	Détourage $f = 0,27$
Récolte totale	630 m ³ /ha	337 m ³ /ha	167 m ³ /ha
Rapport/classique	100 %	53 %	26 %
Récolte moyenne annuelle	3,68 m ³ /ha/an	2,20 m ³ /ha/an	1,34 m ³ /ha/an
Rapport/classique	100 %	60 %	36 %

Tab. 3 : récolte de Gros Bois selon les itinéraires ; volume grume des coupes de diamètre moyen $\geq 47,5$ cm, calculé avec un coefficient de forme adapté à chaque itinéraire



B. Teissier du Cros, ONF

Fig. 1 : profils types des arbres obtenus selon les trois sylvicultures possibles pour le chêne sessile au diamètre d'exploitabilité de 75 cm

Quels prix appliquer pour le chêne ?

Pour évaluer la rentabilité d'itinéraires sylvicoles, il convient de choisir une mercuriale de prix unitaires. Nous en avons trois à notre disposition : deux pour la région du Centre Ouest, l'une adaptée aux peuplements de futaie régulière (parue dans le guide de sylvicultures de la chênaie atlantique) et une spécifique aux peuplements en fin de conversion et issus de taillis-sous-futaie, la dernière pour les chênaies continentales. Cette dernière porte sur des peuplements en grande majorité (+ de 75 %) en cours de conversion de taillis-sous-futaie.

Les sylvicultures comparées dans cet article se rattachant à la futaie régulière, nous avons choisi de retenir deux mercuriales :

- la mercuriale actuelle des chênaies continentales
- une mercuriale hypothétique nommée « chênaies continentales futures », issue de la mercuriale actuelle des chênaies continentales mais majorée du même rapport que l'on constate en région Centre Ouest entre les peuplements issus de taillis-sous-futaie et ceux de futaie vraie (cf. figure 2).

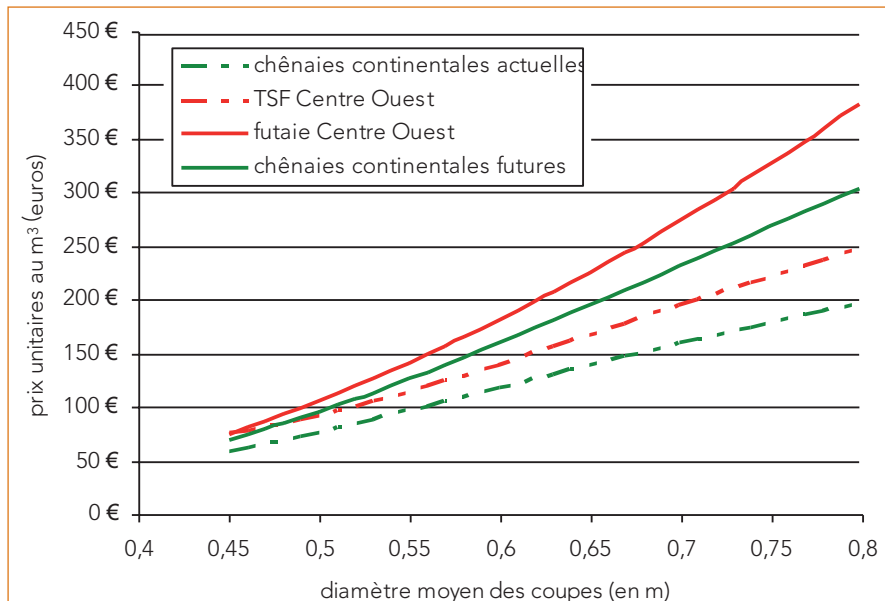


Fig. 2 : mercuriales des prix unitaires grumes) retenues pour la comparaison économique des itinéraires sylvicole de chênaie continentale

La courbe « chênaies futures » (de futaie vraie) est transposée de la mercuriale 2006 des « chênaies actuelles » (anciens TSF pour l'essentiel), d'après l'écart constaté en Centre-Ouest entre la mercuriale (1999) de futaie vraie et celle (2006) des peuplements issus de TSF (la prise en compte sans correction de ces deux mercuriales établies à 7 ans d'intervalle se justifie pour le chêne dont les prix en euros constants sont restés stables)

de cubage pour les trois itinéraires. En effet, les arbres issus de ces trois sylvicultures n'auront pas le même profil (cf. figure 1), aussi le coefficient de forme retenu ($f = 0,35$) conduit à un biais sur le volume grume récolté calculé, biais d'autant plus fort que la sylviculture est *dynamique*. On peut raisonnablement faire l'hypothèse que le coefficient de forme pour calculer le volume grume serait diminué jusqu'à 0,31 pour la sylviculture *dynamique* et 0,27 pour la sylviculture *détourage*. Le bilan sur les volumes grumes récoltés de gros bois serait alors encore plus défavorable pour les sylvicultures les plus intensives (cf. tableau 3).

La rentabilité évaluée sur le volume total récolté

Nous avons calculé deux indicateurs de rentabilité pour chacun des itinéraires, le taux interne de rentabilité (noté TIR dans le reste de l'article) et le bénéfice net actualisé sur la séquence infinie et ramené à l'année de début de l'itinéraire (noté $BASI_0$ dans le reste de l'article).

Les dépenses sont les mêmes pour tous les itinéraires. Elles comprennent, d'une part, les frais d'installation et d'amélioration (estimés à 3 900 €/ha, ils sont engagés durant les 25 premières années de vie du peuplement) et, d'autre part, les frais de gestion (estimés à 60 €/ha/an). Pour cette analyse nous avons pris en compte les recettes générées par l'ensemble des coupes. Les prix unitaires appliqués sont identiques quel que soit l'itinéraire, ce sont ceux présentés en encadré et figure 2.

Pour une mercuriale de prix donnée (celle des chênaies actuelles ou celle des chênaies futures), les TIR sont assez équivalents pour les deux itinéraires de sylviculture *classique* et sylviculture *dynamique*, ils sont plus faibles pour l'itinéraire *détourage*. Les $BASI_0$ sont nettement différents entre itinéraires (cf. tableau 4 p. 24). Le $BASI_0$ de la sylviculture *classique* est toujours

supérieur, pour les deux hypothèses de mercuriale ; en comparaison, celui de l'itinéraire *dynamique* est divisé par deux avec la mercuriale actuelle, il est réduit d'un tiers avec l'hypothèse de mercuriale future. Les $BASI_0$ de l'itinéraire *détourages* deviennent négatifs pour les deux mercuriales de prix.

On constate ainsi que, malgré un âge d'exploitabilité augmenté de près de 20 ans (cf. tableau 1), le $BASI_0$ de l'itinéraire *classique* est nettement supérieur à celui de la sylviculture *dynamique*. Ce type de résultat est spécifique au chêne et contraire à ce que l'on observe pour la plupart des autres essences de production. Ceci doit être la conséquence de prix unitaires qui, du fait notamment des utilisations prestigieuses de l'essence pour les peuplements de grande qualité, augmentent fortement avec le diamètre : d'après les mercuriales retenues pour ces analyses, le prix/m³ d'un chêne de 75 cm de diamètre est supérieur de 38 % à celui d'un chêne de 65 cm !

La baisse du $BASI_0$ pour l'itinéraire *détourage* est spectaculaire, même s'il faut relativiser puisque l'itinéraire a été bâti à dire d'expert et qu'aucune éclaircie intermédiaire n'est prise en compte ; sachant qu'aucun gros bois, catégorie la plus rémunératrice, ne sera récolté avec cet itinéraire en dehors des coupes de régénération, la prise ne compte des éclaircies ne devrait pas améliorer significativement ce résultat. Si le peuplement forestier peut être conduit selon l'un des deux autres itinéraires, le *détourage* n'est donc pas acceptable économiquement dès lors que la production de bois est l'objectif prépondérant.

Le cas des peuplements de qualité ordinaire ou médiocre

Le guide des sylvicultures des chênaies continentales, en accord avec les directives régionales d'aménagement, propose des référentiels avec des diamètres d'exploitabilité

Indicateurs de rentabilité	Sylviculture		
	Classique	Dynamique	Détourage
<i>Avec les prix de la mercuriale actuelle des chênaies continentales et une valeur du fond de 1 500 €/ha égale, par construction, au $BASI_0$ de l'itinéraire classique ; le taux d'actualisation correspondant est de 1,68 %</i>			
TIR	1,84 %	1,78 %	1,38 %
$BASI_0$	1 500 €/ha	780 €/ha	-1 869 €/ha
<i>Avec les prix de la mercuriale « future possible » des chênaies continentales et la même valeur du fond (1 500 €/ha) égale, par construction, au $BASI_0$ de l'itinéraire classique ; le taux d'actualisation correspondant est de 1,94 %</i>			
TIR	2,11 %	2,08 %	1,79 %
$BASI_0$	1 500 €/ha	1 060 €/ha	-831 €/ha

Tab. 4 : comparaison des indicateurs de rentabilité économiques pour les différents scénarios sylvicoles et selon la mercuriale de prix retenue (pour les grumes)

Sylviculture	$BASI_0^*$ selon l'objectif de production :	
	Récolte à $D_g = 65$ cm	Récolte à $D_g = 75$ cm
Classique	330 €/ha	409 €/ha
Dynamique	-54 €/ha	-237 €/ha
Détourages	-4 250 €/ha	-3 124 €/ha

Tab. 5 : indicateur de rentabilité économique ($BASI_0$) des peuplements de qualité ordinaire ou médiocre, pour les différents scénarios sylvicoles et selon de diamètre de récolte finale

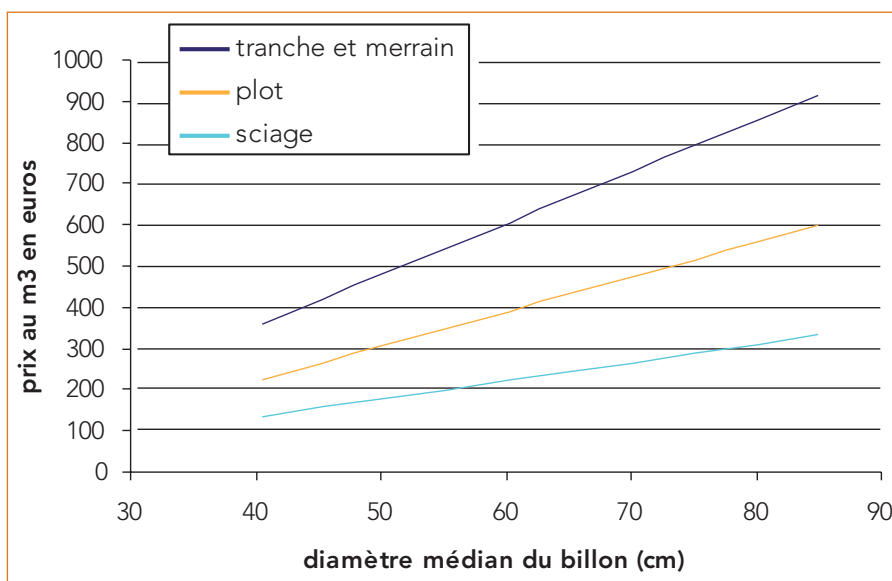


Fig. 3 : mercuriales des prix au m³ de chaque filière selon le diamètre médian des billons, telles qu'elles implémentées dans le modèle de billonnage

plus faibles lorsque la qualité est ordinaire ou médiocre : dans ce cas, le diamètre d'exploitabilité est réduit à 65 cm alors qu'il est normalement de 75-80 cm pour les beaux peuplements. L'idée sous jacente est de raccourcir la révolution des peuplements qui ne sont pas de haute qualité pour repartir sur une nouvelle génération qui puisse l'être.

Aussi nous avons calculé les rendements économiques pour les trois types de sylviculture avec une récolte finale à 65 cm ou 75 cm de diamètre. Pour prendre en compte la moindre qualité des peuplements concernés, nous avons opté pour une mercuriale semblable à celle des chênaies continentales actuelles jusqu'au diamètre 60 cm, mais qui progresse moins rapidement au-delà, passant de 120 €/m³ pour un diamètre 65 cm à 138 €/m³ pour un diamètre 75 cm.

La rentabilité économique s'en trouve bien entendu nettement affectée (baisse forte du BASI₀). La récolte finale à 65 cm au lieu de 75 cm de diamètre conduit à une baisse d'environ 80 €/ha avec l'itinéraire classique et une augmentation de 183 €/ha avec le scénario dynamique (cf. tableau 5). Si la justification de récolter dès 65 cm de diamètre les peuplements de qualité moindre en itinéraire dynamique est claire, cela peut se discuter avec l'itinéraire

classique. Toutefois, le principe étant de raccourcir la révolution pour repartir sur un peuplement de meilleure qualité au rendement économique nettement supérieur, on peut considérer que cette perte provisoire de 80 €/ha est tout à fait acceptable.

Avec la sylviculture *détourage* on constate que le BASI₀ s'effondre, ce qui confirme la faible pertinence économique de cet itinéraire, et que l'effondrement est pire si la récolte se fait dès 65 cm de diamètre plutôt qu'à 75 cm. Cela inciterait donc, dans les quelques cas où cet itinéraire aura pu être choisi, à maintenir un diamètre d'exploitabilité élevé malgré la moindre qualité des arbres. Cette très mauvaise performance est la conséquence de la récolte d'un nombre encore plus réduit de tiges que dans les autres sylvicultures, donc d'un volume beaucoup plus faible (toujours 50 tiges/ha pour l'itinéraire *détourage*, alors qu'au diamètre de 65 cm la récolte en régénération pour la sylviculture classique porte sur 80 tiges/ha).

Les données du tableau 5 permettent également de constater que si la qualité médiocre ou ordinaire d'un peuplement est strictement liée aux conditions stationnelles et ne peut donc pas être améliorée par la sylviculture, le gestionnaire aura intérêt, dans la mesure où cela sera possible

(hors stations trop « poussantes »), à choisir l'itinéraire classique qui présente un BASI₀ toujours supérieur à l'itinéraire dynamique.

Comparaison des itinéraires par filière

Associé au modèle de croissance Fagacées qui a aidé à l'établissement des référentiels, un modèle de billonnage permet, à partir de critères de tri à la disposition de l'utilisateur, de débiter les arbres vers plusieurs classes de produits. Plusieurs produits finaux (filières) sont sélectionnables pour le chêne ; nous avons choisi de n'en retenir que cinq pour cette analyse. Ils sont donnés dans le tableau 6, avec les critères de tri retenus, ceux-ci étant strictement identiques quel que soit le référentiel.

Le modèle calcule également le prix de chaque coupe à partir d'une mercuriale de prix pour chaque filière (figure 3). Les mercuriales dépendent uniquement du diamètre, elles sont donc identiques pour les trois sylvicultures comparées (mercuriales tirées d'une étude de l'INRA de 2006). Les volumes présentés dans le tableau 7 sont des volumes totaux (grume + houppier) répartis par filière ; ils ne sont donc pas comparables à ceux donnés aux tableaux 2 et 3, qui ne concernaient que les coupes de gros bois et n'étaient que des volumes grume.

Filière	Longueur	Diamètre sur écorce	Autre critère
tranchage	max. 3 m min. 1 m	Ø médian < 140 cm et ≥ 50 cm	diamètre cœur branchu < 10 cm, maxi 5 % du volume grume en amélioration (par coupe), 15 % en régénération
tonnellerie (merrains)	multiple de 1,1 m	Ø médian ≥ 45 cm	épaisseur duramen sans nœud > 9 cm, maxi 15 % du volume grume en amélioration (par coupe), 20 % en régénération
plots	max. 5 m min. 3 m	Ø fin bout ≥ 25 cm	surface cœur branchu < 13 % du duramen, houppier non compris
sciages	max. 5 m min. 3 m	Ø fin bout ≥ 25 cm	houppier non compris
bois de feu	max. 1 m min. 0,5 m	Ø fin bout > 7 cm	

Tab. 6 : critères de tri retenus pour le billonnage selon la filière

Filière	Volumes produits selon la sylviculture						
	classique			dynamique			détourage
	amél.	régé.	Total	amél.	régé.	Total	régé.
Tranche	10	85	95	9	65	74	51
Merrain	45	113	158	31	78	109	62
Plots	148	25	173	108	35	143	37
Sciages	117	165	282	71	80	151	15
bois de feu	381	178	559	309	177	486	172
Total	702	565	1 267	528	435	963	337

Tab. 7 : volumes cumulés de l'ensemble des coupes par filière selon les sylvicultures (en m³)

Indicateurs de rentabilité*	Sylviculture		
	Classique	Dynamique	Détourage
TIR	2,73 %	2,76 %	2,10 %
BASI ₀	1 500 €/ha	1 595 €/ha	-1 880 €/ha

*Hypothèse retenue : taux d'actualisation de 2,51 % (correspondant à une valeur du fond de 1 500 €/ha)

Tab. 8 : comparaison des indicateurs de rentabilité économiques pour les différents scénarios sylvicoles, d'après l'estimation des produits par filière

Le billonnage réalisé par le modèle prend bien en compte le fait que les arbres issus des trois sylvicultures n'auront pas le même profil : la proportion des houppiers pour les coupes de régénération est respectivement de 31 %, 41 % et 51 % pour les sylvicultures *classique*, *dynamique* et *détourage*. L'augmentation de la proportion de houppier entre les itinéraires *classique* et *dynamique* se fait surtout au détriment du sciage qui baisse de 46 % alors que la baisse globale (volume total) n'est « que » de 24 %.

Les rendements économiques calculés à partir des revenus estimés avec le modèle de billonnage sont nettement supérieurs à ceux obtenus à partir de la mercuriale de prix volume grume (cf. tableau 8, valeurs du TIR et du taux d'actualisation). Cela provient déjà des proportions très optimistes de tranche et merrain obtenues par la simulation (cf. tableau 7), supérieures à ce que l'on extrait aujourd'hui dans les coupes. La proportion de plots est également optimiste, aucun critère qualitatif ne pouvant être pris en compte (la différenciation plot sciage se fait uniquement sur le diamètre du cœur branchu).

La résultante est un prix moyen pour les coupes de régénération de plus de 300 €/m³ (volume total, houppier compris), soit plus de 500 €/m³ de volume grume (150 % du prix moyen de 2006 en chênaie atlantique).

Avec cette hypothèse de prix trop optimiste, les BASI₀ pour les itinéraires *dynamique* et *classique* apparaissent équivalents, celui du scénario *détourages* reste toujours nettement inférieur (-3 300 €/ha !). **Ceci confirme que l'itinéraire détourages est, malgré un raccourcissement très important de la révolution, un contresens économique en sylviculture de chêne de qualité**, dès lors que le peuplement peut bénéficier d'une sylviculture en plein.

Discussion

La comparaison de plusieurs itinéraires sylvicoles a permis de mettre en évidence que plus la sylviculture est intensive (au sens où les peuplements sont conduits plus clairs), moins la récolte est importante en volume. C'est ainsi que le volume total récolté baisse de 24 % (-15 % en récolte moyenne annuelle) en

passant de la sylviculture *classique* à la sylviculture *dynamique*, et que cette baisse est encore plus significative si l'on ne s'intéresse qu'aux gros bois, produits les plus rémunérateurs, avec -40 % et -66 % respectivement pour l'itinéraire *dynamique* et l'itinéraire *détourages* (-33 % et -53 % en récolte moyenne annuelle de gros bois).

Cette récolte attendue, modélisée par un simulateur de croissance pour les itinéraires *classique* et *dynamique* et à dire d'expert pour *détourage*, ne porte toutefois que sur la strate dominante et il y a fort à parier que ce qui semble être une perte de production en terme de volume total soit en partie reportée sur les strates inférieures. Si nous n'avons pas assez de recul pour avoir des certitudes, les peuplements ayant fait l'objet d'interventions par *détourage* depuis quelques années montrent déjà un développement important du sous-étage. Sylvicolement parlant, ce sous-étage devra être maîtrisé par des coupes de type furetage, ce qui occasionnera des récoltes complémentaires (bois énergie) non prises en compte par les calculs du présent article.

En terme de revenu pour le propriétaire, le bénéfice net actualisé sur la séquence infinie se trouve affecté à la baisse avec l'intensification de la sylviculture, c'est-à-dire un raccourcissement de la révolution tout en maintenant le même diamètre d'exploitabilité. Ce résultat est assez spécifique du chêne dont le prix augmente de manière quasi exponentielle avec le diamètre des arbres (tout du moins jusqu'à 75-80 cm). Avec la plupart des autres essences, l'augmentation de l'âge d'exploitabilité se traduit le plus souvent par une moins bonne rentabilité. La sylviculture *dynamique* proposée dans le guide des chênaies continentales donne ainsi des résultats moins bons que la sylviculture *classique* (baisse de -720 €/ha et -440 €/ha du BASI₀ selon

les deux grilles de prix utilisées, la mercuriale actuelle des chênaies continentales, et une hypothèse de mercuriale future plus haute). Pour la sylviculture par *détourages*, l'écart se creuse plus nettement avec respectivement -3 300 €/ha et -2 300 €/ha.

Les écarts important en terme de revenus entre les itinéraires comparés vont à l'encontre d'un raisonnement qui tend à faire croire que le choix de l'itinéraire sylvicole est secondaire d'un point de vue économique car « les revenus proviennent à plus de 80 % de la vente des billes de pied des arbres objectifs ». Effectivement, la grande majorité des revenus d'un itinéraire provient de la régénération (entre 71 et 73 % pour les itinéraires de sylviculture en plein), mais ces revenus peuvent être très différents d'un itinéraire à l'autre. C'est ainsi que les revenus des coupes de régénération des sylvicultures *dynamique* et par *détourages* ne représentent respectivement que 52 % et 30 % du revenu de l'ensemble des coupes de la sylviculture *classique* ! (cf. tableau 9).

Ces résultats, qui tendent déjà à préférer la sylviculture *classique*, peuvent être renforcés par plusieurs éléments non pris en compte et qui justifieraient l'application d'une mercuriale de prix d'autant plus basse que la sylviculture est *dynamique*. Parmi ces éléments, la proportion de bois utilisable par les industriels (duramen hors cœur branchu) qui sera supérieure avec la sylviculture *classique* : en effet, plus le chêne croît lentement en diamètre, moins son cœur branchu est important (vrai pour la partie de bille non élaguée au moment de la première éclaircie) et plus l'aubier est étroit. Mécaniquement ce phénomène devrait conduire à une majoration de volume utilisable, et donc de prix, d'environ 5 % entre la sylviculture *dynamique* et la sylviculture *classique*.

Le second élément est que les accroissements fins sont beaucoup

Revenus* selon les itinéraires		Revenus des coupes de régénération		
		Classique : 72 370 €	Dynamique : 53 106 €	Détourages : 39 096 €
Revenus totaux	Classique : 102 521 €	71 %	52 %	30 %
	Dynamique : 72 325 €	100 %	73 %	54 %
	Détourages : 39 096 €	185 %	136 %	100 %

*Hypothèse retenue : mercuriale actuelle des chênaies continentales

Tab. 9 : proportion du revenu total due au revenu des coupes de régénération

mieux payés aujourd'hui, notamment par la filière tonnellerie. Qu'il s'agisse de mode (couleur, aspect...) ou d'un intérêt technologique (voire gustatif !), si on faisait l'hypothèse que cet avantage va perdurer, alors la sylviculture *classique* devient sans équivoque celle qui procure les plus importants revenus, bien supérieurs à la sylviculture *dynamique* et sans commune mesure avec ceux de la sylviculture par *détourages*.

Conclusion

Pour un peuplement susceptible de produire de la haute qualité, c'est-à-dire dont le diamètre d'exploitabilité sera de 75-80 cm conformément à la directive nationale d'aménagement (DNA) en vigueur, c'est la sylviculture *classique* qui produira les revenus les plus soutenus pour le propriétaire. Ce choix est à retenir sans ambiguïté dans les secteurs identifiés comme des crus de qualité. Les revenus attendus de la sylviculture *dynamique* sont moins élevés et ceux de la sylviculture par *détourages* sont très significativement diminués.

Alors pourquoi proposer dans un guide des sylvicultures, pour des peuplements à objectif de production, des itinéraires qui sont a priori moins intéressants économiquement ? Il y a plusieurs raisons à cela.

Tout d'abord, les peuplements pour lesquels le sylviculteur peut véritablement choisir parmi les tra-

jectoires sylvicoles proposées sont minoritaires : il s'agit des peuplements qui n'ont pas dépassé le stade de la première, éventuellement de la deuxième éclaircie. Le plus souvent, le sylviculteur a affaire à des peuplements plus âgés, cultivés depuis des décennies et dont il ne peut plus radicalement changer la trajectoire sylvicole sauf à risquer de les déstabiliser ou bien de provoquer un développement important de défauts tels les gourmands (par surcapitalisation comme par décapitalisation excessive). Dans ces conditions, le guide préconise de conduire les peuplements vers la sylviculture *classique* ou la sylviculture *dynamique*, en choisissant celle qui occasionnera le moins de bouleversement. Cela permet en outre de préserver au mieux l'homogénéité de la largeur de cernes, premier critère de qualité pour les utilisateurs. Cette orientation peut quand même conduire à une dynamisation de la sylviculture car celle du passé a pu être excessivement conservatrice par endroits. Autre cas important de « choix » contraint : dans les stations les plus fertiles (haut de la classe de fertilité 1), la croissance est telle que, quoi qu'on fasse, les cernes auront toujours une largeur supérieure à 2,5 mm. On ne peut donc attendre aucun gain de revenu lié à des cernes fins. Dans ce cas, le guide des Chênaies continentales préconise de suivre le référentiel *dynamique* (l'analyse dont il est question ici n'a pas porté sur ces contextes très « poussants »).

Il y a ensuite le cas des peuplements aujourd'hui de qualité ordinaire ou médiocre, les plus abondants. Sauf cas particulier où cette qualité serait principalement liée aux conditions stationnelles, cet état résulte souvent d'un passé sylvicole que l'on ne souhaite pas reproduire. Le sylviculteur d'aujourd'hui escompte donc que la génération suivante sera de meilleure qualité. C'est pourquoi le choix de la sylviculture *dynamique* se justifie dans ces conditions pour atteindre les critères d'exploitabilité au plus vite, critères par ailleurs réduits par rapport aux peuplements de haute qualité, et repartir sur de bonnes bases techniques.

Enfin, même si son bilan économique est très défavorable, la sylviculture par *détourages* se justifie pour quelques peuplements aux caractéristiques particulières qui ne leur permettent pas de bénéficier d'une sylviculture en plein. C'est le cas notamment lorsque, au stade de la première éclaircie, les chênes seront rares (environ 50 tiges/ha) dans une matrice d'essence très concurrentielle, comme le charme ou le hêtre. La sylviculture par *détourages* peut aussi s'avérer nécessaire dans les situations où l'on sait que les 2 ou 3 premières éclaircies seront difficilement commercialisables (y compris en affouage) : petite unité de gestion, pente... Les premiers *détourages*, toujours réalisés en travaux, interviendront plus sûrement en temps opportun. Signalons encore que cet itinéraire par *détourages* se justifie peut-être plus souvent pour le chêne pédonculé (dont ne traite pas cet article), notamment lorsqu'il se trouve en station limite où l'on souhaite le maintenir à très faible densité pour prévenir le risque de dépérissement.

Au total, les conditions justifiant d'une sylviculture par *détourage* ne devraient pas concerner plus de 5 % des surfaces de chênaies continentales. Le choix entre sylviculture

classique et *dynamique* devrait être plus équilibré : dans les secteurs de très forte fertilité et/ou en qualité ordinaire (et a fortiori médiocre), l'itinéraire *dynamique* sera plus fréquent ; dans les zones de production de qualité, « crus » connus ou haute qualité attendue en fertilité bonne ou moyenne, l'itinéraire *classique* devra être choisi en priorité.

Thierry SARDIN

ONF, direction technique et commerciale bois département forêts

Frédéric MOTHE

UMR1092, Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois (LERFoB) INRA Champenoux

Les auteurs tiennent à remercier très sincèrement Jean Luc Peyron, actuel directeur du GIP ECOFOR, pour ses relectures et ses conseils avisés en terme d'analyse économique.

Bibliographie

BUCKET E., LE MOGUÉDEC G., MOTHE F., NEPVEU G., 2005. Une modélisation des bilans «environnement» et «produits» de sylvicultures contrastées : cas du Chêne sessile. *Revue Forestière Française*, vol. 57 n° 3, pp. 311-330

CAVAIGNAC S., LE MOGUÉDEC G., 2006. Un modèle pour estimer le prix des bois façonnés. Application aux lots de Chêne. *Rendez-vous Techniques de l'ONF* n° 12, pp. 10-14

DHÔTE J.F., HATSCH E., RITTIE D., 2000. Forme de la tige, tarifs de cubage et ventilation de la production en volume chez le Chêne sessile. *Ann. For. Sci.*, vol. 57 n°2, pp. 121-142

JARRET P., 2004 *Guide des sylvicultures : Chênaie atlantique*. ONF, 335 p.

