

t

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

n° 48-49  
été-automne 2015

patrimoine  
sylviculture  
progrès

connaissances

économie

forêts et société

environnement

biodiversité

gestion durable



Le point sur  
l'émondage-  
ébourgeonnage  
du chêne

**p.3**

*Sylvicultures  
de la chênaie  
atlantique - Bilan*

**p.34**



# Rendez-Vous techniques

**Directeur de la publication**

Albert Maillet

**Rédactrice en chef**

Christine Micheneau

**Comité éditorial**

Jean-Marc Brézard, Bernard Gamblin, Laurence Lefèbvre, Prisca Léon, Marianne Rubio, Leslie Vey, Jean-François Dhôte, Véronique Vinot

**Maquette, impression et routage**

Imprimerie ONF - Fontainebleau

**Conception graphique**

NAP (Nature Art Planète)

**Crédit photographique**

Page de couverture :

En haut : ONF, RDI pôle Compiègne

En bas : Pauline Delord, ONF

**Périodicité** : 4 numéros ordinaires par an

*(possibilité d'éditions resserrées en numéros doubles)*

**Accès en ligne**

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

Disponibilité au numéro, abonnement

**Renseignements**

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

Contact : [documentalistes@onf.fr](mailto:documentalistes@onf.fr)

ou par fax : 01 64 22 49 73

**Dépôt légal** : novembre 2015

# sommaire

N° 48-49 – été-automne 2015

- 3 — **Pratiques**  
**L'émondage-ébourgeonnage des chênes :  
bases botaniques, mode opératoire et calcul de rentabilité**  
*par Gwénaëlle Gibaud, Francis Colin, Alix Reisser, Roland Martin, Jean-Baptiste Morisset,  
Frédéric Mothe, Bruno Garnier, Jialin Song, James Wright, Matthieu Mauvezin, Hanitra  
Rakotoarison*
- 17 — **Connaissances**  
**Une strate herbacée monopoliste : quelle concurrence vis-à-vis de l'eau  
pour le peuplement adulte ?**  
*par Rémy Gobin, Philippe Balandier, Nathalie Korboulewsky, Yann Dumas, Vincent Seigner  
et Claudine Richter*
- 23 — **Méthodes**  
**Le protocole mycologique du programme GNB :  
cadre méthodologique et retour d'expérience**  
*par Hubert Voiry, Olivier Rose et Frédéric Gosselin*
- 34 — **Méthodes**  
**Bilan d'application du guide des sylvicultures de la chênaie atlantique**  
35 — **1 – Questions liées aux avancées de la recherche**  
41 — **2 – Retour d'expérience de l'application du guide et conclusion générale**  
*par Christine Micheneau et Quentin Girard*
- 48 — **Connaissances**  
**Polémique autour du « carbone neutre » :  
quels leviers à la disposition des gestionnaires forestiers  
pour l'atténuation du changement climatique ?**  
*par Christine Deleuze et Christine Micheneau*

## Éditorial

**A** l'heure de la COP 21 (21<sup>e</sup> Conférence des parties de la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques), qui se tient à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015, les questions que posent à la gestion forestière les changements climatiques - et plus largement les changements globaux - sont plus que jamais d'actualité.

On attend de la forêt qu'elle contribue à l'atténuation des changements du climat, en fixant le carbone atmosphérique par la photosynthèse, et en fournissant du bois, qui peut remplacer d'autres matériaux ou sources d'énergies plus pénalisants pour l'effet de serre. Le concept de « carbone neutre » associé à la forêt et aux produits bois suscite bien des débats, et vous trouverez en pages 48-53 quelques repères pour comprendre la controverse.

Pour que la forêt puisse continuer à assurer pleinement ses fonctions économiques, écologiques et sociales, il est indispensable de l'adapter aux conditions climatiques à venir. L'adaptation est également une condition nécessaire à l'atténuation, en maintenant en bon état de fonctionnement « la pompe à carbone » forestière.

Les modèles élaborés par la recherche permettent d'établir des scénarios probables pour l'avenir mais pas des prédictions fines sur l'évolution du climat à un endroit donné ou sur la réaction des peuplements forestiers à ces évolutions. Les choix opérationnels de gestion doivent donc être posés en acceptant et en prenant en compte cette incertitude. Ne pas adapter la gestion forestière en attendant que la recherche lève ces incertitudes serait une erreur et une prise de risque importante.

Dès lors, il apparaît nécessaire de tester à l'échelle de la gestion une large palette de solutions sylvicoles, notamment au stade du renouvellement de la forêt (provenances, espèces, mélanges...), de les documenter (de l'importance du sommier de la forêt), et de s'appuyer sur ces expériences pour conduire les évolutions ultérieures. Il est également indispensable de poursuivre l'observation fine de la forêt et sur la durée, comme l'Office s'y emploie dans le cadre du réseau RENECOFOR.

Les forestiers savent déjà faire évoluer leur gestion sur la base d'un retour d'expérience organisé. On en a ici un exemple avec le bilan d'application du guide des chênaies atlantiques et deux articles qui lui font écho (l'un porte sur l'émondage des gourmands pour une production de bois d'œuvre de très haute qualité, l'autre sur l'équilibre entre la futaie claire et la strate herbacée vis-à-vis du risque de stress hydrique).

Cependant l'approche qui consiste à concevoir, tester et évaluer différentes modalités de gestion a vocation à s'amplifier avec le changement du climat. Pour la formaliser et la développer à la hauteur des enjeux, le lien avec la recherche doit être maintenu et renforcé. Mais ce n'est pas suffisant. Tous les acteurs en charge du management et de l'animation technique de l'établissement devront porter, formaliser et accompagner ces évolutions.