SARDIN T., 2008. *Guide des sylvicultures. Chênaies continentales*. ONF, 455 p.



T. Sardin, ONF

Valoriser la production de chêne : des marchés exigeants, une sylviculture appropriée

Le chêne est l'essence emblématique de la forêt française, et en particulier de la forêt publique. Contrairement au hêtre, il a gardé, malgré les évolutions des marchés, une importance économique de premier plan dans la filière bois française où il occupe une position originale : la demande se concentre désormais sur les utilisations spécifiques et prestigieuses qui échappent aux « lois » des marchés de masse et qui exigent des grumes de « qualité supérieure ». La sylviculture a bien sûr un rôle déterminant.

Le chêne est une essence majeure du paysage forestier français de production, et il est d'une importance économique considérable pour la filière bois française, où il tient une place originale, comme pour l'ONF. En moyenne sur les 5 dernières années, les ventes de grumes¹ de chêne procurent 39 % des recettes bois en forêt domaniale et 29 % en forêt des collectivités. De ce point de vue, le chêne est donc la première essence domaniale et la deuxième en forêt des collectivités (où c'est la recette des résineux blancs, sapin et épicéa, qui arrive en tête).

Plus de la moitié de l'offre française annuelle de grumes de chêne est mise en marché par l'ONF, ce qui lui confère une responsabilité particulière envers la filière aval, pour entretenir le tissu industriel et maintenir les emplois. Réciproquement, c'est donc aussi l'intérêt de l'ONF de produire dans la mesure du possible les qualités et les quantités permettant de répondre aux attentes du marché.

Après un tour d'horizon de l'évolution de la demande en bois d'œuvre de chêne, l'article dégage pour les forestiers des conseils pratiques, sans reprendre les guides de sylviculture consacrés aux chênaies (atlantiques et continentales) mais

en portant l'accent sur ce qui peut être fait ou évité pour poursuivre l'augmentation sur le long terme de la proportion de bois d'œuvre de chêne de qualité.

L'ONF approvisionne les marchés du chêne, avec les qualités demandées

Marchés du chêne (bois d'œuvre) : évolution de la demande

Le marché français des grumes de chêne de qualité supérieure destinées à la tonnellerie a quadruplé en volume en 20 ans, passant de 80 000 m³ à plus de 300 000 m³. Cette utilisation vient en substitution du tranchage qui a fortement régressé dans le même temps. Ces qualités supérieures (merrain et tranchage) représentent 10 à 12 % des volumes de grume de chêne mobilisés en France.

Côté sciages, la qualité plot, la plus valorisante pour ce mode de transformation, se maintient avec des volumes de sciages de l'ordre de 250 000 m³, soit environ 450 000 m³ de grumes ; elle est destinée principalement à la menuiserie (escaliers, fenêtres, portes...) et à l'ébénisterie (ameublement), mais également à la fabrication de foudres et cuves pour les alcools et les vins. Viennent

ensuite les avivés de 1^{er} choix, destinés aux parquets haut de gamme, aux meubles de cuisine et à la fabrication de carrelés lamellés collés. Ils représentent environ 220 000 m³ de grumes. Enfin, les qualités moyenne à inférieure, destinées surtout à la charpente, aux aménagements extérieurs (lames à terrasse, platelage...), cercueils, planchers rustiques, représentent environ 350 000 m³ de sciages, soit environ 630 000 m³ de grumes.

On arrive ainsi à environ 1,6 million de m³ de grumes de chêne utilisées par l'industrie française de transformation du bois d'œuvre. S'y ajoutent environ 100 000 m³ de grumes destinées à la production de bois sous rails (traverses, bois d'appareils) et d'autres produits similaires comme la traverse paysagère ; ce volume est en baisse de près de 50 % en 10 ans.

La production de sciages feuillus en France est en forte décroissance depuis deux décennies et le chêne n'échappe pas à cette tendance, avec toutefois une baisse plus ancienne et plus progressive que pour l'ensemble des feuillus (figure 1). La demande de bois d'œuvre de chêne est donc structurellement en baisse sauf pour les usages merrain et plot. Parallèlement, depuis 25 ans, la moitié environ des scieries

¹Ensemble des tiges de catégorie de diamètre 30 et + (mesuré à 1,30 m du sol)

— Tous feuillus
— dont chêne

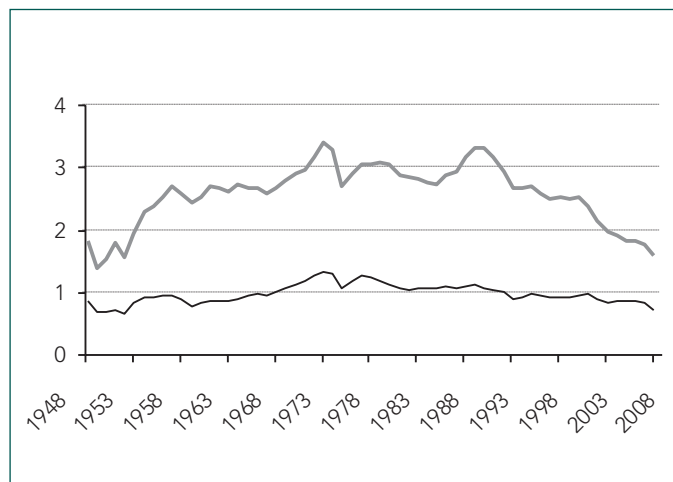


Fig. 1 : évolution des sciages feuillus fabriqués en France, en millions de m³ par an, sur 60 ans

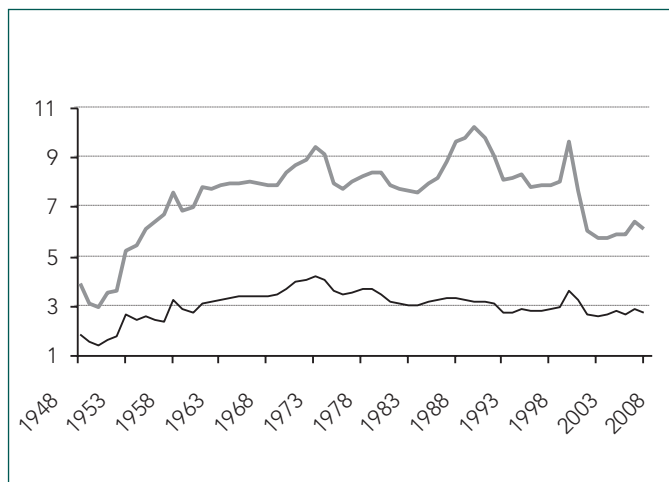


Fig. 2 : évolution de la récolte de bois d'œuvre feuillu en France, en millions de m³ par an, sur 60 ans

Le marché du merrain

Les volumes de grumes mobilisés par an par l'ONF en qualité merrain sont d'environ 150 000 m³ en forêt domaniale (15 à 20 % du total grumes), et d'environ 40 000 m³ en forêt des collectivités (5 à 6 % du total grumes). Globalement, la forêt publique fournit environ 60 % des approvisionnements amont nécessaires aux mérandiers et tonneliers, le solde venant de la forêt privée et des importations. La production et la valorisation du chêne à merrain en forêt domaniale sont donc déterminantes non seulement pour l'approvisionnement de cette filière mais aussi pour le budget de l'ONF qui récolte ainsi le fruit des efforts de conversion en futaie régulière...

Avec un prix moyen de 400 €/m³ de grume, les achats de la filière merrain représentent 120 millions d'euros par an. Ce marché a quadruplé depuis 1980 et est ainsi devenu le premier débouché en valeur du chêne français.

Demande, destinations

La demande en volume porte essentiellement (>80 %) sur des bois à grain fin, pour la production de barriques de 220 à 230 litres destinées aux vins. Il existe aussi une demande sur des bois à grain large pour produire des tonneaux permettant de faire vieillir des alcools forts (Cognac...). Néanmoins, pour le Cognac, la moitié des achats porte dorénavant sur du grain fin, en raison d'une évolution des goûts à l'export.

Les volumes de bois achetés par la filière merrain sont à 80 % utilisés pour la production française de tonneaux, d'une valeur

estimée à 400 M€, et qui représente les trois quarts de la production mondiale de tonneaux pour le vin. Cette production est exportée à 70 %. Deux tiers des exportations françaises vont dans les nouveaux pays producteurs de vin de qualité, pour moitié aux États-Unis, premier pays producteur et premier marché mondial pour les vins de qualité, et pour l'autre moitié, dans les cinq pays suivants : Australie, Afrique du Sud, Chili, Nouvelle-Zélande et Argentine. Les autres pays destinataires sont principalement en Europe, l'Espagne et l'Italie totalisant dorénavant 20 % des exportations françaises de tonneaux.

Les tentatives de délocalisation de la production de douelles et de tonneaux pour le vin initiées par certains groupes tonneliers français aux États-Unis n'ont, à ce jour, apparemment pas abouti. Le chêne à merrain français et le savoir-faire des mérandiers et tonneliers français restent sans concurrence au plan mondial.

Place dans le monde de la production française de chêne à merrain

Le massif français de chêne, sessile ou pédonculé, constitué depuis deux siècles et plus, offre un volume de chênes, qui représente plus de la moitié de la réserve et de l'offre mondiale de chêne destiné à la tonnellerie pour le vin. Par contre, pour le vieillissement des alcools forts, la production américaine de chêne à merrain à grain large issue de chênes rouges (2/3) et de chênes blancs (1/3), largement destinée au Whisky, dépasse celle de la France.

françaises de chêne a disparu. Des exploitants forestiers négociants, ayant parfois une activité annexe de sciage, ont pris un rôle majeur dans la commercialisation des grumes de chêne. Ces négociants assurent la découpe et la valorisation de la grume de chêne abattue avec comme objectif premier de valoriser les grumes destinées à la fabrication de merrains pour l'essentiel en France, puis d'écouler les autres qualités en les exportant si nécessaire.

Marchés du chêne : offre, formation des prix...

Face à la demande, la mobilisation des grumes de chêne en France est de 2,7 millions de m³ (moyenne 2004-2008), contre 2,8 millions de m³, avant les tempêtes de 1999, soit une légère baisse qui prolonge la tendance engagée depuis le début des années 1970 (4 millions de m³ mobilisés par an) (figure 2). Avec environ 800 000 m³ de grumes mobilisées en forêt domaniale et 700 000 m³ en forêt des collectivités, la part de marché gérée par l'ONF reste de 50 à 60 % en volume, mais elle est de l'ordre de 80 % pour les qualités supérieures moins présentes en forêt privée. Cela vient du fait que la conversion en futaie régulière est engagée depuis plus longtemps et de manière plus soutenue en forêt publique et notamment en forêt domaniale.

La partie des volumes mobilisés de grumes qui n'est pas destinée à l'industrie française de transformation du bois d'œuvre concerne surtout des qualités inférieures ; elle est soit exportée pour transformation délocalisée, soit utilisée en bois d'industrie ou en bois-énergie. Le flux net exporté (une fois déduites les importations) était jusqu'à récemment de 300 000 m³ par an, mais ce chiffre augmente fortement depuis quelques années. Une bonne partie des grumes exportées est transformée en parquet et en meuble dans des pays où la main-d'œuvre est bon

marché (Sud-Est asiatique, Europe de l'Est) et revient sur le marché français de la consommation.

Concernant les prix unitaires de vente des grumes, les différences liées aux qualités sont considérables et traduisent l'état de l'offre et de la demande par produit. Le chêne de bois d'œuvre étant un produit très hétérogène, son prix unitaire au m³ de bois sur pied peut ainsi varier de quelques dizaines d'euros à plus de 600 €. Le prix du chêne à merrain dépasse ainsi couramment 400 €/m³ de grumes, alors que le prix moyen de vente du m³ de chêne a peu varié durant les 10 dernières années (excepté l'envolée des prix constatée en 2007 et 2008, retombée depuis).

Bois d'œuvre de chêne : qualités attendues selon les utilisations

Le bois de chêne fait partie de ceux dont les utilisations sont les plus variées puisqu'il est aussi bien utilisé pour ses qualités mécaniques dans la construction que pour son esthétique en décoration ou encore pour ses capacités organoleptiques pour l'élevage des vins et des alcools. Évidemment les spécificités recherchées et les singularités admises sont différentes selon les usages. Les utilisations présentées ici ne se veulent pas exhaustives, ce sont simplement celles qui permettent de valoriser 90 % du bois d'œuvre de chêne.

Le chêne a la particularité de présenter du bois d'aubier et du bois de cœur (duraminisé) Aujourd'hui la plupart des produits bois d'œuvre excluent l'aubier beaucoup moins durable que le bois de cœur.

Construction

Dans la construction, le chêne est traditionnellement apprécié pour sa relative dureté, ses bonnes qualités mécaniques, aussi bien en flexion qu'en compression, et la durabi-

lité naturelle de son bois de cœur, laquelle a perdu beaucoup de son importance avec l'arrivée sur le marché de produits d'essences bon marché traités et imprégnés, dont la résistance aux intempéries est équivalente ou supérieure.

En charpente ou en ossature, la désaffectation vient aussi de ce que le bois de chêne est peu stable tant qu'il n'est pas sec à cœur, ce qui demande plusieurs années pour de grosses sections. Cela se traduit par l'apparition d'importantes fentes de retrait radiales et le vrillage des pièces longues, ce qui tend à réduire son usage, en bois massif, à la rénovation d'habitat ancien. Le maintien et la reconquête sur ces utilisations passent donc par des progrès sur le séchage et l'usinage afin que la pose soit réalisée avec des produits secs. Quant à la qualité mécanique, elle impose que la taille des nœuds soit limitée (en pratique $\leq 1/3$ de la section de la pièce) et qu'il n'y ait pas de fibre torse.

Aménagement, décoration

Dans le domaine de la décoration et de l'aménagement, les utilisations du bois de chêne sont nombreuses (en régression pour l'intérieur des constructions, en croissance pour l'extérieur). Il est apprécié pour son veinage marqué, son maillage, sa dureté. En revanche il présente l'inconvénient de mal prendre la teinte. L'utilisation de sciages de faible section, faciles à sécher et les progrès réalisés par les industriels de la seconde transformation, les menuisiers et les ébénistes permettent de s'affranchir des désagrégements relatés ci-dessus.

Les aménagements extérieurs en bois naturel de chêne se développent, particulièrement en terrasse, platelage et très récemment en bardage. Certains scieurs proposent des traitements complémentaires pour augmenter la durabilité du bois (thermohuilage...) qui est cependant d'au moins 20 ans sans traitement.



C. Robert, ONF



C. Robert, ONF

Le chêne brun, parfois toléré en aménagement - décoration mais rédhibitoire pour la tonnellerie

Les seules singularités qui peuvent être admises pour ces usages sont les nœuds de petite taille et les discolorations, notamment le chêne brun. Dans le domaine de la décoration pure (meubles, parquets, revêtements muraux, plaquages...) les effets de mode peuvent admettre des bois avec des picots, pattes de chat (cf. Colin et al., ce volume) et même des nœuds plus importants dans le rustique, ou bien exiger des bois pratiquement nets de toute singularité. Il en va de même pour les discolorations parfois recherchées mais souvent totalement bannies. La fabrication de carrelots à l'aide de bois aboutés et collés, pour les menuiseries et huisseries, exclut de fait les nœuds supérieurs à quelques centimètres pour des raisons d'usage et d'industrialisation.

Au-delà des modes, fugaces en comparaison de la durée de vie du chêne, les grumes les plus faiblement chargées de singularités sont les plus recherchées... et les plus rémunératrices.

Tonnellerie

Mais ce qui fait surtout l'originalité de la demande de chêne, c'est l'utilisation massive de son bois pour l'élevage des vins et des alcools en raison de ses **qualités organoleptiques**. Cette utilisation n'est pas nouvelle, puisque les aménagements des futaies domaniales du Centre la jugeaient déjà importante au début du 20^e siècle. Mais elle s'est étendue à la plupart des grands vignobles de la planète au point que, depuis deux décennies, le marché de la tonnellerie, totalement mondialisé, est leader sur le marché du chêne européen : le niveau de prix de vente des grumes dépend de sa plus ou moins bonne activité.

Le bois destiné à la transformation en merrains, les futures douelles des barriques, doit d'abord être exempt de nœuds, y compris picots et pattes de chat : pas de nœud traversant,

sous peine de fuite, et pas de nœud parallèle à la largeur de la douelle, sous peine de rupture au cintrage lors du montage de la barrique. Sont également exclues toutes les singularités susceptibles d'altérer ses capacités organoleptiques naturelles : pourritures, chêne brun et suintements liés à des blessures ou le plus souvent à des gélivures (les suintements communiquent au bois une odeur et un goût rédhibitoires).

En revanche, roulure et cadranure voire une ou deux gélivures « saines » ne pénalisent que faiblement les billons destinés au merrain tant qu'il est possible de tirer des douelles entre ces singularités (dès lors que le diamètre des billons est supérieur à 50 cm). Par ailleurs, le noyau de 18 à 20 cm de diamètre au cœur de l'arbre n'est pas utilisé en merranderie : les singularités, y compris les nœuds, y sont donc tolérées.

Enfin les acteurs de cette filière discutent beaucoup du « grain » du bois, autrement dit de la largeur du cerne annuel de croissance : grain fin (< 2 mm), moyen (entre 2 et 3,5 mm) ou grossier (> 3,5 mm). On dit traditionnellement que les grains fins sont utilisés pour les vins et les gros grains pour les alcools, même si les pratiques sont plus mitigées (certaines maisons utilisent également des grains fins pour les alcools). En fait, l'irrégularité du grain est beaucoup plus déterminante, et pénalisante, que sa dimension.

Produits attendus : contraintes d'usage et de rendement

Sont enfin écartés par les utilisateurs les produits (grumes ou billons) qui compliquent l'usage et font chuter le rendement.

Ainsi, quelle que soit l'essence travaillée, **la flexuosité** d'une grume est un handicap pour le sciage : en scierie, les courbures complexes (forme de S) sont rédhibitoires.

L'espèce du chêne aussi importante que le grain pour la tonnellerie

Le Groupe d'étude et de recherche sur l'élevage des vins de Bourgogne en fûts de chêne a diligenté l'expérimentation « Chêne de tonnellerie 2000 » dont l'objectif était de tester, toutes conditions étant égales par ailleurs (pratiques de tonnellerie et facteurs œnologiques), l'influence de l'origine géographique et de l'espèce du chêne sur les qualités analytiques et sensorielles des vins élevés en fûts neufs. L'espèce de chêne (sessile ou pédonculé) apparaît comme le facteur le plus évident de différenciation des vins élevés en fûts neufs, tant au niveau analytique que sensoriel ; pour une espèce donnée, il existe des différences entre forêts qui sont plus subtiles et plus difficiles à caractériser. Le bois de chêne sessile et celui de chêne pédonculé ne renferment pas les mêmes proportions de composés organoleptiques et les transmettent donc aux vins et aux alcools dans des quantités différentes, ce qui en dégustation aveugle donne des produits au goût différent. Ceci étant, l'appréciation (note de qualité) globale des origines de bois (couple espèce-forêt) est très différente selon le cépage considéré, différences qui s'expliquent par les mécanismes d'interaction bois-vin et qui, de l'avis des spécialistes, sont tout à fait dignes d'intérêt. Ainsi, la prise en compte de l'espèce, facteur largement sous-estimé par la filière au regard du grain (qui a l'avantage de la « lisibilité »), constituerait un progrès significatif dans le domaine de l'élevage des vins en fûts neufs. Certains clients commencent à s'y intéresser.

Il peut y avoir une relative latitude pour les courbures simples puisque la plupart des scieurs de chêne européens acceptent aujourd'hui des billons d'une longueur minimum de 2 mètres. Toutefois les billons droits de 4 mètres et plus sont les plus recherchés et les mieux rémunérés.

Le tranchage exige également des billons droits. Seuls les mérandiers s'accommodent d'une certaine flexuosité des grumes puisque la fabrication de douelles pour les barriques provient de billons de 1,10 mètre de longueur voire 0,60 mètre pour les fonds. Mais les douelles exigent, comme on l'a vu, un bois quasiment vierge de toute autre singularité, ce qui élimine de fait beaucoup de grumes sinueuses.

En revanche, du fait de ses marchés très particuliers, le chêne fait exception à la tendance générale selon laquelle, notamment en résineux, les clients délaissent les très gros bois pour lesquels ils ne sont pas équipés. Les gros bois de chêne sont les plus recherchés et les plus rémunérateurs. La plupart des utilisations en bois d'œuvre nécessitent des grumes déboutées à 28 - 30 cm

de diamètre fin bout et un peu plus pour les bois à fort aubier. Les utilisations les plus rémunératrices demandent des diamètres fin bout encore plus forts, 38 - 40 cm pour le merrain et 50 cm pour le tranchage.

Pour ce qui est des défauts internes, la gélivure et la cadranure sont très pénalisantes pour le scieur dans la mesure où elles font chuter fortement le rendement en sciage, multiplient les reprises en délignage et fournissent des produits de faible largeur peu rémunérateurs. La roulure lorsqu'elle est limitée au cœur de la grume et de faible ampleur ($\leq 15\%$ du diamètre à la culée) est beaucoup moins pénalisante en sciage, notamment pour les utilisations en charpente.

En quoi la sylviculture peut-elle répondre aux exigences des utilisateurs ?

Tout forestier qui travaille dans les chênaies doit avoir à l'esprit la citation d'un sylviculteur de chêne émérite² « Dans un chêne il y a trois tiers : le 1/3 supérieur qui fait vivre l'arbre, le 1/3 inférieur qui fait vivre le forestier et le 1/3 central sans grande valeur autre que celle de

relier les deux premiers ». Dans nos plus belles chênaies où la hauteur totale atteint 35 à 40 mètres, la grume utilisable en bois d'œuvre n'est au maximum que de 14 à 15 mètres de longueur et le billon susceptible des « qualités supérieures », est souvent plus court : c'est la bille de pied, qui focalise l'attention du sylviculteur.

Compte tenu des utilisations du bois de chêne et de la tendance des marchés correspondants, l'enjeu de la sylviculture, du point de vue de la production, est de récolter des grumes de gros diamètre (60-70 cm pour les peuplements de bonne qualité, 75-80 cm pour les peuplements de qualité exceptionnelle), à proportion d'aubier par conséquent réduite, à cernes réguliers, bien droites, et sans fibre torse ni défaut qui oblige à déclasser la qualité de la bille de pied. **Les défauts les plus pénalisants sont d'abord la flexuosité et la gélivure**, les autres singularités étant susceptibles d'élimination à l'usinage (pertes « admissibles ») ou s'avérant plutôt discriminantes, en quelque sorte, entre différentes utilisations du bois d'œuvre.

Nous ne revenons pas dans cet article sur les questions de grosseur des tiges et régularité du « grain », qui ont été étudiées et largement débattues pour l'élaboration des guides de sylviculture des chênes et sont au cœur même des grandes décisions : choix du traitement (intérêt net de la futaie régulière pour la production de qualité, possibilité de traiter en futaie irrégulière ou en TSF dans des contextes bien identifiés) et intensité des éclaircies (référentiels), aussi bien pour les itinéraires préconisés que pour les situations de rattrapage. Ceci étant, la sylviculture n'est pas qu'une question de référentiel, donc de largeur de cerne et de hauteur élaguée, elle détermine fortement la qualité des produits sous bien d'autres aspects.

² Philippe GIRAULT, agent patrimonial de l'agence Berry-Bourbonnais,

Produire des chênes droits sur les stations faiblement gélives

Passons rapidement sur le problème de la fibre torse, défaut présumé héritable sur lequel la sylviculture n'a guère de prise sauf à l'éliminer progressivement en supprimant les tiges atteintes à l'occasion des interventions tout au long de la vie du peuplement.

Travailler à la rectitude de la bille de pied

En ce qui concerne la forme, le chêne (sessile ou pédonculé) a une forte propension à la fourchaison ; la rectitude et le houppier sont fortement influencés par l'environnement immédiat. La sylviculture est donc déterminante pour réduire l'incidence de la flexuosité ainsi que celle des nœuds.

Toutes les **actions sylvicoles dans le plus jeune âge** (dépressage, 1^{ère} éclaircie précoce...) qui permettent entre autres effets de **limiter la concurrence entre**

tiges améliorent la rectitude de la bille de pied. Les interventions ultérieures viseront à éliminer les arbres sinueux ou à forte courbure avant qu'ils n'atteignent 25 à 30 cm de diamètre. Par ailleurs, comme le noyau de 18 à 20 cm de diamètre au cœur de l'arbre n'est pas utilisé en merranderie, il peut donc renfermer des singularités comme les nœuds, ce qui donne quelque latitude sylvicole dans le jeune âge.

Au fil des **éclaircies**, le forestier veillera à réduire le nombre d'arbres présentant des nœuds et autres singularités sur la bille de pied : il y en aura toujours suffisamment dans les surbilles pour les utilisateurs qui les recherchent. Les éclaircies régulières, conduites selon les référentiels, évitent aussi les alternances de développement de grosses branches et de remontées des houppiers : elles contiennent ainsi la multiplication très pénalisante des nœuds noirs et cocards (nœuds noirs caverneux issus de grosses branches mortes recouvertes par du bois sain).

Éviter les stations gélives, inaptes à produire des grumes utilisables en bois d'œuvre

Les gélivures, les roulures et cadranures qui y sont souvent associées sont la seconde cause importante de déclassement, même si elles n'affectent pas la totalité de la grume, car elles excluent ou pénalisent très fortement la bille de pied.

Or les études conduites lors des dernières décennies ont conclu à l'existence d'une liaison entre gélivure et facteurs édaphiques. **L'action la plus efficace** du forestier se situe donc dans les décisions à prendre lors de l'élaboration de **l'aménagement forestier** et du plan de gestion afin de réserver le chêne aux stations forestières présentant peu ou pas de risque de gélivure. Pour les forêts dont l'objectif principal est la production de bois d'œuvre un pourcentage de 15 à 20 % de tiges gélives dans un peuplement adulte paraît un seuil à ne pas dépasser. Ce seuil peut paraître faible mais très souvent le nombre de grumes laissant apparaître après abattage



C. Robert, ONF

Gélivure



C. Robert, ONF

Roulure et cadranure

une de ces singularités est doublé en comparaison du nombre de chênes présentant une gélivure visible sur pied.

Quelques précautions pour préserver la qualité des futures grumes

Enfin le chêne est affecté par des discolorations et par des pourritures, principalement la pourriture blanche et la pourriture rouge cubique (due au polypore souffré), qui détruisent le bois et le rendent impropre à toute utilisation. Elles se trouvent le plus souvent à la base de l'arbre et se purgent facilement et n'affectent donc finalement qu'une assez faible proportion des volumes de chêne, principalement de vieux arbres. On ne doit pas pour autant les négliger puisque la purge réduit la partie de la grume normalement la mieux valorisée.

Il faut se souvenir que toute blessure est une porte d'entrée pour les champignons dont certains provoquent des pourritures. D'autre part, les discolorations et pourritures sont particulièrement fréquentes sur les arbres issus de souches de 60 cm et + de diamètre. Selon plusieurs études, le bois brun à l'origine des discolorations qui dégradent fortement le prix d'une grume est plus fréquent dans les taillis sous futaie et les futaies sur souches. L'analyse du prix de vente du m³ en fonction du diamètre moyen montre d'ailleurs une inflexion au niveau du diamètre 60 cm : dans les anciens TSF, ce ne sont pas les plus gros chênes qui se vendent le plus cher, contrairement à ceux de futaie régulière.

En conséquence, l'aménagiste doit prévoir de ne pas laisser trop vieillir les peuplements issus de TSF et, au quotidien, le forestier doit veiller à la qualité d'exécution des éclaircies :

les cloisonnements d'exploitation sont, outre leur rôle de protection des sols, un excellent moyen de limiter les blessures aux arbres restants.

Claude ROBERT

ONF, DT Centre-Ouest –
Auvergne – Limousin
directeur bois

Benoît GÉNÉRÉ

ONF, DT CB-département
commercial bois responsable offre
et commercialisation des bois

Bibliographique

ONF, 1995 – dossier Les bois de merrain — *Arborescences*, n° 59, 25 p.

AGRESTE, 2009 – Récolte de bois et production de sciages en 2008. Série Agreste Chiffres et Données Agroalimentaires, n° 170, pp. 13-16.

AGRESTE, 2010 – Agreste Conjoncture — Bois et dérivés. Série Infos rapides n° 2/2, 7 p.

FEUILLAT F., 2006. Expérimentation « Chêne de tonnellerie 2000 » — Influence de l'origine géographique et de l'espèce du chêne (*Quercus robur* L., *Q. petraea* Liebl.) sur la qualité des vins élevés en fûts neufs. Groupe d'Étude et de Recherche sur l'Élevage des vins de Bourgogne en Fût de Chêne, ONF Bourgogne. Contribution à l'élaboration du rapport final de synthèse. 52 p.

GOUGEON R.D. *et al.*, 2009. The chemodiversity of wines can reveal a metaboecography expression of cooperage oak wood. *PNAS* vol. 106 n° 23, pp. 9174-9179



C. Robert, ONF

Bille à merrain

Conversion de chênaies en futaie régulière : quel impact sur la biodiversité ? Illustration en forêt domaniale de Montargis

Les guides des sylvicultures des chênaies intègrent à tous les niveaux les grands principes favorables à la biodiversité, en l'état actuel des connaissances. À l'échelle régionale ou du paysage, par exemple, la multiplicité des traitements et des itinéraires proposés contribue à l'expression de la diversité. Les critères de choix du traitement font cependant la plus large part à la futaie régulière et bon nombre de peuplements issus de taillis-sous-futaie seront convertis. Comment les communautés d'espèces réagissent-elles à ce changement de régime ? Les résultats des études du Cemagref en forêt de Montargis sont plutôt rassurants.

Depuis maintenant plus d'un siècle, la majorité des grandes chênaies domaniales françaises sont engagées dans un processus de conversion, dans le but de produire davantage de bois d'œuvre de qualité. Ce passage d'un mode de traitement en taillis-sous-futaie (TSF) à celui de futaie régulière (FR) modifie le régime de perturbations sylvicoles (figure 1), ce qui pourrait avoir des répercussions sur la biodiversité hébergée par ces forêts.

En effet, si ces deux systèmes se caractérisent par des coupes de forte intensité pour l'exploitation du bois, ils se distinguent notamment sur les aspects suivants :

- les coupes de forte intensité sont plus fréquentes en taillis-sous-futaie (20-30 ans) qu'en futaie régulière (180-220 ans), ce qui permet aux peuplements de futaie régulière de bénéficier d'une canopée fermée sur des cinquantaines d'années (en fonction de la sylviculture) et d'atteindre un fort volume sur pied en fin de cycle sylvicole, et ce à l'échelle de la parcelle forestière ;
- mais, en contrepartie, le régime de taillis-sous-futaie assure une

continuité en arbres adultes sur la parcelle au cours du temps, grâce aux réserves de futaie irrégulière, qui coexistent avec le taillis ; au contraire, la futaie régulière implique une disparition d'assez longue durée (plusieurs dizaines d'années) des arbres adultes à l'issue de la phase de régénération ;

- ces deux types de traitements peuvent enfin créer des conditions d'habitat différentes pour les espèces, notamment en termes de structure et de composition en essences des peuplements.

Par ailleurs, la conversion progressive depuis le siècle dernier a généré des peuplements transitoires, issus de taillis-sous-futaie et en attente de conversion vers la futaie régulière, qui sont toujours fréquents aujourd'hui (cf. figure 1). Depuis des décennies, ces peuplements d'anciens taillis-sous-futaie subissent un régime de coupes de faible intensité pour préparer la conversion (épuisement du taillis, régularisation). Ils conjuguent donc une continuité temporelle en arbres adultes sur la même parcelle, une relative fermeture de la canopée

depuis une cinquantaine d'années et un degré de maturité élevé (i.e. un fort volume sur pied).

Quelles sont alors les conséquences de ces changements de sylviculture sur la biodiversité ? La disparition de la canopée lors de la phase de régénération en futaie régulière a-t-elle un impact à plus long terme sur la biodiversité ? La longueur du cycle de futaie régulière est-elle bénéfique à la biodiversité ?

Principes de l'étude

Différents scénarios peuvent être envisagés selon les exigences autécologiques et la capacité de dispersion des espèces d'un groupe taxonomique donné (cf. Gosselin, 2004, Bergès, 2004, Gosselin et al., 2006).

L'hypothèse la plus optimiste serait que les espèces soient peu sensibles aux changements d'habitats induits par les coupes de régénération, ou seulement temporairement défavorisées. Cette dernière possibilité impliquerait que la reconstitution des peuplements adultes lors du cycle de futaie

régulière permette aux espèces affectées par les coupes de régénération de retrouver un habitat qui leur convienne dans les stades ultérieurs du cycle. Cela suppose que tous les stades de maturité des peuplements soient représentés et accessibles à l'échelle du massif forestier (longueur suffisante du cycle sylvicole, répartition équilibrée des classes d'âge, surface suffisante des parcelles), et que la capacité de dispersion des organismes ne soit pas un facteur limitant. Dans ces conditions, le cycle sylvicole de futaie régulière devrait alors favoriser certaines espèces qui ont besoin de grandes surfaces de peuplement âgé au couvert arborescent dense.

Cependant, il est possible que les espèces forestières observables aujourd'hui soient adaptées au régime sylvicole des siècles passés. Ainsi, on peut s'attendre à ce que certaines espèces soient adaptées à des grandes perturbations fréquentes (régime du TSF) et ne puissent supporter des phases fermées prolongées, comme c'est le cas pour de nombreuses plantes vasculaires.

À l'inverse, on peut aussi s'attendre à ce que les espèces dépendantes des arbres adultes et à faible capacité de dispersion ne puissent ni survivre localement à l'étape d'exploitation et de régénération du peuplement mature, ni se déplacer au sein du massif pour trouver refuge dans d'autres peuplements forestiers adultes lors de la disparition locale de la canopée. Si tel était le cas, les anciens taillis-sous-futaie devraient alors encore abriter ces espèces, du fait de la continuité temporelle en arbres adultes sur la même parcelle, contrairement à la futaie régulière.

Enfin, il est possible que certaines espèces ne retrouvent dans aucun des stades de futaie régulière les conditions favorables à leur existence.

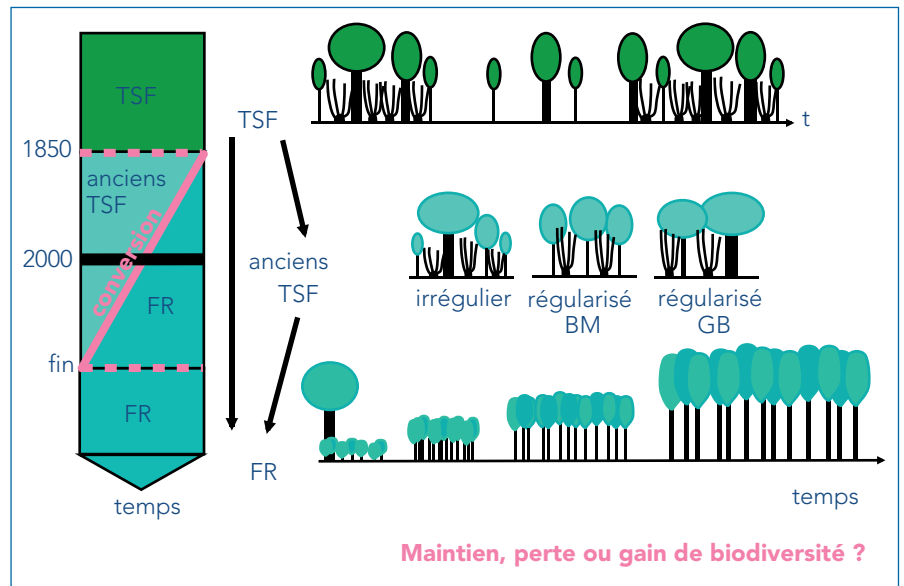


Fig. 1 : la conversion progressive des anciens taillis-sous-futaie en futaie régulière fait actuellement coexister différents types de peuplements au sein d'un même massif de chênaie

Appréhender la biodiversité en tenant compte de la pluralité des réactions à la conversion

Ainsi, pour tenir compte de la pluralité des réactions attendues, il est utile d'appréhender la biodiversité à travers différents groupes taxonomiques. Les mêmes questions suivantes ont donc été abordées sur trois groupes taxonomiques distincts, en partageant une grande partie du plan d'échantillonnage pour la flore les coléoptères carabiques et les papillons de nuit (figure 2 page suivante) sur le même site d'étude de la forêt domaniale de Montargis, dans le Loiret (chêne acidophile du domaine atlantique, cf. Jarret, 2004) :

- Les coupes de régénération, initiant le cycle de futaie régulière, provoquent-elles la perte d'espèces présentes dans des témoins d'anciens taillis sous futaie ?

- Ces espèces sont-elles capables de recoloniser les peuplements lors de la reconstitution de la strate arborescente, au cours du cycle sylvicole de futaie régulière ?

- La durée du cycle sylvicole de futaie régulière permet-elle à des communautés de se différencier sous forme de succession ?

- Cette succession permet-elle de reconstituer les communautés présentes avant les coupes de régénération ?

- Les différents groupes taxonomiques réagissent-ils de manière contrastée à de tels changements ?

Trois groupes taxonomiques retenus

Les trois groupes taxonomiques étudiés ont été choisis à partir d'un compromis entre raisons écologiques (cf. ci-dessous), compétences disponibles et facilité d'échantillonnage. Ils diffèrent selon les moteurs d'organisation de leurs communautés (variété des niveaux trophiques, des modes de dispersion et de reproduction, des exigences autécologiques, etc.) :

- les plantes vasculaires (phanérogames et ptéridophytes)¹ (Chevalier, 2003), généralement sensibles à la compétition pour la lumière, l'eau et les nutriments ;

- les Coléoptères carabiques² (Richard, 2004), groupe d'insectes diversifié tant sur le plan taxinomique qu'écologique, principalement prédateur, sensible aux changements de micro-habitats (température, humidité, ouverture,

¹ échantillonnées par quadrat de 400 m² sur 96 placettes en 1999.

² échantillonnés par pièges à fosse sur 100 placettes en 1999.

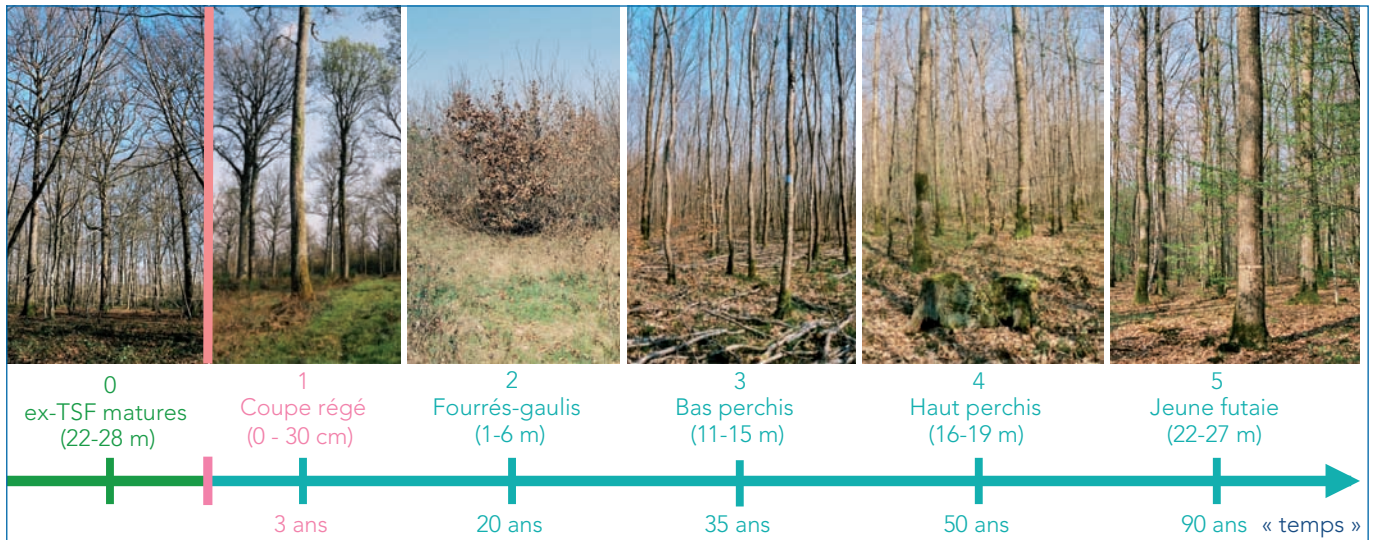


Fig. 3 : comparaison de stades sylvicole de futaie régulière, en référence aux anciens taillis-sous-futaie

type de sol, etc.) et dont la capacité de dispersion dépend de l'aptitude au vol des individus ;

■ les Lépidoptères hétérocères³, ou papillons de nuit (Bonneil, 2005), groupe d'insectes encore peu étudié bien qu'extrêmement riche en espèces, notamment forestières, et qui interagit fortement avec les communautés végétales (herbivorie, pollinisation).

Les communautés floristiques et entomologiques ont été comparées de manière synchronique entre, d'une part, des peuplements forestiers issus de taillis-sous-futaie et en attente de conversion vers la futaie régulière (anciens taillis-sous-futaie) et, d'autre part, quatre ou cinq stades sylvicole⁴ de futaie régulière (3 à 100 ans), allant jusqu'à la moitié du cycle sylvicole indiqué dans l'aménagement (figure 3). Nous présentons ici une synthèse générale de l'ensemble des résultats, en renvoyant le lecteur aux études respectives pour plus de détail sur chacun des groupes taxonomiques.

Réponse des communautés aux coupes de régénération et au cycle sylvicole de futaie régulière

Perturbation puis succession décalée pour les Coléoptères carabiques

À court terme (20 ans), les coupes de régénération perturbent diversement

les communautés de carabiques des anciens taillis-sous-futaie (en abondance ou présence/absence des espèces) :

- elles pénalisent certaines espèces associées aux stades plus matures de la forêt, notamment les espèces forestières généralistes et les espèces forestières à faible capacité de vol ;
- elles favorisent d'autres espèces, notamment des espèces non-forestières, qui colonisent les peuplements en régénération d'autant plus rapidement et d'autant plus fortement que leur capacité de vol est élevée.

À moyen terme (100 ans), les coupes de régénération initient une succession décalée des espèces de carabiques au cours de la première moitié du cycle sylvicole. Les deux tiers des espèces montrent en effet une préférence marquée pour l'un des stades de futaie régulière, et se caractérisent par des profils successionnels précoce, intermédiaire ou tardif (Richard *et al.*, 2004 ; Richard et Gosselin, 2005) (figures 4 et 5 page suivante). Notamment, les espèces forestières augmentent en abondance au cours du cycle, tandis que les espèces non-forestières diminuent en abondance. Ces patrons ne varient pas selon la capacité de vol des espèces, ce

qui laisse penser que la capacité de dispersion des espèces forestières serait suffisante au sein du massif pour que les populations puissent recoloniser les perchis et les jeunes futaies quelques décennies après la coupe de régénération.

Perturbation puis succession décalée pour les Lépidoptères nocturnes

La coupe d'ensemencement perturbe négativement les communautés de Lépidoptères nocturnes : la fréquence ou l'abondance d'un grand nombre d'espèces ainsi que la richesse et l'abondance de la majorité des groupes écologiques diminue suite à la coupe, ce qui se traduit par la chute de la richesse spécifique et de l'abondance totales (figure 4).

Au cours du cycle sylvicole, la composition spécifique évolue pour se rapprocher, en jeune futaie vers 100 ans, de la composition d'avant la coupe d'ensemencement. La richesse et l'abondance totales augmentent dans les stades jeunes pour atteindre un maximum en bas perchis vers 40 ans puis tendent à diminuer légèrement jusqu'en jeune futaie où leurs valeurs d'origine sont retrouvées. La majorité des espèces sont indifférentes à la coupe et ne varient pas au cours

³ échantillonnés par piège lumineux sur 35 placettes en 2003.

⁴ quatre pour la flore et cinq pour les Coléoptères carabiques et les papillons de nuit.




	Réponse à court terme (20 ans)	Réponse à moyen terme (100 ans)	
Flore vasculaire 	☺ positive pour la plupart des groupes écologiques	☹ diminution continue de la richesse spécifique totale, y compris pour les espèces sciaphiles	succession emboîtée des espèces
Carabiques 	☹ négative pour les forestières généralistes et forestières à faible capacité de vol ☺ positive pour les non forestières	☺ augmentation de l'abondance forestières ☹ baisse de l'abondance des non forestières ☺ reconstitution des communautés	succession décalée des espèces
Lépidoptères nocturnes 	☹ négative pour la plupart des groupes écologiques	☺ richesse spécifique et abondance totales maximales en bas-perchis (45 ans) puis légère chute ☺ reconstitution des communautés en jeune futaie	succession décalée avec beaucoup d'espèces indifférentes

Fig. 4 : réponse, à court et moyen terme, à la coupe de régénération pour les trois taxons étudiés Insérer la figure 5




Taxons	1 coupe de régénération	2 fourré-gaulis	3 bas perchis	4 haut perchis	5 jeune futaie
Flore vasculaire 	X	4 espèces indifférentes			
		10 espèces			
		8 espèces			
		14 espèces			
		7 espèces			
		5 espèces			
		1 espèce			
Coléoptères carabiques 	8 espèces indifférentes				
	8 espèces				
	1 espèce				
	9 espèces				
	4 espèces				
Lépidoptères nocturnes 	76 espèces indifférentes				
	3 espèces				
	6 espèces				
		8 espèces			

Fig. 5 : profils successionnels des espèces le long du cycle sylvicole de futaie régulière

En saumon : espèces à profil pionnier ; en vert : espèces à profil intermédiaire ; en bleu : espèces à profil plutôt tardif ; en gris : espèces à profil tardif. Les deux premiers types de profils pour les plantes sont tronqués, indiquant que ces espèces n'ont pas été trouvées dans les autres stades.

du cycle, mais certaines ont des réponses contrastées, avec notamment 8 espèces à profil tardif (figure 5).

Les réponses des groupes écologiques étudiés suivent celle de la communauté entière, y compris pour les espèces supposées favorisées par la coupe, à savoir les espèces de milieux ouverts ou espèces liées aux herbacées. Néanmoins, des tendances permettent de séparer les espèces en deux grands groupes :

- les espèces les plus défavorisées par la coupe d'ensemencement à court et à long terme sont les forestières, celles liées aux ligneux, les monophages⁵ et les Géométrides, moins aptes à la dispersion ;
- les espèces les moins défavorisées sont les eurytopes⁶, celles liées aux herbacées, les polyphages⁷ et les Noctuelles, plus aptes à la dispersion.

La similarité de réponse des groupes écologiques (sauf pour les espèces lichénophages) à la coupe d'ensemencement est surprenante mais elle pourrait s'expliquer par des conditions écologiques pénalisant toutes les espèces (microclimat, qualité du feuillage, prédation et parasitisme), ou peut-être aussi diminuant la capacité de détection des espèces au piège lumineux (prédation accrue à la lumière).

On observe donc une assez grande similarité de réponse des Coléoptères carabiques et des Lépidoptères nocturnes à la coupe de régénération et au cycle sylvicole. L'impact négatif de la coupe de régénération par rapport aux anciens taillis-sous-futaie est cependant encore plus marqué pour les papillons de nuit que pour les carabiques. La succession décalée des communautés, marquée par la présence de profils d'espèces précoces, intermédiaires et tardifs, signifie que tous les stades sylvicoles échantillonnés, notamment les plus tardifs, sont utiles pour conserver la biodiversité de ces deux taxons. La

fermeture du couvert de la strate arborescente semble notamment être une condition déterminante pour les espèces forestières.

Succession emboîtée pour la flore

En revanche, les coupes de régénération ont un effet positif sur la plupart des groupes biologiques ou écologiques de la flore (figure 4). Après cette phase favorable, le nombre d'espèces diminue de manière continue au cours du cycle sylvicole (figure 5), ce qui correspond à un modèle de succession emboîtée. Ces résultats sont nets pour la flore herbacée mais moins prononcés pour les espèces ligneuses.

Si le premier tiers du cycle de futaie régulière est favorable à la biodiversité de la végétation du sous-bois, le début du second tiers laisse présager une forte érosion, y compris pour les espèces forestières sciaphiles. L'effet de l'ouverture partielle lors des coupes régulières d'éclaircie paraît insuffisant pour compenser cette tendance décroissante. Il semblerait que les régénérations par coupes progressives produisent un niveau de perturbation favorable à la flore, alors qu'une fois passé le stade perchis, le faible niveau de perturbation nuise au maintien de la plupart des espèces.

En conséquence, le retour de certaines plantes au début du cycle suivant pourrait être compromis : il s'agit des espèces forestières, qui ne disposent que de faibles capacités de dispersion ou de persistance sous forme de graines dans le sol (Van Calster *et al.*, 2008). Si les tendances observées à la fin de la première moitié du cycle se poursuivent, elles pourraient décliner pendant la seconde moitié au point de ne pas pouvoir réapparaître lors de la coupe de régénération suivante, si l'effet des lisières comme sources de ces espèces s'avère insuffisant pour aider à la recolonisation effective. Ainsi le groupe des

espèces forestières pourrait s'être appauvri au début du second cycle de futaie régulière par rapport au premier cycle. En revanche, les espèces de milieux ouverts ou de stades pionniers seront *a priori* toujours présentes dans le paysage et disposent de capacités de dispersion suffisantes pour profiter des ouvertures fortes.

Réponse à la conversion des anciens taillis-sous-futaie en futaie régulière

Malgré ces réponses hétérogènes de la biodiversité à la régénération et à la croissance des peuplements de futaie régulière, les trois études montrent une faible rémanence des effets de la perturbation initiale sur cette biodiversité, à l'échelle de la centaine d'années.

Au cours de la première moitié du cycle sylvicole de futaie régulière, la composition des communautés de carabiques converge vers son état d'avant les coupes de régénération (anciens taillis-sous-futaie). Plus précisément, chacune des espèces, et notamment les espèces défavorisées par la coupe et les forestières aptes ou non au vol, atteint ou dépasse, dans un des stades sylvicoles de futaie régulière, son niveau d'abondance observé dans les anciens taillis-sous-futaie matures.

Pour les Lépidoptères nocturnes, au stade de la futaie régulière le plus âgé (jeune futaie), seule une espèce (*Lymantria monacha*) ne retrouve pas le niveau d'abondance observé dans les anciens taillis-sous-futaie, alors que la plupart des espèces et des groupes écologiques défavorisés par la coupe d'ensemencement regagnent, voire dépassent, leur niveau d'avant la coupe d'ensemencement.

Cela signifie que même si les coupes de régénération pénalisent à court terme certaines espèces de carabiques ou de papillons de nuit, ces

⁵ espèce monophage : se nourrissant sur des espèces végétales appartenant à un seul genre.

⁶ espèce eurytope : rencontrée dans plusieurs types d'habitat.

⁷ espèce polyphage : se nourrissant sur des espèces végétales appartenant à plusieurs familles.

dernières ne semblent pas avoir de difficultés à recoloniser les peuplements forestiers adultes issus de ces coupes de régénération. La qualité de l'habitat semble donc similaire entre les stades subadultes de futaie régulière et les stades matures des anciens taillis-sous-futaie. De même, la capacité de dispersion de ces taxons ne semble donc pas non plus un obstacle à la persistance de ces espèces à l'échelle du massif forestier, pourvu que la proportion de peuplements adultes soit comparable au niveau actuel.

Pour la flore, si la première moitié du cycle de futaie régulière s'avère nettement plus favorable à la biodiversité floristique que l'ensemble des anciens taillis-sous-futaie, cette différence est légèrement inversée lorsqu'on compare des peuplements de structure similaire dans chacun des modes de traitement (stade de jeune futaie en futaie régulière et peuplement régularisé Bois Moyen pour les anciens taillis-sous-futaie). Six espèces – essentiellement des ligneux – sont significativement moins abondantes en jeune futaie qu'en ancien taillis-sous-futaie de structure équivalente, contre deux espèces dans le cas contraire. De même, lorsqu'on compare la richesse spécifique et l'abondance des groupes écologiques de la flore entre ces deux peuplements, les seuls résultats significatifs sont en faveur des anciens taillis-sous-futaie, avec notamment une richesse en ligneux plus élevée. Une partie de ces différences pourrait être liée au plus fort couvert de hêtre dans le sous-étage des jeunes futaies dans la mesure où cette variable a un effet négatif sur la diversité de beaucoup de groupes de la flore. Une autre partie pourrait venir de différences intrinsèques, qui seraient le reflet de l'appauvrissement de la flore au cours du cycle de futaie régulière : le niveau de diversité floristique serait plus faible en fin de demi-cycle de futaie régulière qu'en anciens taillis-sous-futaie.

Discussion

Soulignons tout d'abord que **les résultats de cette étude sont globalement rassurants**. En effet, contrairement à des collègues américains ou belges (cf. par exemple Duffy et Meier, 1992 ou Godefroid *et al.*, 2005 pour la flore du sous-bois), nous n'avons pas trouvé d'effet très négatif à long terme de la conversion des anciens taillis-sous-futaie en futaie régulière. Cela vaut pour les trois groupes taxonomiques étudiés nous notons seulement un appauvrissement marqué de la flore au cours du cycle de futaie régulière, après une phase d'enrichissement importante en début de cycle. Cependant il ne faut pas se méprendre sur l'interprétation de ces résultats. En première lecture il serait tentant de conclure que la première partie du cycle de futaie régulière est «suffisante» à la prospérité de la très grande majorité des espèces étudiées et qu'il faudrait (pour pallier le déclin présumé de la flore en seconde partie de cycle) se presser de réduire la durée de rotation des chênaies atlantiques. Ce serait une erreur à ce stade des connaissances : nous avons seulement constaté à Montargis que la qualité et la variété des habitats développés durant la première moitié du cycle de futaie régulière convient à la grande majorité des taxons étudiés. Cela ne signifie pas que de tels habitats seront effectivement occupés dans un paysage très rajeuni par rapport au paysage actuel : nos résultats sont en effet conditionnels à l'environnement actuel – entre autres sur le plan de la structure des classes d'âges. Les recherches actuelles en biologie des populations – et notamment la notion de métapopulation – nous enseignent qu'un habitat de bonne qualité peut ne pas être occupé par un taxon si le paysage alentour lui est défavorable. En cas de raccourcissement de la durée

de rotation, le sort des espèces forestières de carabiques et de lépidoptères nocturnes est incertain. Si cette évolution était envisagée, il serait prudent compte tenu de nos résultats de mettre en place une procédure d'évaluation, dans le cadre d'une gestion adaptative active (Cordonnier et Gosselin, 2009) qui permettrait la comparaison avec le cycle actuel.

Enfin, il est difficile de prédire les effets de la conversion de la chênaie à plus long terme, au-delà de 100 ans et après plusieurs cycles de futaie régulière. Dans un domaine aussi complexe que celui des écosystèmes forestiers, il convient, avant de porter des conclusions définitives, d'élargir ce type de travaux à d'autres forêts, avec notamment des stades de futaie régulière plus âgés et de véritables taillis-sous-futaie, et à des contextes stationnels, climatiques et historiques plus variés. On peut par exemple imaginer que l'historique sylvicole ancien de la forêt de Montargis a déjà sélectionné les espèces capables de résister à l'exploitation forestière, auquel cas, les espèces forestières à faible capacité de dispersion et dépendantes de la présence d'arbres âgés ont peut-être déjà disparu ou trop fortement régressé pour être détectées dans nos études.

Les trois taxons étudiés réagissent différemment aux étapes de la conversion, ce qui illustre la nécessité d'étudier plusieurs compartiments taxonomiques lorsque l'on s'intéresse à la biodiversité. Par ailleurs, l'étude d'autres groupes du vivant, davantage liés aux gros bois et au bois mort comme les insectes saproxyliques, les champignons et les bryophytes, pourrait révéler des espèces pénalisées par la conversion des taillis-sous-futaie en futaie régulière. Enfin, des études pluriannuelles seraient bienvenues pour les insectes.

Conclusions

Au cours du cycle sylvicole de futaie régulière, nous avons observé que les premiers stades sont les plus favorables à la flore, alors que pour les carabiques et les papillons de nuit, tous les stades ont leur importance car ils hébergent des cortèges d'espèces différents. La fermeture de la canopée et la maturation des peuplements sont bénéfiques aux espèces les plus forestières de ces deux taxons entomologiques, mais défavorables aux plantes vasculaires. Du point de vue successional, un massif aménagé en futaie régulière offre ainsi une diversité d'habitats effectivement valorisée par les espèces de carabiques et de papillons de nuit.

Par comparaison aux anciens taillis-sous-futaie matures, les coupes de régénération qui amorcent le cycle de futaie régulière ont un impact fort sur la biodiversité au terme de 20-30 ans. Cet impact est positif pour la flore, variable selon les espèces de carabiques mais plutôt négatif pour les espèces forestières et plutôt négatif pour les papillons de nuit. De manière plus globale, malgré ces réactions contrastées entre taxons et entre espèces d'un même taxon, et mises à part quelques exceptions (*Lymantria monacha*, *Hyacinthoides non scripta*), la conversion des anciens taillis-sous-futaie en futaie régulière ne semble pas menacer la biodiversité de la flore herbacée, des Coléoptères carabiques et des Lépidoptères nocturnes au terme de 100 ans, et à l'échelle d'un massif forestier comme celui de Montargis.

Malgré les limites de nos résultats, certaines recommandations peuvent d'ores et déjà être formulées pour la gestion.

■ Les résultats hétérogènes entre groupes taxonomiques conduisent à rechercher un compromis dans la répartition spatiale et temporelle des coupes et des stades jeunes au sein du massif, de manière à préserver à

la fois les espèces favorisées par les stades jeunes (flore et espèces non forestières de carabiques) et celles favorisées par les stades adultes (espèces plus forestières de carabiques et papillons de nuit).

■ La persistance de certaines plantes forestières soumises en futaie régulière à un épisode de fermeture longue et totale du couvert pose problème. La faible durée de vie de leurs graines dans le sol rend improbable leur réapparition lors des coupes de régénération suivantes et leur faible capacité de dispersion limite leurs perspectives de recolonisation depuis les parcelles environnantes. En revanche, leur survie dans la parcelle pourrait être facilitée par le maintien de trouées tout au long de la vie du peuplement (en tirant parti des trouées de chablis générées par les tempêtes, par exemple) et/ou par le contrôle de l'abondance du hêtre, notamment dans les jeunes futaies. L'idéal serait alors de faire cohabiter, à l'échelle du massif, des parcelles ainsi maintenues légèrement ouvertes pour favoriser la flore vasculaire et des parcelles au couvert bien fermé, qui favoriseront les carabiques forestiers et les papillons nocturnes.

De telles recommandations se rapprochent de celles, plus générales, exprimées dans des synthèses bibliographiques (cf. Gosselin, 2004, Bergès, 2004, Gosselin et al., 2006), comme faire varier les modes de traitement à l'échelle régionale (ou au niveau du massif forestier), pour assurer une variété des régimes de perturbations et des successions ligneuses associées.

Emmanuelle DAUFFY-RICHARD
Laurent BERGÈS
Philippe BONNEIL
Richard CHEVALIER
Frédéric GOSELIN

Unité de Recherches Écosystèmes
 Forestiers — UR EFNO
 Cemagref, Nogent-sur-Vernisson
 prenom.nom@cemagref.fr

Remerciements

Nous tenons ici à remercier :

- les services de l'ONF qui nous ont permis de mener ces études dans la forêt domaniale de Montargis, et notamment Pascal Jarret pour l'intérêt qu'il a porté à nos travaux ainsi que François Chieze et Gilles Deboisse qui nous ont fourni des informations précieuses pour la construction des plans d'échantillonnage ;
- les collègues du Cemagref qui ont co-encadré les études (Jacques Lhonoré †) ou aidé sur le terrain et au laboratoire (notamment Jean-François Abgrall, Christophe Bouget, Guillaume Le Goff, Véronique Linz et Carl Moliard) ;
- les collaborateurs scientifiques de cette étude, principalement Hans van Calster, B. Van Wyngene et Martin Hermy de l'Université Catholique de Leuven, Kris Verheyen de l'Université de Ghent (Belgique) ainsi que Jean-François Ponge du Muséum National d'Histoire Naturelle.

Bibliographie

BERGÈS L., 2004. Rôle des coupes, de la stratification verticale et du mode de traitement sur la biodiversité. In Gosselin M., Laroussinie, O. (Eds), Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver – synthèse bibliographique. Cemagref Editions, Antony. pp. 149-215

BONNEIL P., 2005. Diversité et structure des communautés de Lépidoptères nocturnes en chênaie de plaine dans un contexte de conversion vers la futaie régulière. Thèse de Doctorat, Ecologie, Muséum National d'Histoire Naturelle. 227 p.

CHEVALIER R., 2003. Sylviculture du Chêne et biodiversité végétale spécifique. Étude d'une forêt en conversion vers la futaie régulière : la forêt domaniale de Montargis

(45). Mémoire pour l'obtention du diplôme de l'École Pratique des Hautes Études. Cemagref, Nogent-sur-Vernisson. 111 p.

CORDONNIER T., GOSELIN F., 2009, La gestion forestière adaptative : intégrer l'acquisition de connaissances parmi les objectifs de gestion. *Revue Forestière Française*, vol. 61 n° 2, pp. 131-144

DUFFY D.C., MEIER A.J., 1992, Do Appalachian herbaceous understoreys ever recover from clearcutting?. *Conservation biology*, vol. 6, n° 2, pp. 196-201

GODEFROID S., RUCQUOIJ S., KOEDAM N., 2005, To what extent do forest herbs recover after clearcutting in beech forest? *Forest Ecology and Management*, vol. 210, n° 1-3, pp. 39-53

GOSELIN F., 2004. Imiter la nature, hâter son œuvre? Quelques réflexions sur les éléments et stades tronqués par la sylviculture. *In* Gosselin M. et Laroussinie O. (Eds),

Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver — synthèse bibliographique. Coédition GIP Ecofor — Cemagref Editions, Antony. pp. 217-256

GOSELIN M., VALADON A., BERGÈS L., DUMAS Y., GOSELIN F., BALTZINGER C., ARCHAUX F., 2006. Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : état des connaissances et recommandations. Cemagref, Nogent-sur-Vernisson. 161 p.

JARRET P., 2004. Guide des sylvicultures. Chênaie atlantique. Lavoisier – Office National des Forêts. 335 p.

RICHARD E., 2004. Réponse des communautés de carabiques à la conversion en futaie régulière de chêne : aspects écologiques et méthodologiques. Thèse de Doctorat, Sciences de l'Environnement, ENGREF, Paris. 446+164 p.

RICHARD E., GOSELIN F. ET LHONORÉ J., 2004. Short-term and mid-term response of ground

beetle communities (*Coleoptera, Carabidae*) to disturbance by regeneration felling. *In* Honnay O., Bossuyt B., Verheyen K. et Hermy M. (Eds), *Forest Biodiversity : Lessons from history for conservation*. Oxon, UK, IUFRO Res. Ser. CAB International, pp. 179-192

RICHARD E. ET GOSELIN F., 2005. Ecological traits : surrogates for short-term carabid response to regeneration felling of mature oak stands? *In* Serrano J.G. et Ruiz C. (Eds), XII European Carabidologists Meeting, «Ground beetles as a key group for biodiversity conservation studies in Europe», Murcia, Spain. Nausicaà Edicion Electronica, S.L., pp. 85-92

VAN CALSTER H., CHEVALIER R., VAN WYNGENE B., ARCHAUX F., VERHEYEN K., HERMY M., 2008. Long-term seed bank dynamics in a temperate forest under conversion from coppice-with-standards to high forest management. *Applied Vegetation Science* n° 11, pp. 251-260



F. Chièze, ONF

Jeune futaie de 100 ans en forêt domaniale de Montargis

Gourmands et autres épïcormiques du chêne sessile

Mise en place sur les troncs, dynamique et contrôle sylvicole

Les sylvicultures des chênaies visent à optimiser la production de gros bois de qualité, dans le respect des écosystèmes et des paysages forestiers. Or le chêne sessile est particulièrement sujet aux picots et gourmands, qui peuvent laisser dans son bois des traces (des nœuds) très préjudiciables. Des études ont été engagées depuis bientôt 20 ans pour comprendre ces phénomènes épïcormiques, avec des résultats intéressants. L'origine des épïcormiques est élucidée et, si la compréhension de leur dynamique reste à approfondir, elle a déjà des incidences sylvicoles pratiques.

Le chêne sessile est une essence réputée particulièrement sensible à la mise en place de gourmands sur son tronc. Un gourmand est un rameau feuillé qui peut apparaître longtemps après que l'élagage naturel ait fait disparaître les branches de la base du houppier. Il est nommé gourmand car il est supposé détourner à son profit les substances nutritives de l'arbre. Il apparaît à partir d'un bourgeon situé à la périphérie du tronc. Ce mode d'apparition est exprimé par le terme épïcormique, du grec *épi* (à la périphérie) et *cormus* (tronc). D'autres formations présentes sur le tronc peuvent être qualifiées d'épïcormiques : les amas de bourgeons, les picots et les broussins. Ces formations comptent parmi les défauts les plus importants des grumes de chêne, qui rendent difficile l'obtention des volumes des meilleures qualités.

Cet article retrace les principaux résultats de recherche acquis depuis une dizaine d'années, dans le cadre d'une collaboration exemplaire entre l'ONF,

l'Université de Reims (Laboratoire Stress, Défense et Reproduction des Plantes) et l'INRA-Nancy, UMR 1092 INRA-AgroParisTech LERFOB.

Mise en place des épïcormiques

L'origine des épïcormiques du chêne sessile a été particulièrement bien élucidée lors de la thèse de Florence Fontaine (1999). La compréhension de leur dynamique se poursuit à partir du suivi annuel de la pousse de 1993 sur 60 arbres du dispositif de Montrichard (tableau 1 p. 50). Cette pousse, choisie en 1997, est située entre 2 et 3 m de haut, soit au milieu de la future bille de pied.

À l'origine des épïcormiques il faut considérer l'allongement de chaque pousse annuelle, constituée de 1, 2, 3 voire 4 unités de croissance (figures 1A et 1B) (Fontaine, 1999). Une unité de croissance est une portion de tige produite durant une phase ininterrompue d'allongement, séparée par deux périodes sans allongement. Sur chaque unité

de croissance sont déposées des pièces foliaires, écailles ou feuilles, qui hébergent chacune à sa base un bourgeon axillaire. À partir des effectifs de branches, d'épïcormiques et d'aisselles vides, comptabilisés à Montrichard en 1997, il a été déduit qu'environ 50 à 70 bourgeons axillaires avaient été mis en place par mètre de tige en 1993.

Différentes formations épïcormiques

L'année suivant l'allongement de la pousse annuelle (figure 1C), un tiers environ des bourgeons axillaires tombe, un tiers se développe en branches (dites séquentielles) et un tiers se maintient à l'état de bourgeons qui deviennent alors **bourgeons épïcormiques primaires** (figure 2A) (Fontaine *et al.*, 2001, 2002). À la base des branches séquentielles sont mis en place, dans un second temps, des bourgeons qui eux aussi peuvent se maintenir en l'état (figures 2B et 3H). On les qualifie de **bourgeons épïcormiques secondaires** ; ils participent pour environ 50 % des

bourgeons visibles sur les troncs. Dans cette catégorie on comptabilise également les bourgeons sur-numéraires, situés à la base des plus gros bourgeons axillaires (figures 1C et 2C) et les bourgeons en base de pousse épïcormique. Dans le bois, la trace des bourgeons (figure 3A) n'a aucun effet sur la qualité du bois. Quatre devenir sont possibles pour un bourgeon épïcormique :

- son maintien en l'état ;
- sa disparition et son englobement ;
- sa ramification qui produit des **amas**, définis comme des regroupements de bourgeons (au maximum 5) distants de moins de 3 mm (figures 2G et 3B) ;
- son développement en une pousse feuillée reconnaissable à son insertion horizontale et à l'absence de « moustache de Chinois ».

Selon l'éclaircissement dont elle dispose, une pousse feuillée peut être

- un **poil** : 5 cm de long, non ramifié, présentant une à deux années d'allongement (figure 2D),
- une **branche gourmande** : dimen-

sions comparables à celles d'une branche séquentielle, longueur supérieure à 75 cm (figure 2F) (Duplat, 1993) ;

- un **gourmand** : dimensions intermédiaires entre celles du poil et de la branche gourmande (figure 2E). Les pousses épïcormiques ont deux conséquences. Tout d'abord, la trace laissée dans le bois est un nœud dont l'impact sur la qualité dépend de ses dimensions (figures 3E et 3F). Sa présence étend en diamètre le cœur branchu. Celui-ci est défini comme la zone centrale de l'arbre de 10 à 20 cm de diamètre constituée de nombreux défauts (chicots de branches séquentielles mortes, branches séquentielles vivantes, courbure, sinuosité...) souvent non utilisée lors de la transformation du bois. D'autre part, ces pousses épïcormiques participent à la mise en place de bourgeons épïcormiques secondaires.

Un élagage partiel de l'extrémité apicale des poils est à l'origine des **picots** (figures 2H, 2I, 2J, 3D), portion courte

d'axe portant des bourgeons voire des poils superposés. L'autre origine probable des picots est l'allongement important de certains bourgeons qui, sans atteindre l'état de pousse feuillée, mettent en place des bourgeons axillaires par leurs écailles basales. Dans le bois, les picots présentent initialement une seule trace sans effet sur la qualité (figure 3C). Les formes âgées peuvent présenter des traces plus nombreuses et larges avec des zones foncées signe de mortalité des poils et d'oxydation (figure 3I) (Fontaine et al., 2004).

La juxtaposition d'amas, de poils, de gourmands voire de picots et de restes de branches séquentielles conduit à la formation de **broussins** (figures 2K, 2L, 2M) caractérisant les arbres **brogneux** (figure 2N). Les **broussins** laissent invariablement dans le bois les vestiges de couleur foncée des branches et poils élagués les ayant composés, parfois sous forme de « patte de chat » (figure 3G). Généralement ils dégradent donc considérablement la qualité du bois (figure 3J) (Fontaine et al., 2004).

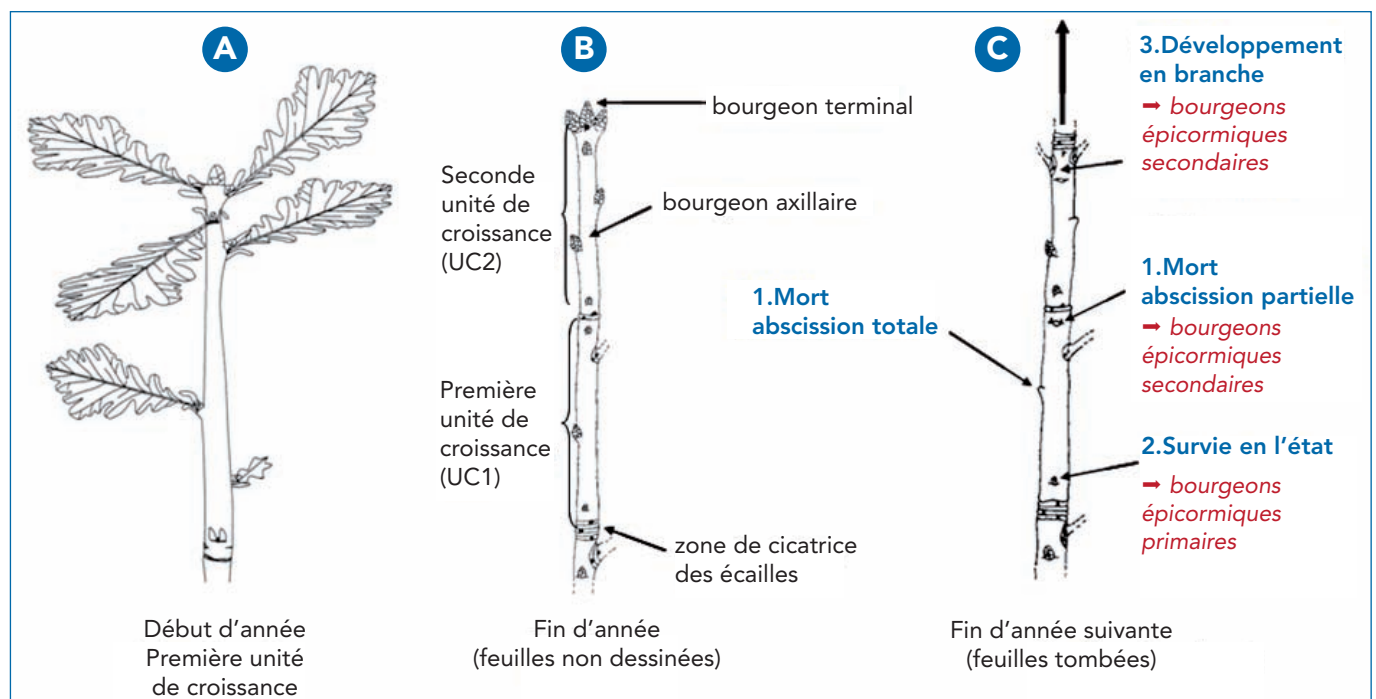


Fig. 1 : l'origine des épïcormiques

Lors de l'allongement de la tige, des bourgeons axillaires sont déposés à l'aisselle de chaque pièce foliaire (A et B). L'année suivante (C), environ un tiers de ces bourgeons axillaires tombe, un tiers se transforme en branche séquentielle, un tiers reste latent : les épïcormiques. Des bourgeons épïcormiques secondaires apparaissent à la base de certains gros bourgeons axillaires et à la base des séquentielles.

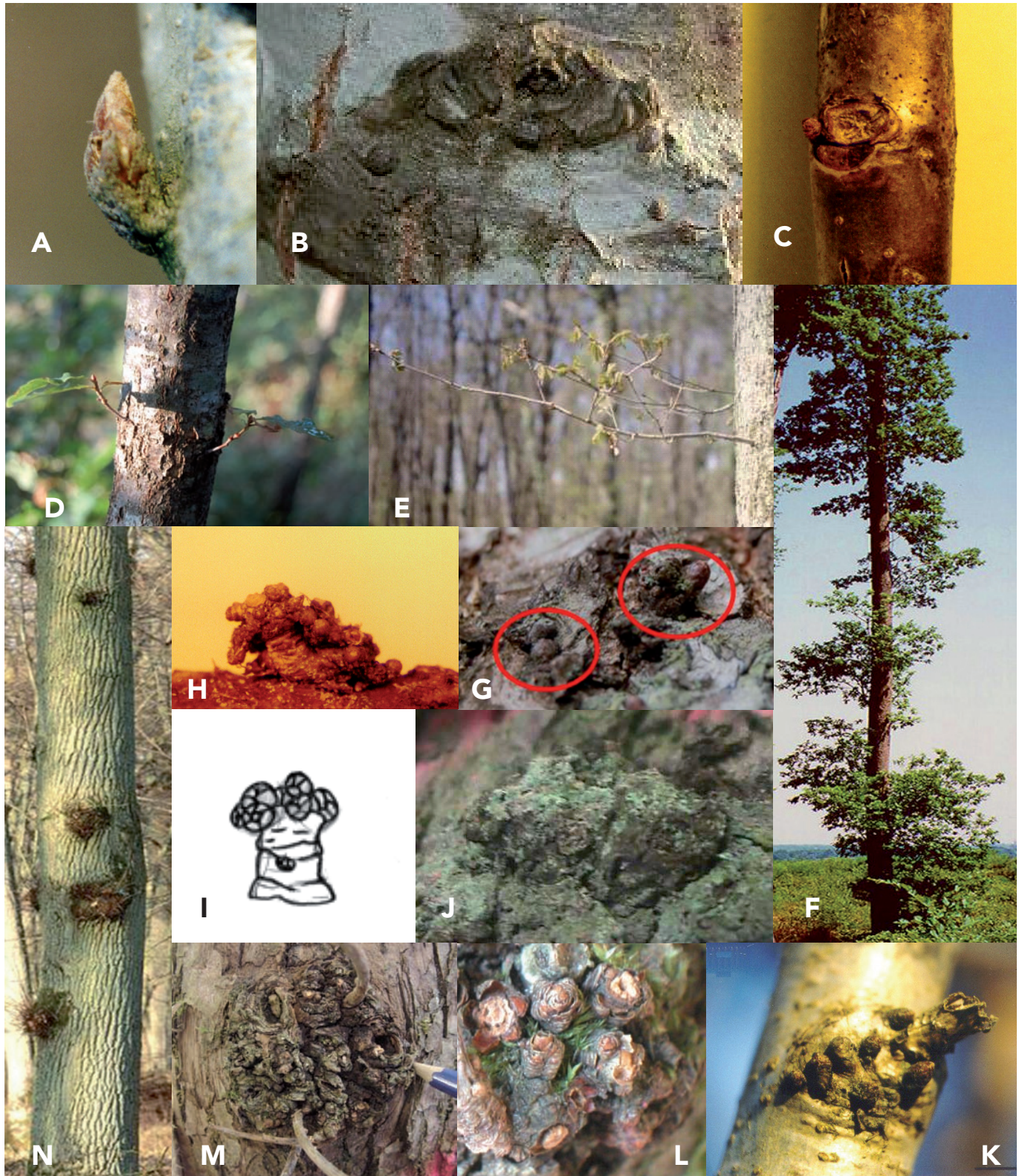


Fig. 2 : quelques aspects des différents types d'épicormiques

- | | | | |
|---|---|---|--|
| A | Bourgeon primaire allongé | H | Picot : axe court portant des bourgeons superposés |
| B | Bourgeons secondaires ronds en base de branche séquentielle | I | Dessin d'un jeune picot |
| C | Bourgeon secondaire rond en base de gros bourgeon axillaire tombé | J | Forme âgée de picot, d'aspect peu discernable d'une aspérité de l'écorce |
| D | Poils : 2 ans d'âge, non ramifiés, 5 cm de long environ | K | Broussin de bourgeons en base de séquentielle |
| E | Gourmands | L | Broussin de bourgeons et de picots |
| F | Branches gourmandes gainant le tronc sous le houppier de branches séquentielles | M | Broussin complexe portant des bourgeons et des poils |
| G | Deux amas de bourgeons en limite d'unité de croissance | N | Arbre brogneux couvert de broussins |

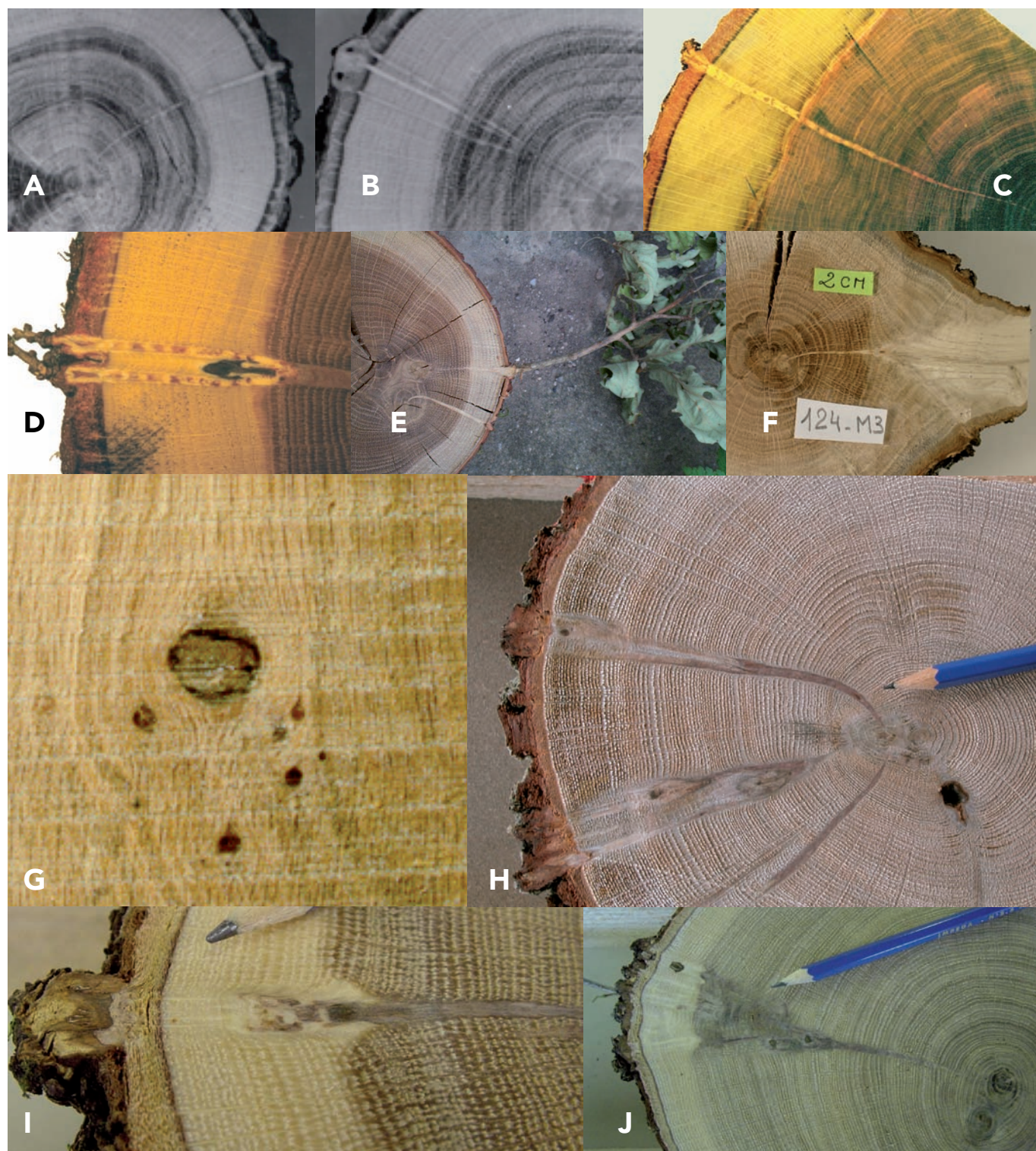


Fig. 3 : les traces épïcormiques dans le bois ; photos en plan transversal sauf la photo G, prise dans le plan longitudinal tangentiel (celui d'un placage)

- A Trace de bourgeon primaire, non préjudiciable à la qualité
- B Trace ramifiée d'amas, également non préjudiciable
- C Trace du jeune picot de la figure 2H, non préjudiciable
- D Exemple de filiation d'épicormiques. L'élagage d'un poil mort a donné une pointe noire dépréciant la qualité. Deux bourgeons secondaires sont venus, repoussés en périphérie. Ils ont donné deux poils, eux-mêmes élagués partiellement et donc devenus picots, formant finalement un broussin.
- E Bourgeon secondaire de branche séquentielle récemment développé en gourmand et ayant mis en place un petit nœud en périphérie.

- F Après éclaircie forte d'un perchis (expérimentation de Tronçais II) un bourgeon primaire s'est développé en branche gourmande, occasionnant un nœud périphérique de forte dimension.
- G «Patte de chat» typique, avec en haut un rameau élagué et noirci (du type de la figure 2K) et en bas, disposées en cercle, les traces noires de poils élagués (comme en figure 3D).
- H Trois bourgeons secondaires ont donné, par succession complexe de différents épïcormiques, trois broussins dans un même plan transversal.
- I Picot âgé relié par trois traces de bourgeons secondaires au défaut brun, une dizaine de cerne (2-3 cm) en retrait.
- J Trace conique caractéristique d'un broussin s'élargissant par émissions successives de bourgeons, poils, qui meurent et s'élaguent, et sont relayés par d'autres bourgeons...

Dynamique des formations épïcormiques

Deux notions ont été introduites pour quantifier les épïcormiques.

- **Le potentiel épïcormique** est l'effectif de bourgeons (primaires et secondaires) par mètre de tronc (Fontaine *et al.*, 2001). Il décroît régulièrement d'environ 4-5 % par an, selon les résultats obtenus depuis 11 ans à Montrichard (figure 4).

- **Le cortège épïcormique** est l'effectif total et la proportion respective de tous les types d'épïcormiques (Colin et Fontaine, 2006 ; Colin *et al.*, 2010b).

L'observation des cortèges épïcormiques sur les billons 0,5-3 m des témoins du dispositif de Tronçais (tableau 1 p. 50) montre clairement une proportion équivalente de bourgeons, amas et poils au stade gaulis (figure 5A). Le stade perchis est caractérisé par une accumulation d'amas (figure 5H). Au stade jeune futaie ce sont les picots qui s'accumulent, en plus des amas (figure 5M). La portion de tronc 3-6 m présente un cortège épïcormique à un stade moins avancé que celui de la portion 0,5-3 m, comparable à celui de la portion 0,5-3 m du stade de développement précédent (comparer les figures 5E et 5A, 5K et 5H). À noter que le potentiel épïcormique de la portion 3-6 m est par ailleurs plus abondant que celui de la portion 0,5-3 m (données non montrées).

Une forte variabilité interindividuelle difficile à comprendre

La présence des épïcormiques est fortement variable entre arbres d'une même parcelle, rendant parfois difficile la comparaison de différents scénarios sylvicoles. Les dimensions courantes de l'arbre et de son houppier, les variations de croissance, le statut social, l'état sanitaire des houppiers, la station dont le niveau d'hydromorphie, ne semblent pas pour l'instant expli-

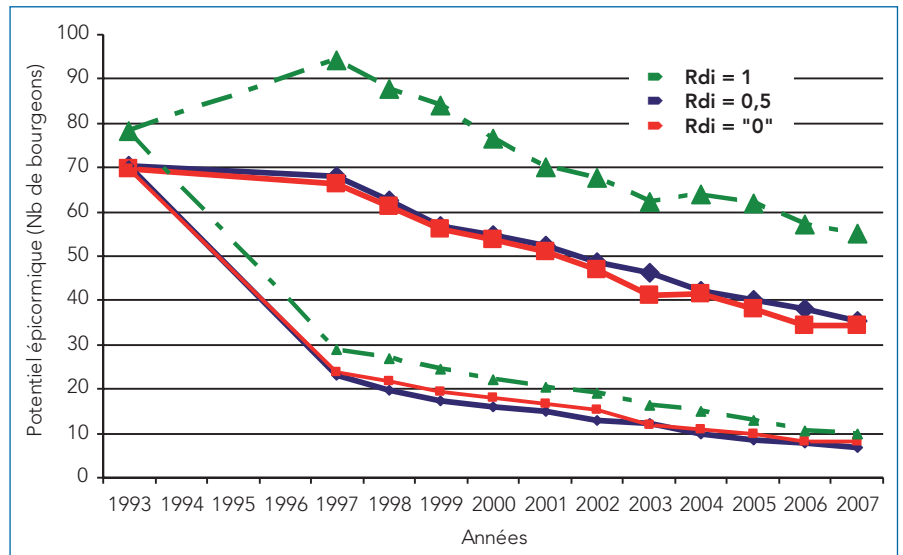


Fig. 4 : dynamique, entre 1997 et 2007, du potentiel épïcormique moyen au milieu de la future bille de pied et effectif reconstitué des bourgeons axillaires sur la pousse correspondante (1993) ; moyenne calculée par mètre de tige et sur la vingtaine d'arbres suivis par modalité

Les trois courbes du bas représentent les bourgeons d'origine primaire. Celles du haut représentent des bourgeons primaires et secondaires rassemblés. L'augmentation constatée entre 1993 et 1997 pour la modalité Rdi = 1 est due à la présence (fortuite) d'arbres portant de nombreuses branches séquentielles avec à leur base des bourgeons épïcormiques secondaires.

quer de façon nette et cohérente la présence des épïcormiques. Une des sources avérées de la variabilité est le potentiel épïcormique, certains arbres en présentant un plus faible que d'autres. La provenance a un effet significatif mais faible (Colin *et al.*, 2010a) ; de même l'hypothèse d'une plus grande proximité génétique de voisins brogneux ou couverts de picots par comparaison avec des proches voisins « propres » n'a pu être confirmée.

Expérimentations sylvicoles

Pour étudier la question du contrôle par la sylviculture, les épïcormiques ont été relevés dans un panel d'expérimentations sylvicoles testant différents types et intensités d'intervention correspondant aux différents stades de croissance en hauteur : densités de plantation, dépressages en plein ou localisé, éclaircies ou détou-rages. Les 10 dispositifs retenus pour cette étude sont décrits dans le tableau 1 (page suivante).

Les densités initiales de semis ou plantation n'influencent pas la formation de gourmands

L'effet des 3 densités de plantation testées à Lyons-la-Forêt n'est pas significatif sur les effectifs de gourmands relevés après 20 ans (Colin *et al.*, 2008). À Montrichard, les trois scénarios installés dans une régénération naturelle à Ho = 3-4 m conduisent à des diminutions équivalentes du potentiel épïcormique au cours du temps, de 4 à 5 % par an (figure 4), et à des cortèges épïcormiques 2007 peu différents entre modalités : autour de 75 % de bourgeons isolés, autour de 16 % de poils et gourmands, environ 7 % de picots et environ 2 % d'amas (Baly, 2007).

Les prélèvements doivent être très forts au stade Ho = 7-9 m pour que les gourmands apparaissent

À Tronçais-I, les dépressages réalisés à Ho = 7-8 m n'ont aucune influence sur le cortège épïcormique du billon 0,5-3 m, évalué 6 ans plus tard, jusqu'à des changements de

Modalités sylvicoles testées - Caractéristiques à l'installation				Relevé des épïcormiques		
Site [dép.]	Date	Ho (âge)	Nom	Caractéristiques des interventions	Date	Ho (date)
Tronçais I [03]	Début 1996	8m (22) 7m (22) 8m (22) 7m (22)	Témoïn	16080 t/ha	juin-02	9-10 m (fin 2002)
			Dépressage faible	de 11222 à 9889 t/ha		
			Dépressage fort	de 15461 à 4619 t/ha		
Tronçais II	Début 1996	12m (31) 11m (31) 11m (31)	Témoïn	6059 t/ha	juin-02	14 m (fin 2002)
			Eclaircie faible	6464 à 1545 t/ha		
			Eclaircie forte	5154 à 705 t/ha		
Tronçais III	Début 1996	18m (40) 17m (40)	Témoïn Eclaircie	2276 t/ha de 2385 à 957 t/ha	juin-02	19 m (fin 2002)
Amance [70]	Début 2006	8m (15) 8,5m (15) 7m (15)	Nettoïement/dépressage en plein	de 21010 [4420] à 3590 [2521] t/ha	juil-06	8 m (fin 2005)
			Dépressage localisé 2m	2 m de rayon de 160 t/ha		
			Dépressage localisé 3m	3 m de rayon de 160 t/ha		
Cîteaux [21]	Début 2006	8m (16)	Eclaircie en plein Dépressage localisé	de 16152 [9172] à 3.610 [3102] t/ha rayon 2 m 120 t/ha	juil-06	8 m (fin 2005)
Montrichard [41]	Début 1996	3,5 m (10)	Témoïn «Rdi=1» Dépressage «Rdi=0.5» Dépressage «Rdi=0»	46500 t/ha 46500 à 17800 t/ha 46500 à 599 t/ha	oct-97 à oct-08	(suivi annuel)
Champenois [54]	Début 1992	15,7 m (31 et 43, cf. glandées de 1949 et 1961)	Eclaircie après enlèvement (1988) du sous-étage Eclaircie avec sous-étage conservé	éclaircie: 3998 à 3077 t/ha idem (sous-étage 5,5 m ² /ha en 2002)	juin-02	16 m (fin 2001)
Lyons la Forêt [76]	Début 1981	(1 an)	Plantation à 1333 t/ha Plantation à 2667 t/ha Plantation à 5333 t/ha	densité 2000 : 1173 t/ha densité 2000 : 1991 t/ha densité 2000 : 3580 t/ha	juin-98 et juin-01	10-11 m (fin 2000)
Parroy [54]	1 ^{er} détourage début 1996	8-9 m (16)	Témoïn Détourage IDF	22000 t/ha en 1996, 3561 t/ha en 2004 3 ^e détourage en 2004 : 66 t/ha détourées sur un rayon fonction de leur hauteur	juin-07	12-13 m (fin 2004)
Les Bertranges (58)	Début 2004	18 (48)	Eclaircie de rattrapage en plein Détourage	prélèvement 50% des tiges rayon R=3 m	juin-07	18 m (fin 2003)

Tab. 1. modalités sylvicoles testées dans les dix dispositifs expérimentaux dans lesquels les épïcormiques ont été relevés
Les modalités sylvicoles sont caractérisées par la densité totale et les [densités de chêne] quand densités totales et densités de chêne sont très différentes, par la hauteur dominante (Ho) et l'âge des arbres à l'installation.

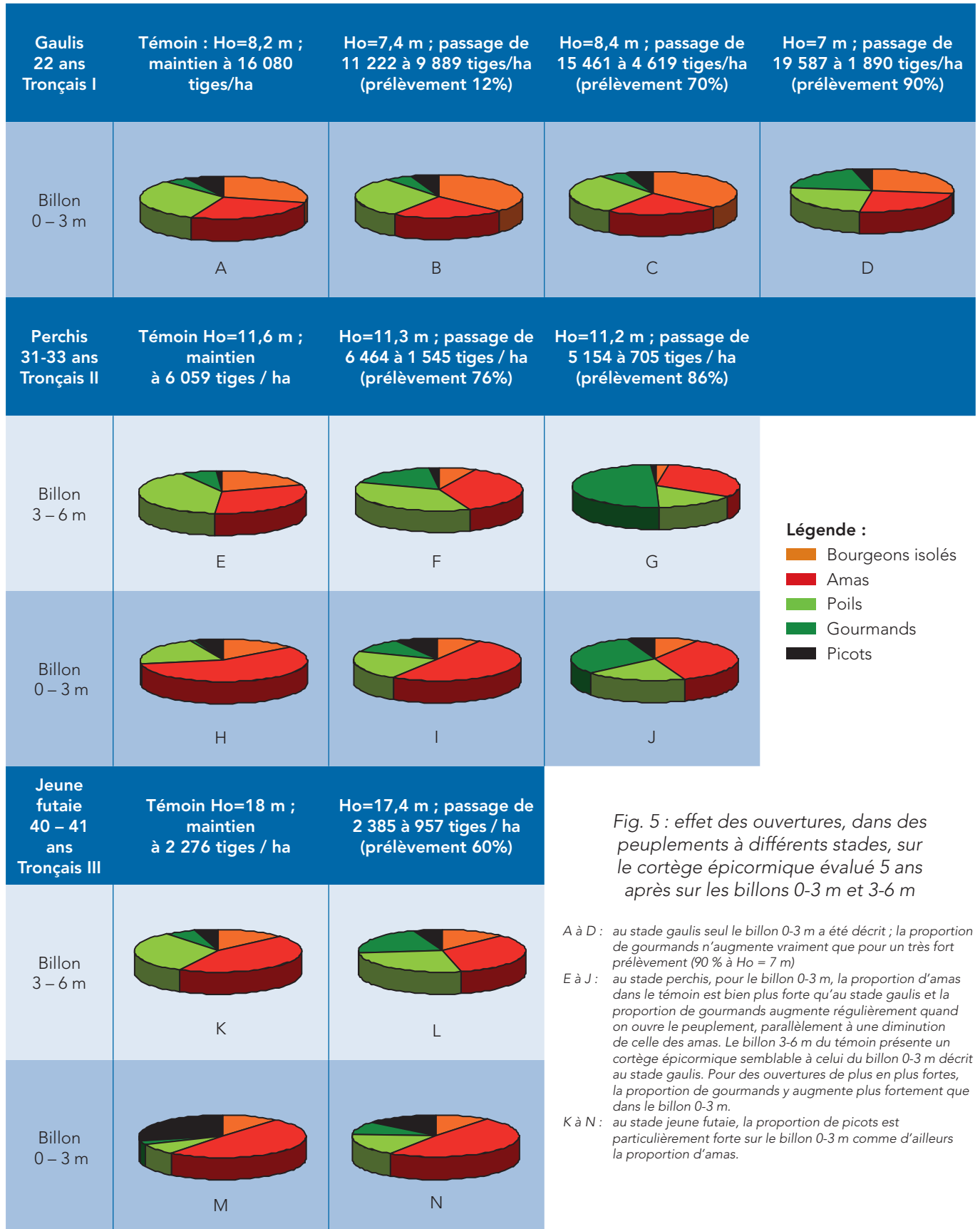


Fig. 5 : effet des ouvertures, dans des peuplements à différents stades, sur le cortège épïcormique évalué 5 ans après sur les billons 0-3 m et 3-6 m

A à D : au stade gaulis seul le billon 0-3 m a été décrit ; la proportion de gourmands n'augmente vraiment que pour un très fort prélèvement (90 % à Ho = 7 m)

E à J : au stade perchis, pour le billon 0-3 m, la proportion d'amas dans le témoin est bien plus forte qu'au stade gaulis et la proportion de gourmands augmente régulièrement quand on ouvre le peuplement, parallèlement à une diminution de celle des amas. Le billon 3-6 m du témoin présente un cortège épïcormique semblable à celui du billon 0-3 m décrit au stade gaulis. Pour des ouvertures de plus en plus fortes, la proportion de gourmands y augmente plus fortement que dans le billon 0-3 m.

K à N : au stade jeune futaie, la proportion de picots est particulièrement forte sur le billon 0-3 m comme d'ailleurs la proportion d'amas.

densité de 15 461 à 4 619 tiges/ha, soit jusqu'à 70 % de prélèvement en nombre de tiges (figures 5A à 5C). Par contre une augmentation importante des gourmands est observée pour un changement brutal de densité, de 19 587 à 1 890 tiges/ha, soit un prélèvement de 90 % (figure 5D). Les dépressages localisés expérimentés à Amance et Cîteaux aux mêmes hauteurs dominantes n'ont pas conduit à une aussi forte augmentation des gourmands que les dépressages en plein. On suppose que ce résultat provient du fait que les arbres dépressés localement ont été choisis avec plus de soin pour leur vigueur, leur houppier équilibré et un minimum d'épicormiques autres que des bourgeons (Beill, 2007).

À Parroy, les arbres dépressés localement à $Ho = 8-9$ m soit un peu plus tardivement que dans les expérimentations précédentes, présentent, par rapport aux arbres n'ayant fait l'objet d'aucune intervention, un cortège épicormique avec proportionnellement un peu plus de bourgeons et moins de gourmands. Les arbres de la modalité dépressage en plein n'ont malheureusement pas pu être décrits.

Aux stades perchis et jeune futaie l'effet de l'intensité des ouvertures est plus progressif

À Tronçais-II et III, l'effet des ouvertures est plus progressif. Ainsi à $Ho = 11-12$ m l'augmentation de la proportion de gourmands apparaît clairement dès le changement de densité de 6 464 à 1 545 tiges/ha soit dès 76 % de prélèvement (figures 5I et 5J) ; même constat à 60 % de prélèvement pour les ouvertures réalisées à $Ho = 17-18$ m (figures 5M et 5N). Cet effet progressif de l'ouverture observé sur les trois premiers mètres de grume est encore plus net au niveau de la portion de tronc 3-6 m, caractérisée, nous l'avons vu plus haut, par un cortège épicormique plus «jeune» et un potentiel épicormique par mètre plus abondant (Spiecker, 1991 ; Colin et al., 2010b).

En forêt des Bertranges les individus détournés très tardivement à $Ho = 16-18$ m présentent des effectifs restreints de gourmands. Le choix d'arbres à détourner particulièrement bien conformés a dû influencer fortement cette faible réactivité.

Les gourmands sont émis à partir des bourgeons disponibles

Dans tous les cas, quand l'ouverture est suffisamment forte pour le permettre, l'émission de gourmands intervient à partir des bourgeons disponibles : bourgeons essentiellement isolés sur la bille 0,5-3 m au stade gaulis et sur la bille 3-6 m au stade perchis, bourgeons rassemblés en amas sur la bille 0,5-3 m au stade jeune futaie. Une proportion non négligeable de gourmands se forme également par allongement des poils déjà présents, sous l'influence d'un meilleur éclaircissement.

Le sous-étage limite le développement des gourmands

Lors des mesures réalisées à Champenoux en 2002, soit 10 ans après éclaircie et 14 ans après l'enlèvement du sous-étage dans l'une des modalités, le sous-étage conservé dans l'autre modalité avait une surface terrière totale de 5,5 m²/ha et était essentiellement composé de charme (71 % des effectifs), tilleuls (19 %) et noisetiers (8 %). Il s'avère que le sous-étage atténue l'effet de l'éclaircie :

- en maintenant les bourgeons isolés à l'état de bourgeons (50 % dans la modalité avec sous-étage contre 30 % dans la modalité sans),
- en limitant en parallèle les effectifs de gourmands (26 % contre 38 %) et d'amas (17 % contre 25 %),
- en réduisant la durée de vie et l'allongement des poils et des gourmands.

Ces résultats restent à valider pour d'autres cas de sous-étages. En effet, on peut s'attendre à ce que l'impact du sous-étage dépende de son importance (en surface terrière) et de sa composition.

Recommandations sylvicoles

Les ouvertures à recommander

Des plantations faites à différentes densités initiales (1 333, 2 667 et 5 333 tiges/ha) sur le dispositif de Lyons présentent, 20 ans après, des effectifs de gourmands équivalents alors que leurs densités respectives sont restées très dissemblables (tableau 1 p. 50). Ceci permet de confirmer que la densité de plantation préconisée par les guides de sylviculture, entre 1 100 et 2 500 chênes/ha selon les contextes, n'aura pas d'impact sur la qualité future des arbres du point de vue des épicormiques.

Au stade fourré ($Ho < 6$ m), si une intervention s'avère justifiée, elle consiste surtout en des travaux de nettoiemens pour réduire la concurrence inter spécifique souvent forte à ce stade. Elle peut être réalisée (en référence au dispositif de Montrichard) avant 12 ans sans modifier la dynamique du potentiel épicormique ni le cortège épicormique. Toutefois, les nettoiemens/dépressages intensifs avant 6 m de hauteur dominante sont plutôt déconseillés en gestion, en raison du retour rapide et très concurrentiel de la végétation d'accompagnement, ainsi que parfois des rejets de chêne, dans la strate dominante.

Au stade gaulis (en référence au dispositif de Tronçais), tant que les interventions en plein correspondent à des prélèvements inférieurs à 75 %, aucune conséquence négative en terme d'épicormique n'est à attendre. En revanche, suite à des changements plus brutaux avec des prélèvements supérieurs à 75 %, on a constaté des augmentations fortes des effectifs de gourmands, à l'origine de nouveaux bourgeons secondaires. Dans les dispositifs d'Amance et de Cîteaux, les fortes densités initiales constatées sont principalement liées à la présence d'une végétation concurrente à base de charme peu contrôlée par des

nettoyements préalables obligeant ainsi à une intervention plus forte à 8 m de haut. À ce stade et dans ces conditions pouvant être assimilées à du rattrapage, le « détournement » avec un rayon d'ouverture de 2 ou 3 m de pied à pied n'a pas conduit à une aussi forte augmentation de gourmands que le dépressage en plein. Ces résultats demandent toutefois encore confirmation, surtout pour ce qui concerne le rayon de 3 m qui conduit à une intervention probablement peu réaliste (formation de grosses branches, risque de remontée dans l'étage dominant des rejets...).

Au stade perchis (en référence au dispositif de Tronçais), il convient de se fixer un compromis entre l'intensité de l'éclaircie en plein et le risque d'émergence de gourmands. Toute ouverture provoque une émission de gourmands et ceci particulièrement sur le billon 3-6 m. Rappelons que des peuplements très denses (non dépressés) nécessitent des interventions ultérieures fortes génératrices de gourmands. Ceci milite en faveur d'interventions en phase de qualification sous forme de dépressage ou de nettoyage (75 % maximum de prélèvement) afin d'obtenir des densités de l'ordre de 3 000 t/ha dès 7 à 8 m de haut permettant des premières éclaircies réalistes à 14 m. En cas de peuplements denses à la sortie de phase de qualification, l'alternative de rattrapage, testée à Parroy et en forêt des Bertranges, pourrait être le détournement ou une éclaircie localisée puisqu'il semble que les bourgeons épïcormiques se maintiennent en l'état et que les épïcormiques feuillés soient proportionnellement moins nombreux. Cependant les intensités d'intervention testées, relativement faibles et appliquées à des stades différents, ne permettent pas de dégager clairement les avantages ou inconvénients de cette sylviculture, d'autant qu'aux Bertranges la première intervention a été réalisée à un stade trop avancé (16-18 m).



D. François, ONF

Dispositif d'Amance : installation de la modalité dépressage localisé 2m

Au stade de la deuxième éclaircie (de 16 à 18 m de haut), les éclaircies préconisées dans les guides font diminuer la densité d'environ 200 tiges/ha selon une intensité d'éclaircie bien plus faible que dans le dispositif de Tronçais. Le risque de développement de gourmands devrait donc rester faible. Au stade adulte, les réductions de densité sont évidemment de plus en plus faibles, les éclaircies se succédant tous les 8-10 ans en moyenne. Aussi l'explosion de gourmands n'est-elle pas à craindre. Enfin dans les peuplements très denses les scénarios de rattrapage conduisent à des éclaircies plus fréquentes mais restent dans les mêmes intensités de prélèvement que la norme. Là encore, les explosions de gourmands seront donc évitées.

Le choix des arbres d'avenir et arbres objectif

Ces résultats sur les épïcormiques ne doivent pas faire oublier les autres aspects à observer : développement du houppier et longueur de grume élaguée de ses branches séquentielles. D'autre part, la disparition des gourmands lors des re-fermetures du couvert ne traduit pas forcément

une chute du potentiel épïcormique. Au contraire, des indices laissent à penser que des amas et broussins pourraient se former à partir des bourgeons secondaires émis aussi bien à la base qu'à l'extrémité élaguée des gourmands. Or certains arbres présentent manifestement un potentiel épïcormique plus faible que d'autres et sont donc moins sujets à l'apparition ultérieure de gourmands, amas, picots et broussins. Il convient de bien repérer ces arbres qui, *a priori*, sont présents autant chez les dominants que chez les codominants. Rappelons ici que la sélection des arbres d'avenir et arbres objectif répond d'abord à des critères de vigueur et de forme et que les critères liés aux épïcormiques interviennent en second lieu. Ceci étant, l'information recueillie à Tronçais sur les témoins permet d'envisager de sélectionner les arbres peu porteurs d'amas vers 11-12 m de haut, en sortie de phase de qualification. Mais une sélection plus rigoureuse et complète d'arbres peu porteurs de picots et toujours peu porteurs d'amas est préférable plus tard : cela correspond bien au stade de la deuxième éclaircie, entre 16 et 18 m de

hauteur dominante, où la désignation est préconisée dans les guides. Si nécessaire, le repérage précoce à 11-12 m reste possible sous réserve de travailler sur une population plus importante de tiges d'avenir. Dans tous les cas nos résultats militent pour une observation très attentive des troncs des arbres candidats à devenir arbres d'avenir ou arbres objectifs. Si un protocole de relevé exhaustif est difficile à mettre en œuvre, il doit être possible de mettre au point un système d'observation efficace et relativement rapide, moyennant un minimum d'apprentissage préalable.

L'indispensable végétation d'accompagnement

Nos résultats montrent que le sous-étage est un allié cultural, réduisant le développement de gourmands lors des éclaircies. Sa hauteur doit être compatible avec l'obtention d'une longueur de grume dépendante de la fertilité de la station (6 à 12 m). Sa composition, il est vrai fortement contrainte par la station, doit être orientée de manière à disposer d'une phénologie foliaire la plus précoce possible, pour l'ombrage des troncs au début du printemps. À cette période les bourgeons épécormiques sont réputés pouvoir très facilement se développer en gourmands. Le charme semble être un bon allié cultural. Le hêtre, bien que tout à fait apte à bien engainer les troncs, peut devenir un concurrent sérieux du chêne au stade adulte et lors du renouvellement des peuplements, du fait de sa forte dynamique.

Lors de la phase de qualification, le sylviculteur doit chercher à conserver en mélange, du charme notamment ou bien du hêtre, sachant que sa dynamique doit être strictement contrôlée pour éviter qu'il investisse la strate dominante. À défaut, c'est dès la sortie de la phase de qualification que les densités préconisées (1 000 à 1 300 tiges/ha) permettront

l'implantation d'un sous-étage, même si cela risque de favoriser simultanément le développement momentané de gourmands. La question du développement ultérieur du cortège épécormique dans de telles situations est en cours d'étude.

Les orientations sylvicoles actuelles préconisant des peuplements mélangés conduisent sans doute à des peuplements différents de ceux qui sont gérés actuellement. Le mélange est un atout puisqu'il permet de réduire les densités de chêne et amène une (ou des) essence(s) d'accompagnement souvent favorable(s) au contrôle des épécormiques. En contrepartie, il exige un contrôle rigoureux du développement de ces essences.

Conclusions et perspectives

La mise en place des différents épécormiques et leur filiation a été finement décrite. L'accumulation des amas et picots se réalise selon un certain rythme déterminant les moments où la sélection des arbres d'avenir ou arbres objectifs pourra être réalisée de manière optimale. À partir des bourgeons présents, isolés ou composant des amas, des pousses feuillées peuvent apparaître suite aux éclaircies, particulièrement les plus intenses. Les nœuds qui en résultent viennent étendre le cœur branchu jusqu'à restreint au noyau central. À la base, voire à l'extrémité élaguée de ces nœuds, des bourgeons secondaires sont émis qui pourront à leur tour produire toutes les formations affiliées (picots, broussins) dépréciant la récolte. Les éclaircies sur le chêne sessile ne peuvent donc être conçues sans la gestion soigneuse d'un sous-étage à phénologie foliaire précoce. Leur intensité doit par ailleurs rester conforme aux préconisations des guides de sylviculture en vigueur (en fonction de l'état initial du peuplement) et s'accompagner du choix éclairé des arbres objectifs à privilégier.

Tous ces éléments **confortent finalement les préconisations des guides « chêne »** (Jarret, 2004 ; Sardin, 2008) :

- des interventions régulières dans les stades précoces du peuplement, la réaction des épécormiques y étant faible avec des prélèvements inférieurs à 75 % ;
- des peuplements moins denses qui favorisent le développement du sous-étage, lequel limite significativement le développement de gourmands ;
- la désignation des arbres d'avenir (2 à 3 fois le nombre des arbres objectif) en sortie de phase de qualification ou celle des arbres objectif à la deuxième éclaircie ; c'est visiblement le meilleur stade pour apprécier l'ensemble du cortège épécormique ;
- des éclaircies fréquentes et de plus en plus légères au fur et à mesure du vieillissement du peuplement ; c'est en effet aux stades les plus âgés (du moins ceux qui ont pu être étudiés) que la réactivité des épécormiques aux ouvertures de peuplement est la plus élevée surtout au dessus de 3 m.

En situation de rattrapage, lorsque la très forte densité des espèces d'accompagnement nécessiterait d'éliminer plus de 75 % du peuplement vers 6-8 m de haut pour atteindre la densité préconisée (3 000-3 500 tiges/ha), les dispositifs ont montré que l'intervention localisée occasionne moins de développement d'épécormiques.

Si ce résultat devait être confirmé, l'intervention localisée au profit d'un nombre étudié de chênes serait préférable à l'intervention en plein. De même, pour la sortie de phase de qualification dans un contexte de rattrapage (sortie tardive et/ou peuplement trop dense), l'éclaircie localisée au profit d'arbres d'avenir devrait avoir l'avantage de limiter le développement de gourmands.

Les perspectives de recherche concernent (1) l'utilisation du scanner à rayons X pour analyser rétrospectivement la dynamique épïcormique (Colin *et al.*, 2010c), (2) la modélisation statistique du potentiel et du cortège épïcormiques le long des troncs, et (3) la poursuite de la quantification de l'effet des sylvicultures. Le détournage sera comparé aux éclaircies en plein à des stades différenciés. Enfin on évaluera l'impact, sur le cortège épïcormique ultérieur, des explosions de gourmands accompagnant les éclaircies et en présence de différents sous-étages.

Francis COLIN

UMR 1092 INRA-AgroParisTech
Laboratoire d'étude des
Ressources Forêt-Bois
INRA-Nancy

Florence FONTAINE

UFR Sciences
Laboratoire de Stress, Défenses
et Reproduction des Plantes
Université de Reims

Sandrine VERGER

Direction Forêt
ONF, DT Centre Ouest
Auvergne Limousin
(DIREN Centre depuis début 2010)

Didier FRANÇOIS

Direction Forêt
ONF, DT Franche Comté

Remerciements

Tous nos remerciements vont aux responsables techniques et scientifiques des dispositifs et des campagnes de mesure ainsi qu'aux stagiaires ayant participé à l'analyse des données.

Bibliographie

BALY I., 2007. Base de données Montrichard. 11 ans de suivi d'une pousse annuelle de 4 ans. Rapport interne INRA – Lerfob, 36 p.

BEILL R., 2007. Influence du détournage sur la qualité chez le chêne sessile et le hêtre. Rapport de mission au Pôle ONF DT Lorraine et à l'INRA de Nancy, Licence professionnelle «Management des ressources forestières» année 2006-2007, 44 p. + annexes

COLIN F., FONTAINE F., 2006. Analyse des situations sylvicoles et stationnelles à risque de présence élevée de gourmands dans les peuplements de chêne sessile et pédonculé. Rapport final, contrat ONF-INRA 4839B, 49 p.

COLIN F., ROBERT N., DRUELLE J.-L., FONTAINE F., 2008. Initial spacing has little influence on transient epicormic shoots in a 20-year-old sessile oak plantation. *Annals of Forest Science* vl. 65, pp. 508-518

COLIN F., DUCOUSSO A., FONTAINE F., 2010A. Epicormics in 13-year-old *Quercus petraea*: small effect of provenance and large influence of branches and growth unit limits. *Annals of Forest Science* vol. 67, pp. 312-323

COLIN F., MERCHERGUI R., DHÔTE J.-F., FONTAINE F., 2010B. Epicormic ontogeny on *Quercus petraea* trunks and thinning effects quantified with the epicormic composition. *Annals of Forest Science* vol. 67 (sous presse)

COLIN F., MOTHE F., FREYBURGER C., MORISSET J.-B., LEBAN J.-M., FONTAINE F., 2010C. Tracking

raméal traces in sessile oak trunks with X-ray computer tomography : biological bases, preliminary results and perspectives. *Trees, structure and function* vol. 24 n° 5, pp. 953-967

DUPLAT P., 1993. Notation de l'élagage et des gourmands. Protocole ONF. 3p.

FONTAINE F., 1999. Les bourgeons épïcormiques chez le chêne sessile (*Quercus petraea*) : établissement des bases en vue de l'évaluation dynamique d'un potentiel épïcormique. Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, volume I, 101 p., Volume II, 94 p.

FONTAINE F., COLIN F., JARRET P., DRUELLE J.-L., 2001. Evolution of the epicormic potential on 17-year-old *Quercus petraea* trees : first results. *Annals of Forest Science* vol. 58, pp. 583-592

FONTAINE F., JARRET P., DRUELLE J.-L., 2002. Etude et suivi des bourgeons épïcormiques à l'origine des gourmands sur le chêne sessile. *Revue forestière française*. Vol. 54 n° 4, pp. 337-356

FONTAINE F., MOTHE F., COLIN F., DUPLAT P., 2004. Structural relationships between the epicormic formations on the trunk surface and defects induced in the wood of *Quercus petraea*. *Trees* n° 18, pp. 295-306

JARRET P., 2004. Chênaie atlantique. Guide des sylvicultures. ONF Ed.. Lavoisier Paris, 335 p.

SARDIN THIERRY, 2008. Chênaies continentales. Guide des sylvicultures. ONF Ed. Lavoisier Paris, 455 p.

SPIECKER H., 1991. Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. und *Quercus robur* L.). Schriftenreihe der Landesforstverwaltung, Band 72, 150 p. (traduction en français par Roswitha Judor [INRA Versailles] disponible auprès de Colin Francis).

Sylviculture du chêne sessile et du chêne pédonculé Réponse des jeunes peuplements aux dépressages

La présentation des sylvicultures du chêne dans ce numéro donne l'occasion de mettre en lumière les résultats d'un large réseau d'essais mis en place dès les années 1990 par le Département Recherche-Développement de l'ONF, relayé en régions par les sections techniques interrégionales de l'époque. L'objectif était de tester l'effet de dépressages précoces en chêne sessile ou pédonculé dans différentes conditions de fertilité, pour asseoir les préconisations sylvicoles. Cet article expose les principaux résultats, sur lesquels s'appuient effectivement les deux guides de sylviculture des chênaies.

A partir de 1987, le département Recherche Développement de l'ONF a installé en forêts publiques un réseau de 22 essais destinés à tester, dans différentes conditions de fertilité, l'effet de dépressages précoces sur de jeunes peuplements de chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl) ou de chêne pédonculé (*Quercus robur* L). Il s'agissait aussi d'en mesurer les avantages et inconvénients et d'en tirer des préconisations sylvicoles (Jarret 2004, Duplat 1996, Sardin, 2008).

A priori ces dépressages permettent d'effectuer une sélection précoce sur des critères de vigueur et qualité apparente ; de laisser aux arbres restant un espace plus confortable pour l'établissement d'une tige verticale et d'un houppier adapté à une bonne vigueur et à une meilleure réactivité aux futures éclaircies ; enfin de mieux laisser pénétrer la lumière pour favoriser la croissance du sous-étage. En contrepartie, ces sylvicultures dynamiques dans le

jeune âge pouvaient faire redouter des défauts de branchaison accentués (plus faible longueur élaguée, plus forte proportion de gourmands) et une certaine perte de production dont il fallait mesurer l'impact à moyen terme.

Les 22 dispositifs ont été installés avec chaque fois des modalités contrastées en terme d'intensité de dépressage ; ils totalisaient 146 placettes en 35 blocs, avec une hauteur dominante allant de 2,4 à 14,8 m* au moment de l'installation, soit un large panel de fertilités et de stades de développement. Ces essais sont toujours poursuivis et certains ont fait l'objet de nouvelles interventions, mais seuls les résultats de l'intervention initiale sont traités dans cet article.

Les résultats présentés ici ont été établis principalement dans le cadre d'un projet européen OAKKEY par Pierre Duplat et Philippe Demarcq (2000). Ils ont tous été statistiquement testés et nous n'en repre-

nons que les points principaux en les illustrant. D'autres illustrations plus récentes issues des analyses des dernières mesures des essais du Nord-Ouest ont été ensuite apportées par Sandrine Verger et confirment les tendances mises en évidence par Duplat et Demarcq 10 ans après intervention.

Présentation des 22 dispositifs et des mesures réalisées

Les 22 essais du réseau couvrent la moitié Nord de la France, excepté la Lorraine et l'Alsace (figure 1), sur des stations variées ; leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau 1. La hauteur dominante des placeaux témoins montre, pour les 11 essais dont nous avons le suivi des hauteurs dominantes et d'après les 3 courbes de fertilités de référence données par les deux guides de sylviculture chêne, que ces essais sont bien répartis entre bonnes et mauvaises stations (figure 2).

* On parle de dépressage au moins jusqu'à 12m de hauteur, puis plutôt d'éclaircie. Par abus de langage, nous parlerons toujours de dépressage dans cet article.

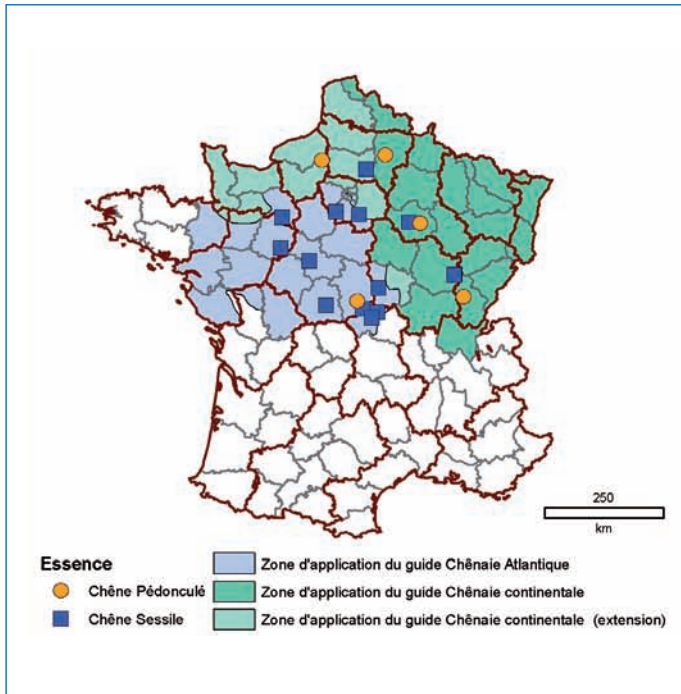


Fig. 1 : répartition des 22 essais analysés, selon les zones d'application des guides de sylviculture des chênaies atlantiques et continentales

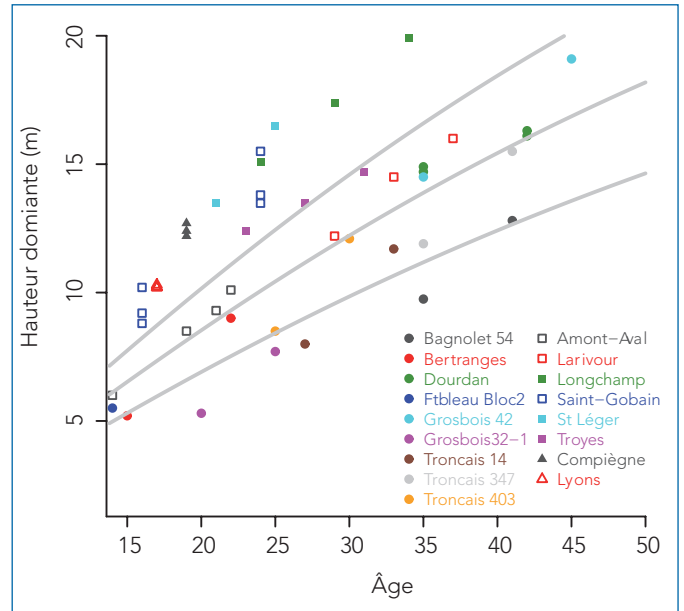


Fig. 2 : situation des 15 essais suivis en hauteur dominante par rapport aux courbes de référence de fertilité 1, 2 et 3 utilisées dans les guides de sylviculture

Hauteur dominante = moyenne des arbres d'avenir des placeaux témoins ;
● = essais sur la zone d'application du guide Chênaie Atlantique,
■ = ceux des Chênaies Continentales et ▲△ pour la zone intermédiaire ;
plein = chêne sessile, creux = pédonculé

Dispositifs				Installation				
Origine	Département	Date instal°	Ho (m)	Nb/ha arbres d'avenir	Nb de placettes	Nb de blocs	Surface de placettes (x100m²)	
Chêne sessile								
Bertranges	naturelle	58	1990	4.7	1 000	7	2	5
Blois	naturelle	41	1989	2.4	1 100	9	2	5
Bercé	naturelle	72	1989	3.3	800	9	2	5
Châteauroux	naturelle	36	1989	4.6	800	9	2	5
Bellême	naturelle	61	1991	4.4	800	12	2	5
Fontainebleau	semis	77	1990	5.5	500	6	1	7
Grosbois32-1	naturelle	03	1988	5.2	800	4	1	5
Troncais 403	naturelle	03	1988	7.8	650	4	1	5
Troncais 14	naturelle	03	1990	8.3	500	4	1	6
Troncais 347	naturelle	03	1990	11.8	450	4	1	15
Bagnolet 54	naturelle	03	1987	10.8	600	4	1	15
Compiègne	plantation	60	1994	12.5	250	12	3	15
Troyes	naturelle	10	1988	12.7	300	4	1	25
St Léger	plantation	21	1990	14	300	5	1	20
Longchamp	naturelle	21	1987	14.8	300	4	1	20
Grosbois 42	naturelle	03	1987	14.6	400	4	1	15
Dourdan	naturelle	91	1989	14	200	8	2	16
Chêne pédonculé								
Verneuil	naturelle	18	1989	3.6	800	10	2	5
Amont-Aval	naturelle	39	1988	5.7	500	2	1	35
Lyons	plantation	76	1990	7.9	250	9	3	8
Saint-Gobain	plantation	02	1989	9.5	250	12	3	16
Larivour	naturelle	10	1988	12.6	300	4	1	25

Tab. 1 : présentation des 22 essais analysés (les couleurs font référence aux zones d'application des deux guides, figure 1) Les surfaces de placettes concernent les surfaces de mesures au moment de l'installation et ont été augmentées avec la taille du peuplement pour les plus petites.

Certains des peuplements, surtout parmi ceux de plus de 10 m de hauteur dominante à l'installation, avaient subi des dépressages (légers) avant l'installation du dispositif. A l'installation, plusieurs niveaux de dépressage ont été appliqués dans des placeaux différents, avec des répétitions et toujours des témoins en référence.

Les mesures

Sur chaque placette et à chaque mesure, le peuplement est caractérisé par le nombre de tiges vivantes par hectare N et, dans la moitié des dispositifs (surtout dans les peuplements les moins jeunes), par leur surface terrière par hectare G . Les arbres pris en compte sont les dominants et les codominants, et souvent les dominés, à l'exclusion du sous-étage.

Par ailleurs les tiges d'avenir sont caractérisées par le suivi d'une sous-population d'arbres d'avenir, réservoir d'arbres objectif pour la récolte finale et destinés à perdurer un certain temps. Ils sont choisis à l'instal-

lation du dispositif, en nombre par hectare décroissant avec la hauteur dominante, de la même façon dans chaque placette, selon des critères de vigueur (arbres dominants, à la rigueur codominants), de qualité apparente de la tige, et de répartition relativement régulière sur le terrain. À l'installation, et à des intervalles réguliers, quatre grandeurs ont été mesurées sur ces arbres échantillons : la circonférence à 1,30 m au-dessus du sol (c), la hauteur totale (h), la hauteur à l'insertion de la première branche vivante de plus de 0,75 m de long (hb) et enfin le nombre de gourmands vivants par mètre, en été, sur les premiers mètres du tronc (epi).

Les méthodes d'analyse

L'objectif de ce large réseau d'essais était donc de tester des dépressages précoces et de préciser comment intervenir dans les régénérations naturelles de chêne de moins de 15 m de haut pour dynamiser dès ce stade la croissance d'un peuplement de qualité. Cependant

la définition d'un niveau de dépressage varie entre peuplements, selon les régions, les habitudes sylvicoles, les fertilités, mais aussi le stade de développement. La quantification des différents dépressages est donc importante afin de comparer les résultats des différents sites.

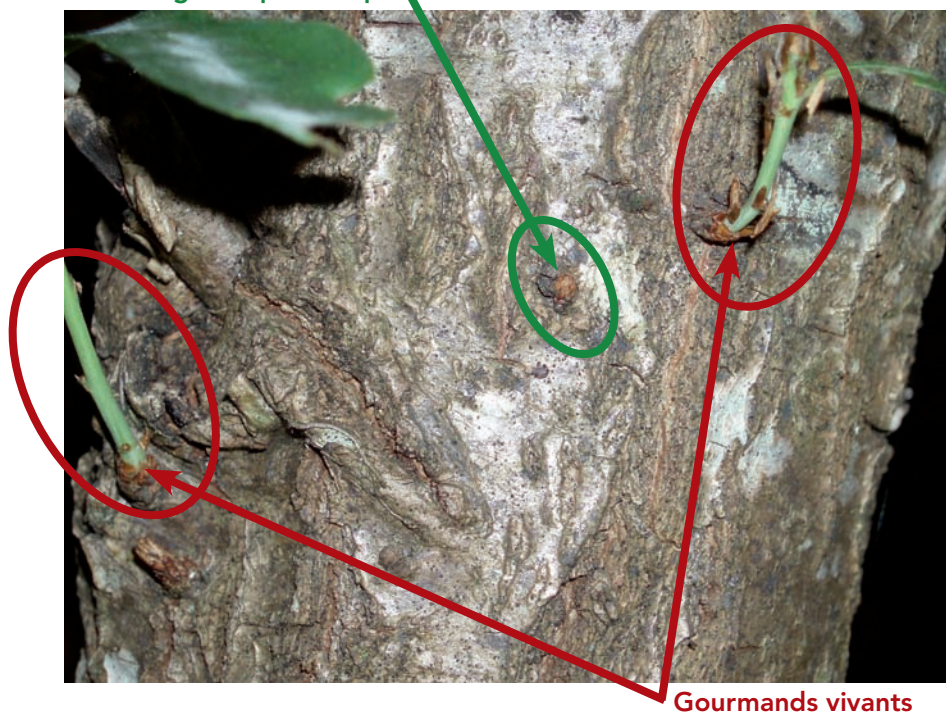
Pour comparer la concurrence d'un placeau à l'autre : l'indice de densité relative...

La densité N seule ne permet de comparer des itinéraires que pour des situations comparables en âge, en fertilité et en historique, mais n'indique pas le même état de concurrence dès que ces conditions changent. Pour nos essais, elle permet donc seulement de comparer les placeaux tests aux placeaux témoins, essai par essai. La surface terrière donne une indication supplémentaire sur l'historique des peuplements, et permet en particulier de tenir compte de la fertilité contrastée des différentes régions : la croissance plus rapide sur sites plus fertiles entraîne une concurrence plus rapide à densités comparables. Un indice de densité permet de tenir compte de ces deux critères simultanément : l'indice de Reineke (1933), qui combine le nombre de tiges N et le diamètre quadratique moyen Dg . Cet indice, dit encore indice de densité relative RDI , se base sur la relation observée d'une densité maximale non dépassée pour une taille moyenne observée : la droite d'autoéclaircie (encadré).

Pour mesurer la dynamique du dépressage, des analyses sur les variables relatives

Dans cet article, nous présentons les réponses des peuplements à des dépressages plus ou moins forts. Nous regardons donc, pour chaque variable, les accroissements ramenés à l'année plutôt que leur valeur finale. Par ailleurs les 22 sites présentent des différences de dynamique de part leur localisation, leur fertilité et leur stade de développement. Afin de focaliser notre analyse sur

Bourgeon épïcormique



Gourmands vivants

Épicormiques de chêne

D. François, ONF

Droite d'autoéclaircie et indice de densité relative

La droite d'autoéclaircie est une droite sur un graphe logarithmique $\ln(N)$ par rapport à $\ln(Dg)$; figure 3) qui indique une limite biologique au nombre d'arbres et à leur taille. Au-delà de cette limite, apparaît une mortalité par limitation de la ressource. L'indice de densité relative ou *RDI* compare donc la densité observée d'un peuplement à la densité maximale que l'on pourrait obtenir pour une même taille moyenne des arbres. Cette droite est stable pour le chêne sessile quelles que soient la région ou la fertilité. Pour le chêne pédonculé, cette droite n'a pas encore été établie en France et pour l'instant c'est la droite d'autoéclaircie du chêne sessile qui est utilisée.

Graphiquement les trajectoires des placettes en $\ln(Dg)$ et $\ln(N)$ montrent en se rapprochant de la courbe d'autoéclaircie que la compétition devient plus forte (exemple du témoin à Larivour, figure 3). Cela se traduit souvent par l'apparition d'une plus forte mortalité naturelle, donc par une diminution de N , et une augmentation en général de Dg , les arbres plus petits étant les plus affectés par la mortalité. Lorsqu'un peuplement est sur cette droite d'autoéclaircie, il est en densité maximale (N_{max}) acceptable pour le site ($RDI = 1$). Plus la densité observée est loin de cette densité maximale, moins la compétition est forte ($RDI < 1$). Un dépressement entraîne donc une forte baisse de ce *RDI*, qui

remonte ensuite vers la valeur de 1, plus ou moins vite selon la productivité de la station.

Le rapport N/N_{max} , appelé *RDI* (pour Reineke Density Index), est donc le critère utilisé dans cette étude et qui permet de suivre de manière comparable l'effet des dépressages sur nos différents essais.

$$RDI = N^{0.1495} G^{0.8505} / 55.3662$$

L'intensité d'un dépressement ou d'une éclaircie peut être exprimée en terme relatif (*DR* : indice de densité relative) par rapport au *RDI* du témoin non dépressé pour tenir compte d'effets éventuels locaux supplémentaires (le *RDI* des placettes témoins étant parfois encore légèrement en deçà de 1).

$$DR_{placette} = RDI_{placette} / RDI_{témoin}$$

A noter, pour finir sur cet indice, que lorsque l'on pratique un dépressement ou une éclaircie indépendamment de la taille des tiges (éclaircie systématique par exemple), on abaisse le *RDI* proportionnellement à l'abaissement de la densité, le diamètre moyen Dg n'étant pas affecté. En pratique on élimine plus souvent des tiges de moindre vigueur ce qui conduit en même temps (figure 3) à une légère augmentation de Dg .

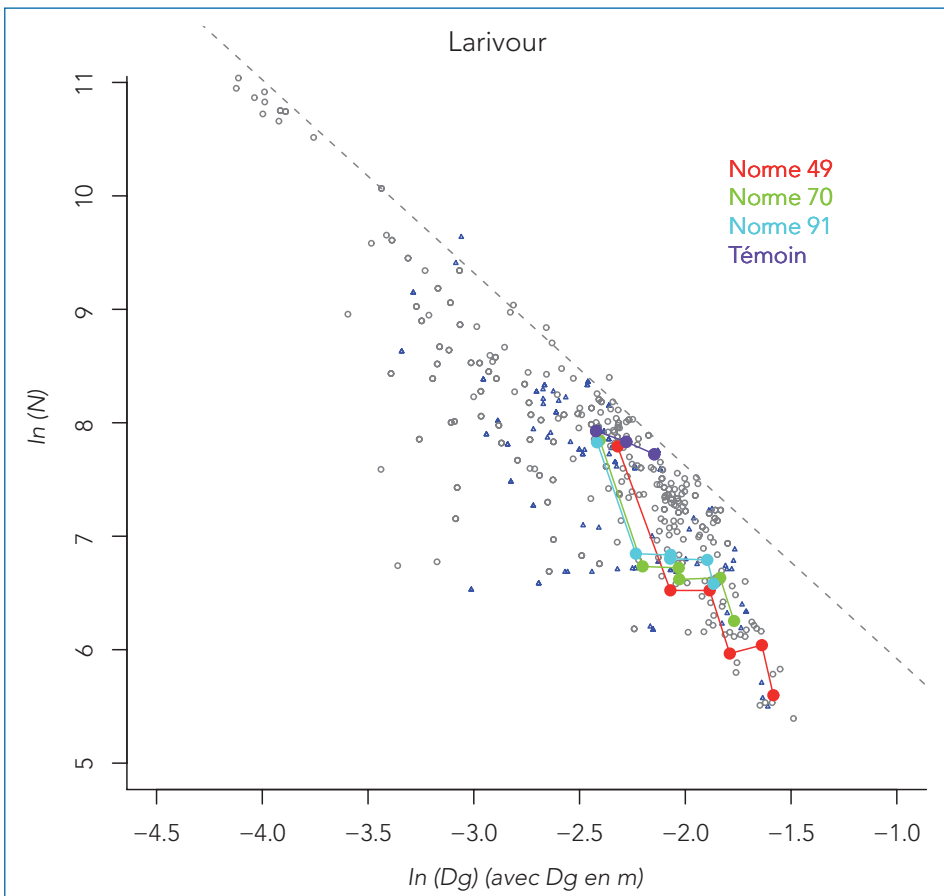


Fig. 3 : graphe logarithmique du nombre de tige (N) par rapport au diamètre moyen (Dg) des tiges d'un peuplement, avec la représentation de la droite d'autoéclaircie, droite limite d'acceptation biologique d'occupation de l'espace

Le suivi des trajectoires de quelques placettes de l'essai de Larivour (4 niveaux de dépressement) montre comment la croissance augmente cette occupation de l'espace et fait que le plateau se rapproche de la droite (à N sensiblement constant) tandis qu'un dépressement diminue N et éloigne de la droite (cette fois à Dg assez stable). A noter que les points correspondant aux mêmes dates de mesures (2 points lorsqu'il y a intervention : avant et après dépressement), donc que le plateau témoin semble progresser plus lentement (sur l'échelle $\ln(N)/\ln(Dg)$) que les plateaux les plus fortement dépressés. Les déplacements horizontaux vers la droite correspondent à une croissance sans mortalité, les déplacements vers le bas, à une éclaircie.



D. François, ONF

Illustration du RDI sur un site de la coopérative de données Chêne, en FD de Chaux : de gauche à droite, RDI = 0,25 ; 0,5 ; 1 ; les photos sont prises depuis le cloisonnement

l'effet des dépressages, les accroissements relatifs, c'est-à-dire rapportés aux accroissements des placeaux témoins, sont utilisés. De même ces accroissements seront souvent analysés selon un gradient d'indice de densité relative ($RDI/RDI_{\text{témoin}}$) noté DR. Les variables analysées sont donc relatives à l'année et relatives au niveau du placeau témoin.

Plusieurs périodes après intervention

Ces variables sont étudiées sur deux périodes différentes de façon à mesurer, d'une part, l'effet immédiat de l'intervention (à 4-5 ans, sur plus de 100 placettes) et, d'autre part, l'effet à plus long terme (les 4-5 années suivantes, sur plus de 60 placettes). L'analyse plus récente de Sandrine Verger sur 5 essais, permet de mesurer la persistance des effets observés sur une troisième période après l'intervention (de 9-12 ans).

Une séparation naturelle selon le stade de développement au moment du dépressage

Une autre distinction est rapidement apparue indispensable sur le stade de développement des peuplements au moment de l'intervention. En effet l'étude démontre une nette différence de comportement au dépressage, entre les peuplements les plus jeunes (de hauteur dominante $H_o < 7$ m à l'installation)

et des peuplements que l'on appellera « moins jeunes » ($H_o > 7$ m à l'installation). La différence se manifeste diversement selon les variables observées mais, dans tous les cas, cette étude multisites a montré qu'au-delà de différences de fertilités, le stade de développement est essentiel dans la réponse du peuplement au dépressage. Ces comportements sont distingués par la suite dans les résultats et sont essentiels dans les conclusions qui peuvent en être tirées en préconisations sylvicoles dans les guides de sylviculture.

Une comparaison systématique des deux essences : chêne sessile et chêne pédonculé

Enfin des effets essence ont naturellement été testés pour détecter des différences entre chêne sessile et chêne pédonculé. Sur 22 sites, seuls 5 concernent le chêne pédonculé, avec plusieurs placeaux mais sans aucun site où les deux essences cohabiteraient. La plupart du temps, aucune différence de comportement n'a pu être détectée dans ces analyses entre les deux essences. Une seule fois un effet a été détecté sur l'accroissement en rayon, mais dû à une valeur très faible d'une seule placette de chêne pédonculé (sur les 10 de cette analyse) et expliqué par ailleurs par un envahissement par *Calamagrostis epigeios*.

Les résultats sur la production

Un léger effet sur la hauteur qui ne persiste pas dans le temps

La hauteur analysée est la hauteur moyenne des arbres d'avenir, qui correspond assez bien à la hauteur dominante H_o des placeaux. Les peuplements réagissent différemment selon leur stade de développement (figure 4). Pour les peuplements les plus jeunes ($H_o < 7$ m, 64 placettes), il n'y a aucun effet du dépressage sur la croissance en hauteur dominante à moins d'une forte baisse de la densité ($DR < 0,5$), c'est-à-dire pour un dépressage systématique supprimant la moitié des tiges indépendamment de leur taille initiale. Pour ces jeunes peuplements, si la densité baisse jusqu'à des valeurs extrêmes ($DR = 0,05$), l'accroissement en hauteur ne chute que de 30 % par rapport aux placeaux témoins. Pour les peuplements « moins jeunes » ($H_o > 7$ m, 50 placettes), on observe une très légère diminution de la croissance en hauteur mais avec une grande variabilité générale. Les dépressages les plus forts ne font diminuer l'accroissement en hauteur que de 20 %. La même analyse menée sur la seconde période de croissance après intervention, montre qu'il n'y a plus de différence entre les stades de développement des peup-

ments et que l'accroissement en hauteur a retrouvé le niveau de croissance du témoin. Les travaux de Sandrine Verger confirment ce résultat pour la troisième période analysée.

Un effet attendu des dépressages sur la production courante en surface terrière

La production totale en surface terrière des placeaux, en revanche, est forcément affectée, au moins à court terme, par la suppression d'une partie de ses tiges productives (figure 5a). Cependant cet effet n'est pas proportionnel à la part de surface terrière enlevée et présente une forme d'hyperbole : la production des tiges restantes est plus forte après l'intervention et compense en partie cette perte de tiges productives.

Il est très intéressant de comparer la courbe correspondante en termes relatifs, obtenue sur de jeunes peuplements au stade du dépressage, à la même courbe modélisée sur de plus vieux peuplements de chênes sessiles (Dhôte, 1998, figure 5b). Il n'est pas vraiment possible de discuter ici des différences entre ces deux courbes, mais l'important est de voir que le comportement général est semblable, quel que soit le stade de développement. Évidemment, cet accroissement étant relatif, les pertes restent en absolu plus importantes pour les stades plus avancés de peuplements (plus fort niveau de G). De plus aucun effet de la fertilité ne peut être détecté. Cependant la croissance est relative par rapport à la production des témoins si bien que la réaction absolue (augmentation de l'accroissement des tiges restantes) est plus forte sur bonnes stations. En contrepartie, cet effet se fait ressentir moins longtemps, les peuplements sur station plus fertile regagnant plus vite leur niveau de compétition maximale.

Aucun effet de la période après dépressage n'a pu être mis en évidence : le seul effet qu'on puisse

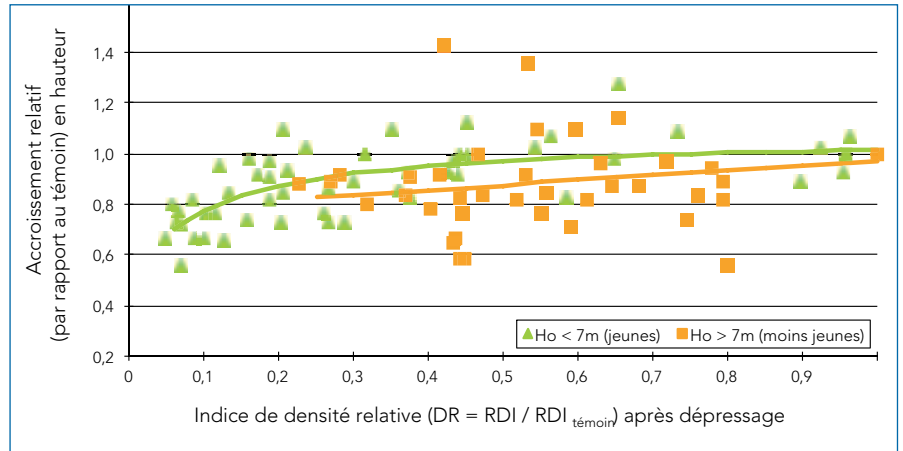


Fig. 4 : comparaison, pour les deux stades de développement, des accroissements en hauteur relatifs des placettes selon leur indice de densité relative après dépressage, en première période juste après intervention

L'indice de densité relative ($RDI/RDI_{témoin}$) est de 1 pour la densité maximale du témoin et se rapproche de 0 pour les dépressages les plus conséquents.

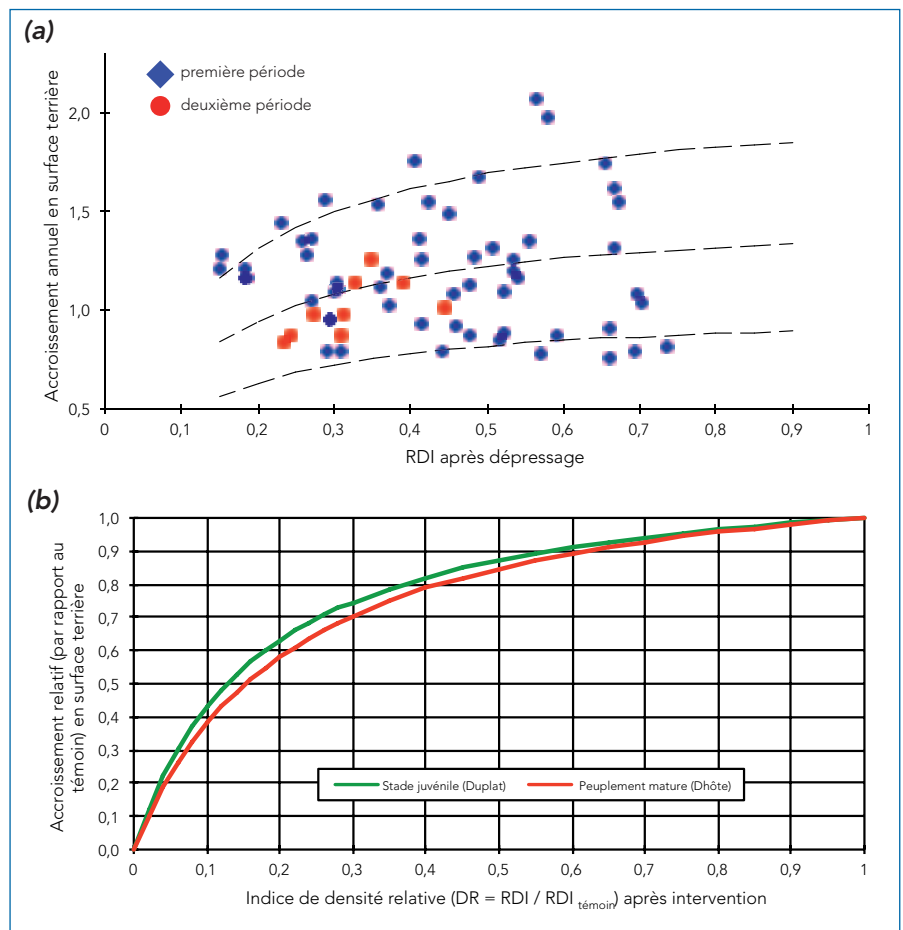


Fig. 5 : (a) accroissements bruts en surface terrière en fonction du RDI après dépressage ; en tiretés, le modèle correspondant pour 3 niveaux de croissance potentielle en surface terrière ; (b) évolution théorique des accroissements relatifs en surface terrière en fonction de l'indice de densité relative après intervention, pour les peuplements au stade juvénile (étude Duplat (2000)) et pour des peuplements matures (modèle Dhôte (1998)).

appréhender ici vient de ce que durant la première période, le RDI des placeaux remonte vers 1, si bien que de toute façon les pertes en surface terrière dépendent de la vitesse à laquelle le peuplement revient à ce niveau maximal. En bonne fertilité, l'effet est donc limité dans le temps tandis qu'il peut se prolonger en plus mauvaise station. En pratique cela veut dire aussi que pour obtenir des effets conséquents sur la performance individuelle des tiges, surtout sur bonnes stations, il convient d'intervenir de manière énergique sans avoir à craindre une forte baisse de productivité.

Un effet persistant sur l'accroissement radial des tiges d'avenir

Comme pour la hauteur, les dépressages ont sur la croissance radiale des tiges un effet immédiat qui diffère selon le stade de développement du peuplement (figure 6) : sur les jeunes peuplements ($H_o < 7$ m), l'accroissement en diamètre des tiges d'avenir n'est dynamisé qu'à partir d'une forte intervention ($DR < 0,5$), tandis que pour les « moins jeunes » il est augmenté quel que soit le niveau d'intervention. Pour les interventions extrêmes ne conservant environ que 5 % des tiges, l'augmentation de croissance permet dans les deux cas de doubler la largeur de cerne juste après l'intervention (3 à 5 ans après).

Il est très intéressant de noter qu'en seconde période la dynamisation de la croissance persiste (figure 7) : pour les plus fortes interventions ($DR < 0,55$), l'effet est le même qu'en première période ; si ces interventions sont moins fortes ($0,55 < DR < 0,9$), l'effet est diminué mais existe. Pour la troisième période, l'effet persiste. Notons que ces accroissements radiaux sont relatifs à l'accroissement du plateau témoin, donc une partie de la persistance de l'effet positif vient d'une compétition accrue dans les placeaux témoins.

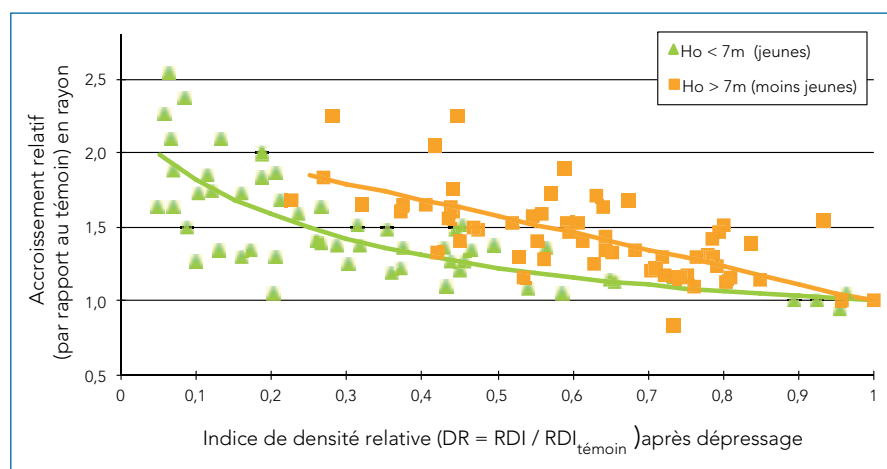


Fig. 6 : comparaison, pour les deux stades de développement, de l'accroissement radial relatif en fonction de l'indice de densité relative après dépressage, en première période juste après intervention

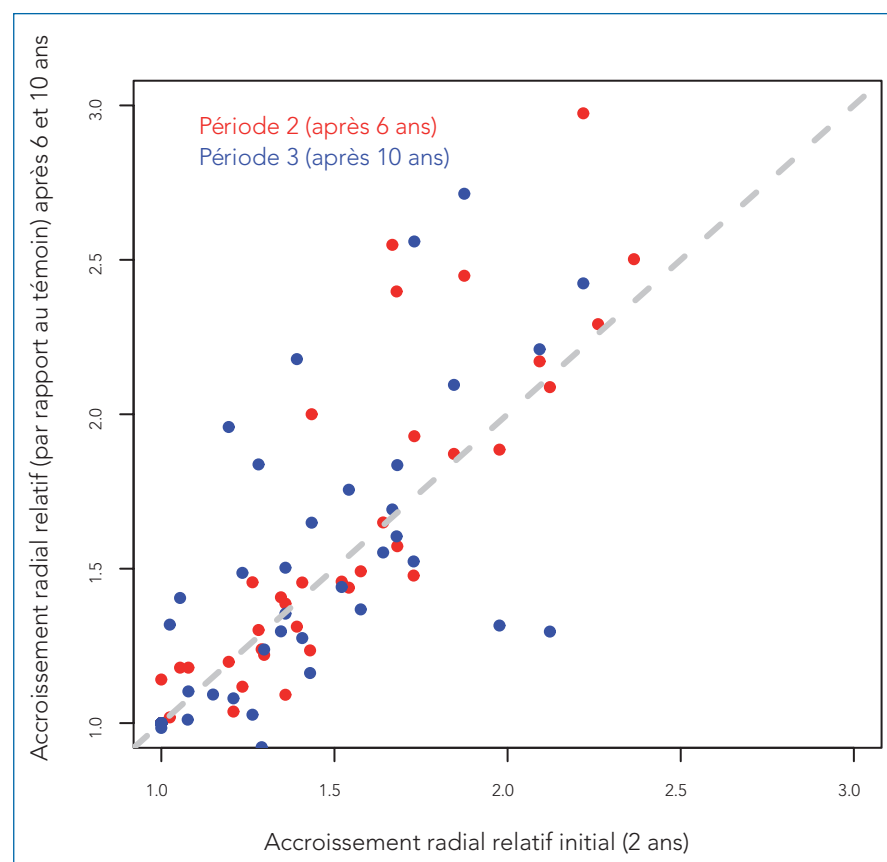


Fig. 7 : accroissement radial relatif pour les deuxième et troisième périodes, comparé à celui en première période. Le long de la droite en pointillés, les accroissements de 2^e ou 3^e période sont équivalents à ceux de la 1^{re} période ; au-dessus de la droite, ils sont plus forts

Les résultats sur la qualité des tiges

Ralentissement de l'élagage naturel
Comme pour la hauteur et le diamètre, les peuplements jeunes et « moins jeunes » réagissent différemment en ce qui concerne l'élagage naturel ou la remontée de houppier. Chez les plus jeunes, dans les 4 à 5 ans qui suivent l'intervention, la vitesse de la remontée de houppier diminue constamment pour ne plus représenter, pour les interventions extrêmes (DR = 0,05), que 13 % de celle des placeaux témoins : elle n'est donc pas totalement stoppée, mais drastiquement diminuée. Chez les peuplements « moins jeunes », la remontée de houppier est encore plus affectée puisqu'elle chute à 10 % de celle des témoins pour les interventions fortes dès la valeur de DR = 0,4. Dans les deux cas, le retard d'élagage s'amoin-drit lorsque l'intensité d'intervention diminue : les deux courbes atteignent 100 % de l'élagage naturel quand le niveau de l'intervention se rapproche de DR = 1, mais les « moins jeunes » peuplements restent les plus affectés pour toute la gamme (figure 8).

Cependant cet effet ne persiste pas en seconde période pour les interventions modérées, jusqu'à DR = 0,53 ; autrement dit, une intervention qui conserve plus de 50 % des tiges ne

ralentit l'élagage naturel que pendant les 4-5 premières années qui suivent. Pour les interventions plus fortes, un effet persiste au-delà, mais bien atténué : même pour l'intervention extrême de DR = 0,05, la remontée de houppier atteint en seconde période 40 % de celle du témoin au lieu de 10 ou 13 % en première période.

En plus des critères d'élagage naturel, des mesures de verticalité et de fourchaison ont été prises sur certains essais qui montrent que les dépressages n'affectent pas ces critères de forme, importants pour la qualité des tiges d'avenir.

Des gourmands épïcormiques pas forcément plus abondants

Pour terminer, les gourmands ont été comptés sur les tiges d'avenir dans la plupart des essais afin d'appréhender un éventuel effet négatif à plus long terme de trop forts dépressages : l'existence (et la persistance possible), au-dessous de la base de houppier, d'une branchaison épïcormique, qui n'est pas prise en compte dans le suivi de l'élagage naturel. L'analyse du nombre d'épïcormiques en fin de la période ne montre pas d'effet des différents niveaux de dépressage : la variabilité globale de ce nombre est très grande, mais il n'apparaît aucun effet du niveau de dépressage, ni du stade de développement ou de l'essence.

En fait le suivi du nombre moyen de gourmands au cours du temps pour quelques exemples montre que la densité de gourmands augmente fortement, culminant 1 à 4 ans après l'intervention, puis décroît presque aussi fortement jusqu'à la fin de la deuxième période, mais ces tendances sont quasiment aussi fortes pour placeaux témoins que pour les placeaux dépressés, avec des comportements très variables d'un essai à l'autre. Si l'éclaircissement a une influence reconnue sur la production d'épïcormiques, les très fortes densités pour les placeaux témoins peuvent induire un stress important, comparable au stress hydrique, et ainsi entraîner l'apparition d'épïcormiques. Une influence des variations climatiques (par exemple hydriques) sur la production de gourmands épïcormiques pourrait donc être à l'origine de ces variations temporelles observées.

Des résultats sur l'évolution des statuts sociaux

Des résultats ont été obtenus par ailleurs par Sandrine Verger sur les évolutions, 13 ans après installation, des statuts sociaux des tiges d'avenir choisies à l'installation et sur les 5 sites étudiés dans la zone atlantique. Il semble que dans les modalités les plus faiblement éclaircies, et surtout lorsque la désignation des tiges d'avenir a été faite très précocement (vers 11 ans), une partie des tiges d'avenir perd son statut de tige dominante. Dans nos analyses cet effet n'a pas été pris en compte mais ceci ne conduit qu'à une sous-estimation des gains de croissance pour ces tiges d'avenir, donc ne remet pas en cause les principaux résultats de cette étude.

Les conclusions de cette étude

L'avantage des réseaux d'essais

Depuis plusieurs années, le Département Recherche de l'ONF installe des essais en réseau, c'est-à-dire reproduit une expérience à différents endroits afin d'amplifier sa

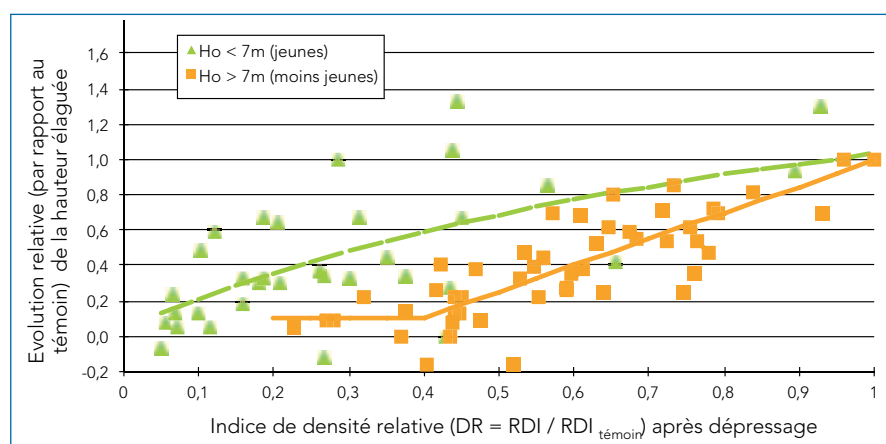


Fig. 8 : comparaison, pour les deux stades de développement, de la remontée relative de la hauteur élaguée en fonction de la densité relative après dépressage, en première période juste après intervention

valeur informative. Cet article illustre bien l'intérêt d'une telle démarche, qui rend ensuite les résultats des analyses plus robustes, valables sur de plus larges zones géographiques, confrontant même éventuellement différentes essences. Cette approche permet donc d'obtenir une puissance statistique élevée assurant une généralisation plus fiable des résultats hors des zones situées à proximité des essais et elle permet aussi de tester de plus larges gradients pédoclimatiques. Ces réseaux permettent aussi de comparer les effets des opérations étudiées selon les différents contextes biogéographiques et parfois d'interpréter des tendances contrastées en fonction des contextes. Enfin ils permettent de représenter en partie la forte variabilité observée dans le milieu forestier.

Dans ce travail sur le chêne, bien que testé à chaque étape, l'effet de l'essence, sessile ou pédonculé, n'a quasiment jamais pu être détecté sauf pour l'augmentation du diamètre chez les plus jeunes peuplements. Cependant 5 essais seulement sur 22 (37 placettes sur 146) étaient composés de chêne pédonculé et aucun essai ne comportait les deux essences pour per-

mettre une comparaison directe. Le réseau chêne du GIS coopérative de données, pourra permettre de poursuivre ces comparaisons d'essences, notamment en testant plus avant la validité de la droite d'autoéclaircie du chêne sessile pour le chêne pédonculé.

Comme il a été dit en début d'article, ces 22 essais continuent à être suivis, certains ont fait l'objet de nouvelles interventions et beaucoup d'information pourra encore être tirée prochainement de ce réseau.

Des incidences quantifiées pour asseoir les guides de sylviculture

Comme le confirme cette étude, un dépressage est un moyen d'accélérer la croissance en grosseur des arbres d'avenir. Même si cela n'est pas directement mis en évidence dans ce travail, un dépressage est aussi l'occasion de réaliser une salutaire sélection phénotypique. En regard de ces avantages, l'étude permet de peser les éventuels inconvénients que sont la diminution de la hauteur dominante, de la production, le ralentissement de l'élagage naturel ou la naissance de gourmands. Point par point, chaque variable a été analysée et les pertes estimées. Si aucune raison biologique ne conduisait a priori à une distinction

entre les stades de développement des peuplements, le premier résultat de cette étude a été de montrer qu'un seuil existe vraiment entre des peuplements jeunes, de moins de 7 m de hauteur dominante, et les autres. Pour chaque variable, à part la hauteur des tiges d'avenir, la réponse de ces deux groupes est chaque fois très différente, à savoir une réaction proportionnelle à l'intensité d'intervention pour les peuplements les moins jeunes, tandis que les plus jeunes nécessitent un dépressage plus conséquent pour commencer à réagir sensiblement. Ceci conduit à un tableau synthétique de l'effet du dépressage sur les différentes variables analysées (tableau 2). Finalement ce tableau nous montre que dans tous les cas le dépressage permet une augmentation de la croissance radiale, sans que la croissance en hauteur en soit réellement affectée, tandis que l'élagage naturel est réduit mais seulement temporairement. Le choix du stade de développement est donc important : pour les plus jeunes, il faut atteindre un niveau très fort d'intervention pour obtenir un effet conséquent (enlever 80 % des tiges au moins dans les peuplements jeunes), tandis que l'impact d'une intervention est plus progressif pour

VARIABLE	dans les plus jeunes peuplements (H ₀ < 7 m)	dans les peuplements moins jeunes (H ₀ > 7 m)
Accroissement en hauteur des tiges d'avenir sur 2 périodes d'environ 4 ans	Effet négatif surtout en dessous de DR = 0,2 mais maximum de 30 % et temporaire.	Effet négatif et plus régulier, mais maximum de 20 % et temporaire.
Accroissement en surface terrière	Effet négatif, surtout en dessous de 50 % de tiges enlevées et durable.	
Accroissement en diamètre , des tiges d'avenir sur 2 périodes d'environ 4 ans	Effet positif et durable , accentué en deçà de DR = 0,3, allant jusqu'à un doublement des largeurs de cernes.	Effet positif et durable , plus régulier et proportionnel à l'intervention , allant aussi jusqu'à doublement des largeurs de cernes pour les plus fortes interventions.
Élagage naturel des tiges d'avenir sur 2 périodes d'environ 4 ans	Effet négatif assez proportionnel à l'intervention jusqu'à quasiment l'arrêt de la remontée de houppier, mais non persistante en deçà de 50 % de tiges enlevées.	Effet négatif plus fort surtout pour les plus fortes interventions et de même non persistant pour les interventions d'intensité moyenne.
Nombre de gourmands sur les tiges d'avenir après environ 7 ans	Très grande variabilité avec un effet négatif rapide mais non durable.	

Tab. 2 : présentation synthétique de l'effet du dépressage sur les différentes variables analysées

les peuplements au-delà de 7 m de hauteur (résultat intéressant du dépressage dès 50 % des tiges enlevées). Enfin une intervention avant 6 m entraîne souvent l'apparition d'une forte végétation concurrente (saule, tremble, charme) qu'il faudra alors contrôler.

Le dépressage est donc conseillé à partir de 7 m, mais sans trop tarder de façon à profiter de l'effet positif sur la croissance radiale avant la première éclaircie. Ceci permet alors de réaliser une première éclaircie à 14 m avec des tiges déjà commercialisables. Les tiges restantes seront par ailleurs plus vigoureuses et réactives.

Dans les deux guides de sylviculture du chêne, le stade optimal de 7 m de hauteur dominante a donc été proposé pour intervenir en dépressage. Comme le montre cet article, c'est une période où l'effet du dépressage est à la fois le plus efficace (à condition d'être suffisamment énergétique, surtout sur les stations fertiles), sans impact sur la qualité des tiges et de longue durée. Par ailleurs dès ce stade, une partie de la sélection naturelle a œuvré ce qui facilite l'intervention et en diminue le coût.

Christine DELEUZE
Jean-Pierre RENAUD
 ONF, direction technique
 et commerciale bois
 département Recherche
 et Développement

Remerciements

Les auteurs remercient avant tout Pierre Duplat et Sandrine Verger pour le travail réalisé et l'archivage complet et clair des dossiers qui a permis de retrouver toutes les informations nécessaires à la publication de cet article. Par ailleurs Bruno Chopard, Didier François, Gwénaëlle Gibaud et Thierry Sardin ont beaucoup contribué à éclairer la discussion avec leurs corrections et commentaires.

Bibliographie

DHÔTE J.F., 1998. Contribution au rapport final de la convention ONF-INRA 1992-1996 «Sylviculture et qualité du bois de chêne sessile» (Responsable : G. Nepveu, INRA Champenoux) pp. 3-15.

DUPLAT P., 1996. Sylviculture du chêne pédonculé, Bulletin Technique Office National des Forêts n° 31 pp. 15-19

DUPLAT P., DEMARCO P., 2000. Response to early thinning. Rapport scientifique du programme EU FAIR CT95-0823 New sylvicultural alternatives in young oak high forests ; consequences on high quality timber production

JARRET P., 2004. Guide des sylvicultures, chênaie atlantique. Office National des Forêts, Ed Lavoisier, 335 p.

REINEKE L.H., 1933. Perfecting a stand density index for even-aged

forests, Journal of Agricultural Research vol. 46 n°7, pp. 627-638

SARDIN T., 2008. Guide des sylvicultures, chênaies continentales. Office National des Forêts, Ed Lavoisier, 455 p.

VERGER S., 2006. Dépressage précoce des régénérations naturelles de chêne - Dispositif de Blois - Principaux résultats 11 et 14 ans après dépressage. Rapport interne, ONF/STR Centre-Ouest

VERGER S., 2006. Dépressage précoce des régénérations naturelles de chêne - Dispositif de Châteauroux - Principaux résultats 11 et 14 ans après dépressage. Rapport interne, ONF/STR Centre-Ouest

VERGER S., 2006. Dépressage précoce des régénérations naturelles de chêne — Dispositif de Bercé – Principaux résultats 11 et 14 ans après dépressage. Rapport interne, ONF/STR Centre-Ouest

VERGER S., 2006. Dépressage précoce des régénérations naturelles de chêne - Dispositif de Verneuil - Principaux résultats 11 et 13 ans après dépressage. Rapport interne, ONF/STR Centre-Ouest

VERGER S., 2007. Dépressage précoce des régénérations naturelles de chêne - Dispositif de Bellême - Principaux résultats 14 ans après dépressage. Rapport interne, ONF/STR Centre-Ouest

Les ressources génétiques des arbres face aux changements climatiques : les différentes réponses

Les changements climatiques soulèvent de nombreuses questions en ce qui concerne la gestion des chênaies. La recherche s'en est emparée et les travaux en cours sont très prometteurs. En attendant qu'ils soient suffisamment « mûrs » pour être rendus publics, nous proposons de faire avec Alexis Ducouso le point des connaissances sur un aspect particulier : comprendre les mécanismes adaptatifs qui sous-tendent la réaction des arbres, plus particulièrement des chênes, aux changements climatiques pour en déduire les « bonnes pratiques » à promouvoir.

Sous l'effet de l'action de l'homme, le climat change et ce processus va perdurer et s'accélérer. Ce point est une certitude scientifique. L'intensité des changements climatiques annoncés n'a jamais été atteinte lors des réchauffements postglaciaires. Face à ces bouleversements, les forestiers se posent plusieurs questions :

- quels sont les mécanismes adaptatifs qui permettront aux arbres de répondre à ces changements climatiques ?
- est-ce que les arbres forestiers pourront répondre à ces changements climatiques particulièrement rapides ?
- comment adapter la gestion des peuplements face à cette évolution ?

Ces questions ont été adressées très récemment à la recherche donc les connaissances et les réponses sont très parcellaires. Nous tenterons dans cet article de faire une synthèse sur l'état de l'art en ce qui concerne les mécanismes évolutifs en jeu, la vitesse d'évolution des arbres et leur réponse prévisible aux changements en cours ; pour

conclure nous donnerons quelques conseils de gestion. Du fait que ce numéro spécial des *Rendez-Vous Techniques* concerne les chênes nous donnerons en priorité des exemples sur ces espèces.

Mécanismes évolutifs

Nous allons tout d'abord passer en revue les différents mécanismes évolutifs qui permettent de répondre aux variations du climat. Nous distinguerons trois niveaux : (i) le niveau individuel, (ii) le niveau des populations et (iii) le niveau de l'espèce.

Mécanismes au niveau individuel

Au niveau individuel, un premier mécanisme concerne la **structure génétique** : c'est l'hétérozygotie. Pour le moment, il n'existe pas d'étude chez les arbres montrant un lien entre l'adaptation aux stress climatiques et l'hétérozygotie (figure 1). Nous prendrons donc un exemple avec les dépérissements attribués aux pluies acides chez le hêtre. Muller-Stark (1988) montre la supériorité des individus hétérozygotes face à ce problème. Il a étudié 6 populations de hêtres à différentes altitudes. Il a séparé les

N° population	Altitude (m)	% d'hétérozygotes parmi les	
		tolérants	sensibles
1	230-250	25,4	22,6
2	450-500	28,9	22,6
3	550-600	24,2	19,5
4	850-900	28,3	20,3
5	810-830	31,4	27,4
6	770-870	27,7	22,4

Tab. 1 : pourcentage d'individus hétérozygotes observés dans la cohorte des individus tolérants et celle des individus sensibles aux « pluies acides », dans 6 populations de hêtre (Source : Müller-Starck, 1988)

¹ La méthylation est l'attache d'un groupement méthyle (-CH₃) sur une molécule.

individus tolérants (sains) des individus sensibles (dépérissants) et il a comparé les deux cohortes à l'aide de marqueurs moléculaires, les isoenzymes. Dans toutes les populations, les individus tolérants sont plus hétérozygotes que les individus sensibles (tableau 1).

D'autres mécanismes influencent l'expression des gènes. Skroppa et al. (1994) ont réalisé des croisements contrôlés identiques d'épicéa commun sous différentes latitudes en Finlande. Les descendants avaient des performances différentes selon le lieu du croisement et elles se rapprochent de celles des populations locales. Ce résultat étrange n'a été élucidé qu'en 2005 par Johnsen et al. : ils ont mis en évidence que, durant l'embryogénèse, le niveau de méthylation¹ de l'ADN¹ varie selon la température. Or le niveau de méthylation de l'ADN contrôle l'expression des gènes. Une faible méthylation favorise l'expression du gène alors qu'une forte méthylation, au contraire, l'inhibe. Les individus ayant subi une embryogénèse à température élevée sont plus précoces que les individus dont l'embryogénèse s'est faite à une température plus basse. La méthylation de l'ADN est un processus épigénétique.

Par ailleurs, Torti (2005) a étudié chez le chêne pédonculé les gènes impliqués de différents caractères adaptatifs dans deux environnements différant par la concentration en CO₂ (380 et 680 ppm). Sur les onze caractères étudiés, quatre montrent une forte différence dans les deux milieux (croissance en hauteur, production en biomasse, activité de la RubisCO³ et efficacité de l'utilisation de l'eau). Pour un même caractère, un individu utilise différents gènes ou fait varier l'expression de ses gènes.

Mécanismes au niveau des populations

Le mécanisme qui agit au niveau

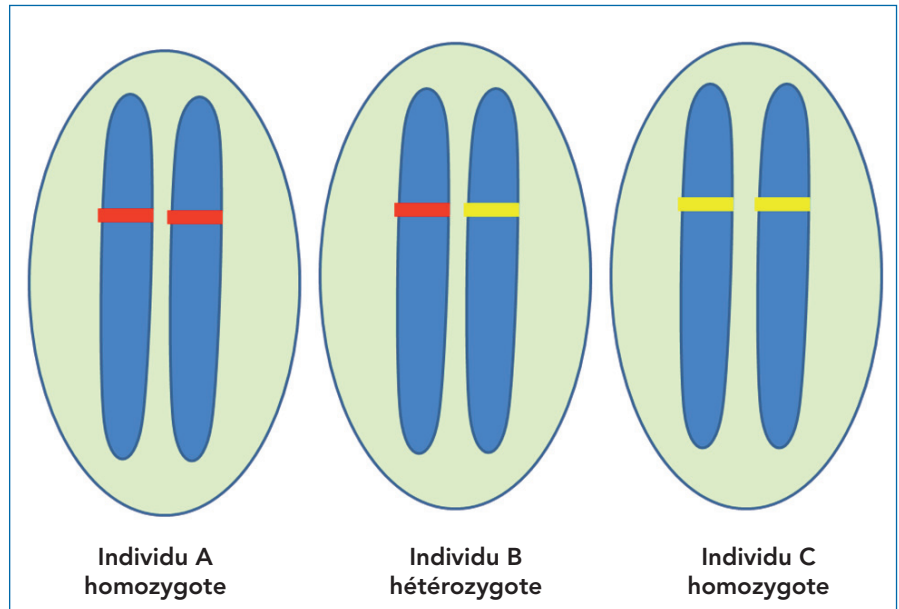


Fig. 1 : principe des individus homozygotes et hétérozygotes

On a représenté une même paire de chromosomes (en bleu) pour 3 individus différents ; A, B et C. Le chromosome est constitué de nombreux gènes, qui codent pour un caractère, et dont il peut exister plusieurs variants ou allèles ; ici nous avons deux variants du même gène (l'un rouge l'autre jaune). Les individus A et C sont dits homozygotes car, pour ce gène, ils ont le même allèle ; inversement, l'individu B est hétérozygote.

des populations est la sélection naturelle. La littérature forestière est très riche à ce sujet après plus de 50 années d'expérience avec les tests de provenances. Nous recommandons la lecture de trois synthèses sur ce sujet réalisées par Stern et Roche (1974), Morgenstern (1996) et Matyas (1999). Tous les résultats concordent pour montrer que les caractères phénologiques sont parmi les plus importants, suivis par la croissance et enfin par la morphologie. Ces résultats sont confirmés pour le chêne sessile (Ducousso et al., 2005). Les populations de chêne sessile sont beaucoup plus différenciées pour les marqueurs soumis à la sélection naturelle (caractères quantitatifs : phénologie, croissance et architecture) que pour les marqueurs neutres non soumis à la sélection naturelle (marqueurs moléculaires : isoenzymes, microsatellites...). Pour illustrer cette différenciation géographique, nous donnons trois cartes qui montrent la structuration géographique des ressources génétiques pour la phénologie, la vigueur et la forme (figure 2 page suivante).

Mécanismes au niveau de l'espèce

Les flux de gènes font partie des mécanismes évolutifs majeurs au sein d'une espèce. Il s'agit d'échange de gènes par la dispersion du pollen et des graines. Au niveau d'une population ces flux sont à la fois entrants et sortants. Chez les chênes, le pollen est dispersé par le vent et les glands principalement par les animaux. Le geai est capable de disperser de grandes quantités de glands (5 000 à 10 000/an) sur de longues distances (jusqu'à 11 km) (Ducousso et Petit, 1994). Streiff et al. (1998) ont étudié une parcelle de 5 ha dans la forêt domaniale de la Petite Charnie (Sarthe) et montrent que 64 % du pollen vient de l'extérieur de la parcelle. Dans ce même site, Gerber (communication personnelle) montre que près de 20 % des semis ont les deux parents extérieurs à la parcelle. Le bilan de ces flux de gènes très intenses est contrasté car ils permettent l'arrivée de nouveaux gènes qui peuvent être adaptés ou non aux conditions locales du futur.

² L'acide désoxyribonucléique ou ADN est la molécule support du code génétique

³ RubisCO ou ribulose 1,5 biphosphate carboxylase/oxygénase est une enzyme intervenant dans la photosynthèse qui permet la fixation du carbone du CO₂ dans la matière organique.

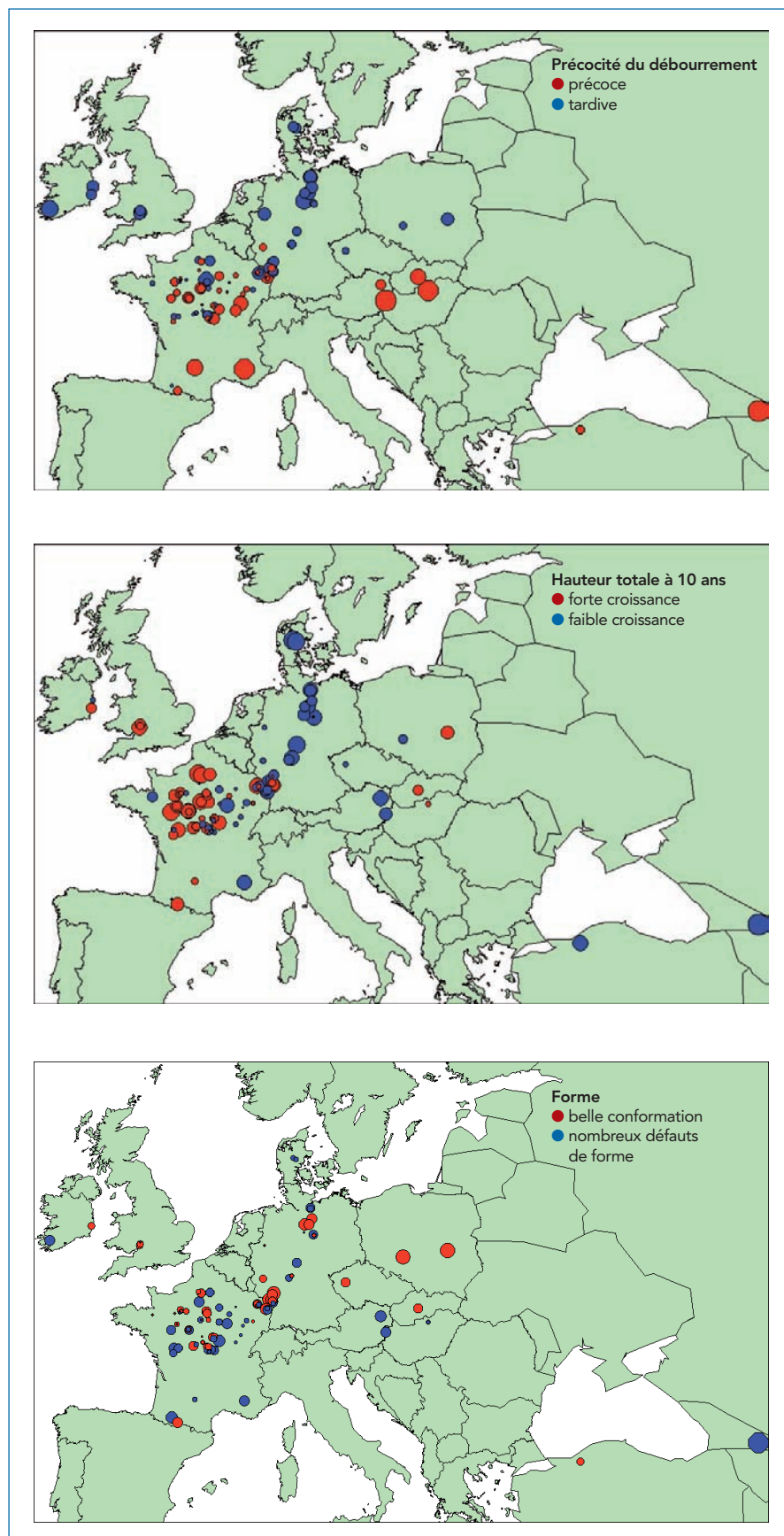


Fig. 2 : structuration de la variabilité génétique des populations de chêne sessile pour 3 caractères

Chaque point correspond à une population évaluée dans les tests de provenances ; le diamètre indique l'écart avec la moyenne.

Vitesse d'évolution

Pour illustrer les capacités d'évolution rapide des arbres, nous prendrons quatre exemples : (i) la recolonisation postglaciaire de l'épicéa, (ii) un cas de transfert artificiel de population d'une espèce autochtone, (iii) l'introduction d'une espèce exotique avec le chêne rouge et (iv) nous terminerons par un modèle théorique.

La recolonisation postglaciaire de la Scandinavie par l'épicéa commun a commencé par le nord vers 7000 BP en contournant le golfe de Botnie. Son extension s'est réalisée entre 3000 BP et 2000 BP. Malgré un nombre de générations réduit, des clines latitudinaux portant sur des caractères phénologiques, de croissance et de résistance au froid se sont mis en place (Hannerz et Westin, 2000).

Skroppa et Kohmann (1997) ont comparé une population norvégienne autochtone d'épicéa aux descendants d'une population allemande introduite et aux descendants de la même population mais prélevés dans son aire d'origine. Le comportement des descendants prélevés en Norvège était identique quelle que soit l'origine de la population mère ; par contre les descendants prélevés en Allemagne ont un arrêt de la végétation plus tardif et se différencient nettement des descendants de la même population mais prélevés en Norvège. La différenciation et l'adaptation aux conditions locales pour ce caractère se sont donc faites en une seule génération.

Daubrée et Kremer (1993) ont comparé dans des tests de provenances de chêne rouge des populations américaines et européennes pour le débournement et la coloration automnale. Malgré un faible nombre de générations depuis l'introduction, les populations européennes ont divergé des américaines pour ces deux caractères.

Kremer et Le Corre (2005) ont abordé le problème de manière théorique. Ils ont modélisé l'évolution de deux populations soumises à deux intensités de pression de sélection naturelle pendant 500 générations. À la 501^e génération, ils simulent une augmentation de la pression de sélection. Immédiatement la différenciation entre les populations augmente et elle se stabilise au bout de 50 générations.

Tous ces exemples montrent que les arbres ont des réponses adaptatives rapides face à un changement brutal du milieu.

Réponse prévisible des arbres aux changements en cours

Nous essaierons ici une réflexion sur les réponses possibles des arbres face aux changements climatiques, en envisageant trois cas : l'extinction, une adaptation locale et enfin la migration.

Existe-t-il un risque d'extinction ?

Au cours du quaternaire, les espèces européennes sont passées par des filtres sélectifs récurrents de grande intensité. Nous avons connu 15 cycles de Milancovitch donc autant de phases glaciaires et interglaciaires. Du fait de la géographie européenne, les possibilités de migration Sud Nord sont freinées par des barrières géographiques orientées Est Ouest : chaîne Cantabrique, Pyrénées, mer Méditerranée, Alpes, Balkans, mer Noire et Caucase. Toutes les extinctions (Magnolia, Liriodendron, Nissa, Taxodium, Sequoia, Pseudotsuga...) ont eu lieu lors des premiers cycles. Les espèces restantes ont été sélectionnées pour une adaptation exceptionnelle aux changements de milieux et/ou une capacité de dispersion très efficace. En conséquence, notre flore est particulièrement apte pour survivre à de nouveaux changements climatiques.

Est-ce que les populations locales s'adapteront ?

Rehfeldt *et al.* (2002) ont étudié 47 tests de provenances de pin sylvestre dont 6 avaient 110 populations communes. Ils obtiennent des courbes en cloche passant par un optimum (figure 3). Le pin sylvestre a une amplitude thermique de 5 °C sans modification notable de l'adaptation. Le plus surprenant est que ses populations ont en moyenne un optimum de température supérieur de 2,7 °C par rapport au site d'origine (ΔT). En conséquence, le réchauffement climatique va d'abord s'accompagner pour le pin sylvestre d'une augmentation de la vigueur ou d'une baisse de la mortalité puis nous assisterons une baisse de l'adaptation des populations. Ce résultat doit être nuancé par le fait que les populations du sud de l'aire sont dans un climat déjà au-delà de leur optimum ; par contre, celles du nord sont dans un climat beaucoup trop froid, cet écart pou-

vant atteindre 10 °C. Le chêne sessile semble suivre le même schéma mais avec un effet moins fort ($\Delta T = 0,8$ °C). Ce résultat est au conditionnel car il reste à confirmer et à publier.

Est-ce que les arbres vont migrer ?

Les études conduites sur la recolonisation postglaciaire nous apportent des informations précieuses sur les capacités migratoires des arbres. Les vitesses de migration varient de 10 à plus de 2 000 m par an. Elles dépendent de l'espèce et de la zone géographique considérée (tableau 2). Les distances de dispersion sont importantes car elles varient de 1 à 10 km par génération. Les chênes ont de bonnes aptitudes migratoires car ils se sont déplacés de 150 à 500 m par an avec une dispersion de 10 km/génération. La migration des espèces forestières est très efficace grâce à un double mécanisme : l'un de simple diffusion et l'autre d'événements rares

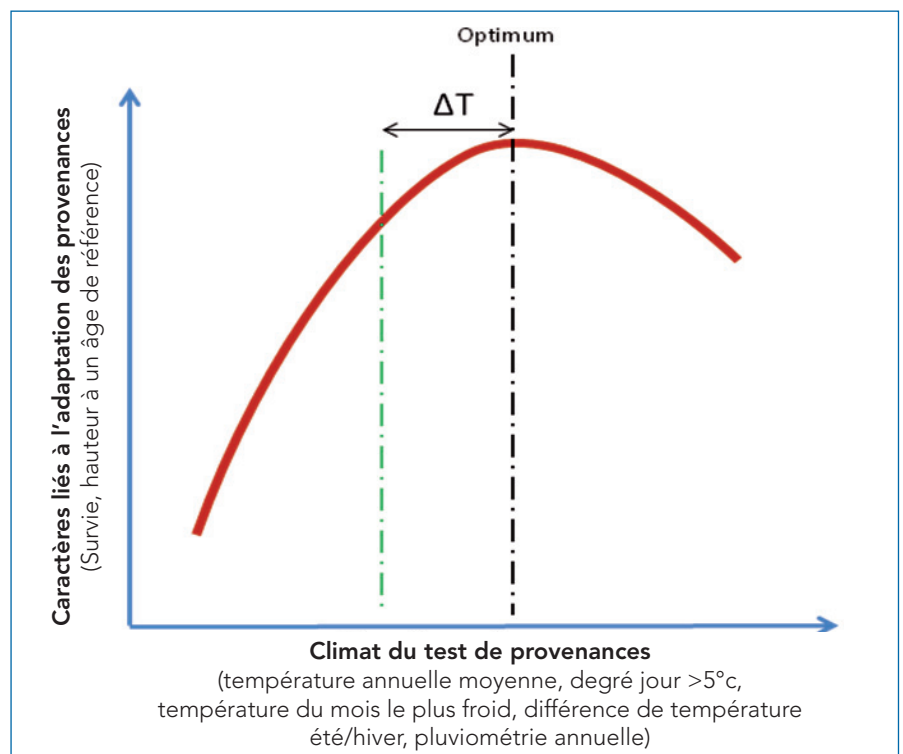


Fig. 3 : réponse adaptative de populations de pin sylvestre dans des tests de provenances (d'après Rehfeldt *et al.* 2002)

Les tirets noirs donnent l'optimum pour la population considérée et les tirets verts indiquent les conditions climatiques de la provenance. Le ΔT est différence entre l'optimum climatique de la population et les conditions climatiques dans sa zone d'origine.

de dispersion à longue distance. Prenons l'exemple de la figure 4. Nous sommes dans le processus de recolonisation postglaciaire. Un peuplement continu de chêne sessile (vert sombre) avance vers le nord. Des événements exceptionnels (à probabilité très faible) de dispersion à longue distance fondent des îlots avancés isolés. De là, l'espèce va gagner les environs par un processus de diffusion. Ces taches vont peut-être à peu « coalescer » pour former un peuplement continu. La combinaison de ces deux processus explique l'efficacité et la vitesse de recolonisation de l'Europe après la dernière glaciation.

L'efficacité de dispersion est certes considérable pour des organismes immobiles mais elle est insuffisante pour permettre de suivre les changements climatiques prévus, à moins que les phénomènes d'hybridation...

L'hybridation est un mécanisme fréquent chez les chênes d'une même section. L'Europe et le pourtour du bassin méditerranéen hébergent 38 espèces réparties sur 2 sections. Les deux sections sont celle des chênes blancs (sessile, pédonculé, pubescent, tauzin, etc.) et celle des « *cerris* » (chênes vert, kermès, liège, etc.). Sur toutes ces espèces, deux seulement ne sont pas thermophiles : le chêne sessile et le chêne pédonculé. L'hybridation interspécifique pourrait permettre une arrivée rapide des espèces thermophiles et une réserve de gènes d'adaptation, selon des processus qui restent à élucider. Chez les chênes européens, nous avons potentiellement un réservoir important de thermophilie mais il faut faire attention car beaucoup de ces espèces sont menacées à court terme pour des raisons démographiques (faiblesse du nombre de populations et des

effectifs), anthropiques (sylviculture, incendies, surpâturage, urbanisation, infrastructures linéaires) et les changements climatiques.

Conclusion : comment réagir face aux changements climatiques ?

Les ressources génétiques forment une part importante de la biodiversité utilisée par l'homme. En forêt, la diversité génétique est un facteur qui favorise la biodiversité de l'écosystème. Cette diversité n'est pas figée et est en constante évolution sous les effets des changements au sein des peuplements, des flux de graines et de pollen et par la sélection naturelle et anthropique.

La notion de qualité des ressources génétiques est un critère subjectif qui est basé sur de multiples paramètres (économique, écologiques...) par

Genre (latin/français)	Vitesse recolonisation (m/an)		Distance de dispersion (km/génération)	Type de dispersion	Type biologique des graines
	Grande Bretagne	Europe			
<i>Betula</i> /Bouleau	250	> 2 000	2,5	vent	graine ailée
<i>Corylus</i> /Noisetier	500	1500	7,5	animaux	noix
<i>Ulmus</i> /Orme	550	500 – 1 000	8	vent	samare
<i>Quercus</i> /Chêne	350 - 500	150 – 5 00	7 - 10	animaux	glands
<i>Pinus</i> /Pin	100 – 700	1500	1 - 7 1,5 1,5 - 2	vent	graine ailée
<i>Alnus</i> /Aulne	50 - 650	500 – 2 000	5 - 6	vent	graine ailée
<i>Tilia</i> /Tilleul	50 – 500	300 - 500	10	vent	graine ailée
<i>Fraxinus</i> /Frêne	50 - 200	200 - 500	1 - 3	vent	samare
<i>Fagus</i> /Hêtre	100 - 200	200 - 300	4 - 8	animaux	noix

Tab. 2 : synthèse sur la vitesse de recolonisation postglaciaire, distance de dispersion des graines, le mode de dispersion et le type de graine

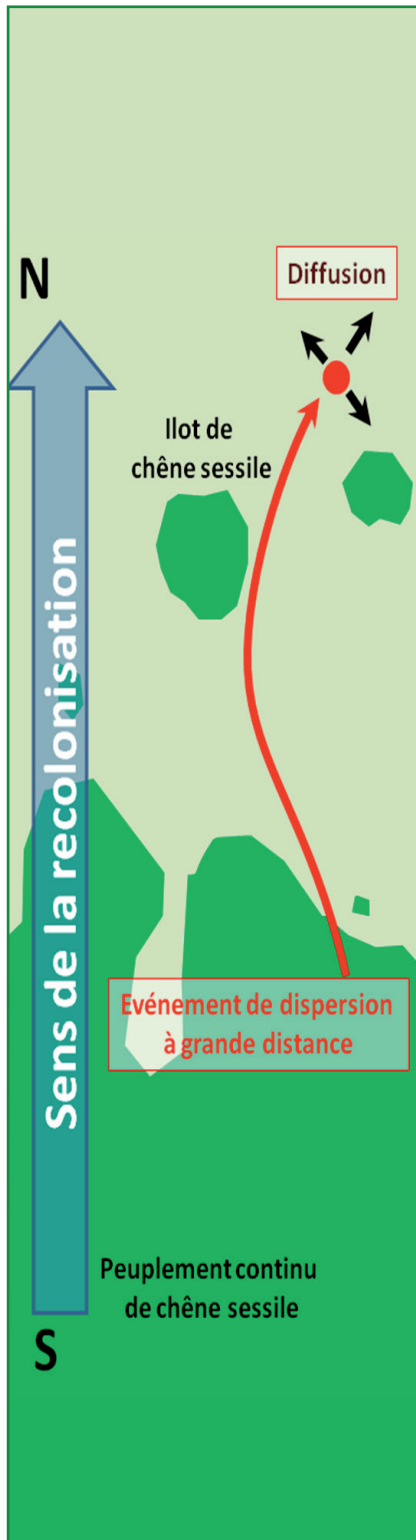


Fig. 4 : recolonisation postglaciaire avec des événements de dispersion à grande distance (rouge) suivis d'une diffusion (en noir) à partir du point de fondation de la nouvelle population.

La présence du chêne est signalée en vert foncé, l'absence en vert clair.

rapport à un objectif assigné à la forêt. La première qualité est l'adaptation qui concerne la survie, la croissance et la reproduction de la population dans des conditions environnementales données et constante. L'adaptabilité, c'est la capacité d'évolution d'une population dans un environnement changeant.

Le forestier doit choisir une sylviculture qui maintienne la diversité génétique sur le long terme et favorise les processus évolutifs pour permettre aux peuplements de suivre la course aux changements. La région de provenance locale offre des garanties d'adaptation (aux conditions actuelles) mais son adaptabilité n'est pas garantie : elle dépend de sa diversité génétique et de l'intensité des changements environnementaux. En l'état des connaissances, il convient d'apporter une réponse graduée et éviter toute anticipation hasardeuse. Il faut éviter des mouvements hâtifs de substitution de provenances car nous risquons d'éliminer des génotypes survivants ayant un fort potentiel. Nous irions à l'encontre de l'évolution de nos ressources génétiques. Le recours à un matériel forestier de reproduction « miracle » une provenance ou une espèce de chêne plus thermophile, est à éviter car il peut aller à l'encontre de l'objectif du maintien de la biodiversité.

Pour les chênes, nous conseillons :

- d'avoir une bonne adéquation entre l'espèce et la station : le pédonculé doit être réservé aux stations bien alimentées en eau comme les milieux alluviaux ou hydromorphes, ailleurs il faut favoriser le chêne sessile ;
- de maintenir un mélange d'espèces et de ne pas éradiquer les chênes thermophiles comme le pubescent et le tauzin ;
- de donner la priorité à la régénération naturelle si les semenciers sont de l'espèce objectif, en nombre suffisant et de bonne conformation ;
- en cas de recours à la plantation, de choisir une provenance proche géographiquement et écologiquement. De plus, pour bien piéger la

diversité du peuplement, la récolte des semences doit être réalisée sur au moins 30 points et si possible 50 ; pour permettre ensuite la sélection des meilleurs individus en nombre suffisant et maintenir une forte hétérozygotie, la densité de plantation doit être aussi élevée que possible (cependant nous ne pouvons pas donner de préconisation technique précise faute d'expérimentation dans ce domaine). L'idéal serait de pouvoir en plus mélanger plusieurs peuplements sélectionnés d'une même région de provenance. Ce message évoluera dans le temps pour s'adapter aux nouvelles connaissances en cours d'acquisition en génétique.

Les chênes sont des essences longévives, les changements subis entre le stade juvénile et le stade adulte seront très importants. C'est pourquoi le forestier doit prendre en compte l'adaptation et l'adaptabilité. Le choix du meilleur « contrat d'assurance » est crucial et les options « diversité génétique maximale » et « matériel adapté localement » sont incontournables.

Alexis DUCOUSSO

Équipe de génétique, UMR BIOGECO
INRA Bordeaux

Remerciements

Cet article est très fortement inspiré de la conférence donnée le 15 mars 2006 à Paris par Antoine Kremer. Elle était intitulée « HOW CAN TREES WITHSTAND CLIMATIC CHANGES?? ». Cet exposé est publié dans la référence suivante : Kremer A., 2007. How well can existing forests withstand climate change ? in « Climate change and forest genetic diversity : implications for sustainable managements in Europe ». Koskela, J., Buck, A. and Tessier du Cros. Editors. Bioversity International, Rome, Italy. p. 3- 17. Il est très chaleureusement remercié pour la qualité et la clarté de cette synthèse et pour m'avoir donné le diaporama original et l'article afin que je puisse rédiger cet article.

Bibliographie

DUCOUSSO A., PETIT R., 1994. Dossier sur le plus grand reboiseur d'Europe : le geai des chênes. Forêt-Entreprise, n° 98, pp. 60-64

DUCOUSSO A., LOUVET J.M., JARRET P., KREMER A., 2005. Geographic variations of sessile oaks in French provenances tests. Proceeding colloque IUFRO OAK 2003, Tsukuba, Japon, pp. 128-138

HANNERZ M., WESTIN J.U., 2000. Growth Cessation and Autumn-frost Hardiness in One-year-old *Picea abies* Progenies from Seed Orchards and Natural Stands. Scandinavian Journal of Forest Research, vol. 15 n° 3, pp. 309-317

JOHNSEN Ø., FOSSDAL C.G., NAGY N.E., MØLMANN J., DÆHLEN O.G., SKRØPPA T., 2005. Climatic adaptation in *Picea abies* progenies is affected by the temperature during zygotic embryogenesis and seed maturation. Plant, Cell and Environment, vol. 28, pp.1090-1102

MATYAS C., 1999. Forest genetics and sustainability. Kluwer Academic Publisher, 287 p.

MORGENSTERN EK, 1996. Geographic variation in forest trees genetic basis in silviculture. UBC press, 209 p.

MÜLLER-STARK G., 1988. In Genetic effects of air pollutants in forest tree population. F. Scholz, H.-R. Gregorius, D. Rudin, eds. Berlin, New York : Springer-Verlag, pp. 127-141

REHFELDT GE, TCHEBAKOVA NM, PARFENOVA YI, WYKOFF WR, KUZMINA NA, MILYUTIN LI, 2002. Intraspecific response to climate in *Pinus sylvestris*. Global Change Biology, vol. 8 n°9, pp. 912-929

SKROPPA T., NIKKANEN T, RUOTSALAINENE ET JOHNSEN O, 1994. Effects of sexual reproduction at different latitudes on performance of the progeny of *Picea abies*. Sylvae Genetica, vol. 43, pp. 297-303

STERN K., ROCHE L., 1974. Genetics of forest ecosystems. Springer-Verlag, 330 p.

STREIFF R., DUCOUSSO A., KREMER A., 1998. Organisation de la diversité génétique spatiale et flux polliniques dans une chênaie mixte. Hors série : Méthodologies de gestion et de conservation des ressources génétiques. Génétique, Sélection et Evolution, vol. 30, suppl.1, pp. S137-S152.

TORTIX., 2005. Variabilité génétique de la réponse du métabolisme carboné du chêne pédonculé (*Quercus robur* L.) à des teneurs croissantes en CO₂. Thèse Université Nancy 1 ; 2005. 130 p.

à suivre

Prochain numéro ordinaire (n°31 - hiver 2011)

Entre autres articles, on y trouve un dossier consacré à la « Télédétection appliquée à la gestion des forêts et milieux naturels ».

Retrouvez *RenDez-Vous techniques* en ligne

Sur intraforêt : pour les personnels ONF, tous les articles sont accessibles au format pdf dans le portail de la direction technique et commerciale bois (Recherche et développement / La documentation technique) ; pour un article particulier, utiliser le moteur de recherche de la base documentaire.

Sur internet : <http://www.onf.fr/>(rubrique Lire, voir, écouter / Publications ONF / Périodiques)

La revue ***RenDez-Vous techniques*** est destinée au personnel technique de l'ONF, quoique ouverte à d'autres lecteurs (étudiants, établissements de recherche forestière, etc.). Revue R&D et de progrès technique, elle vise à étoffer la culture technique au-delà des outils ordinaires que sont les guides et autres instructions de gestion. Son esprit est celui de la gestion durable et multifonctionnelle qui, face aux défis des changements globaux, a abouti à l'accord conclu en 2007 avec France nature environnement : « Produire plus de bois tout en préservant mieux la biodiversité ». Son contenu : état de l'art et résultats de la recherche dans les domaines de R&D prioritaires, mais aussi porté à connaissance de méthodes et savoir-faire, émergents ou éprouvés, clairement situés vis-à-vis des enjeux de l'établissement ; le progrès technique concerne toutes les activités de l'ONF en milieu naturel et forestier, en relation avec le cadre juridique.

Sous l'autorité du directeur de publication assisté d'un comité directeur ad hoc, la rédaction commande des articles, suscite des projets, collecte les propositions, organise la sélection des textes et assure la relation avec les auteurs. N.B. : certaines propositions, parfaitement légitimes en soi, ne se justifient pas forcément dans RDV techniques et méritent d'être orientées vers d'autres revues forestières. Enfin le comité éditorial, siégeant une fois par an, est informé de cette activité et émet ses avis, critiques ou suggestions.

Si vous désirez nous soumettre des articles

prenez contact avec :

ONF - Département recherche
Christine Micheneau
Tél. : 01 60 74 92 25
Courriel : rdvt@onf.fr