Un beau défi en perspective!

Le Directeur Forêts et Risques Naturels  
Albert MAILLET

# L'émondage-ébourgeonnage des chênes : bases botaniques, mode opératoire et calcul de rentabilité

*Les picots et gourmands du chêne sont si pénalisants pour les usages de haute qualité qu'on s'est demandé de longue date s'il est possible, grâce à l'émondage-ébourgeonnage, de produire du chêne sans épïcormiques. Aujourd'hui, la confrontation des résultats d'une recherche anatomique de pointe et d'une expérimentation installée en forêt en 1988 donne les réponses : des mécanismes bien expliqués, avec des conséquences très pratiques en termes de mode opératoire et choix des peuplements éventuellement « éligibles » à ce type d'opération.*

La qualité de la production des chênes dépend fortement des gourmands, picots, broussins, dont la présence est une de leurs particularités architecturales. La présence et le développement de ces formations, rassemblées sous le terme d'épicormiques, sont particulièrement redoutés dans les situations d'éclaircies fortes, ce qui correspond à des alternatives sylvicoles actuellement proposées. Leur élimination par émondage-ébourgeonnage a été envisagée de longue date (Detrie, 1900), parmi bien d'autres mesures sylvicoles plus ou moins réalistes permettant de les contrôler, à savoir : favoriser le développement des houppiers, maintenir un sous-étage, mais aussi appliquer des composés chimiques ou envelopper les troncs par des matériaux opaques.

L'émondage-ébourgeonnage est une technique qui a été très peu diffusée pour différentes raisons. La première raison est que son efficacité n'a pas été totalement démontrée. Ainsi Kerr et Harmer (2001) montrent un effet des émondages qui ne persiste pas plus de sept années ; Svejgaard (1993) observe même des gourmands apparus suite aux émondages. La deuxième raison est que la rentabilité

de l'opération est souvent jugée faible, les coûts de la main-d'œuvre ayant fortement augmenté en Europe ces dernières décennies. La troisième raison est qu'en fait les bases biologiques n'étaient pas clairement formalisées, bien qu'esquissées depuis fort longtemps (Mer, 1872 ; Büsgen, 1897).

L'étude présentée ici tire son originalité de la confrontation des résultats d'une expérimentation démarrée en 1988 par l'ONF en forêt du Perche et de la Trappe (61), illustrant une pratique locale, et les connaissances récentes accumulées par le LERFoB (INRA Nancy) en collaboration avec l'Université de Reims. Son objectif est de fournir les données biologiques, techniques et économiques permettant de prendre la décision de mettre en œuvre l'opération d'émondage-ébourgeonnage dans les chênaies qui le justifient.

Après le rappel des bases biologiques importantes, cet article abordera :

- la description de l'expérimentation ONF et l'énoncé des résultats,
- la description d'un sous-échantillon décrit selon les protocoles INRA et les résultats,
- la présentation d'une analyse par

tomographie à rayons X qui a permis de visualiser l'impact de l'opération à l'intérieur de quelques billons récoltés 22 ans après l'émondage,

- une étude de faisabilité économique de l'émondage, incluant une analyse du temps de l'opération,
- le mode opératoire de l'émondage ébourgeonnage.

La conclusion replacera l'émondage-ébourgeonnage dans la sylviculture des chênaies et l'amélioration sylvicole des grandes essences sociales.

## Les épïcormiques : rappel des principales bases biologiques

On distingue généralement les branches primaires ou séquentielles (abrégées en SEQ), qui se forment à partir des bourgeons déposés l'année précédente à l'aisselle des feuilles, et les branches secondaires ou gourmands (GD ; voir figure 1B) qui se forment à partir de bourgeons latents (figure 1A). Le terme latent signifie que le bourgeon n'est jamais tout à fait dormant ; il assure au cours des années son positionnement en surface du tronc. Dans le bois, le nœud du gourmand, bien horizontal, est formé d'une moelle et de cernes de bois autour ; il est précédé de la trace du bourgeon formée de cellules parenchymateuses et de

fibres de bois (Fontaine, 1999). Cette succession illustre ce que signifie une pousse épïcormique, autre nom du gourmand : une branche dont la moelle n'est pas reliée à la moelle du tronc directement mais indirectement via la trace transversale-radiale d'un bourgeon latent. Au contraire, la moelle d'une branche séquentielle est reliée directement à la moelle du tronc.

Selon ses dimensions croissantes, une branche secondaire est appelée poil, gourmand ou branche gourmande (figures 1B, 1C). Lorsque l'extrémité seule s'élague et laisse un axe court portant des bourgeons superposés, la branche secondaire devient un picot (figure 1D). Celui-ci devient de plus en plus court au fur et à mesure de son englobement par la croissance radiale du tronc mais peut s'épaissir fortement (Fontaine et al., 2004). Aux pousses épïcormiques s'apparentent donc les picots et bien d'autres formations épïcormiques (ou simplement épïcormiques), ayant comme origine commune un bourgeon latent.

Le bourgeon latent peut être porté par le tronc et on parle de bourgeon (latent) primaire (BGI) (figure 1A), ou bien il est porté par un axe latéral et c'est alors un bourgeon (latent) secondaire (BGII). Ce dernier peut être porté à la base soit d'un bourgeon primaire qui s'est ramifié (BGI\_BGII), soit d'une branche primaire (SEQ\_BGII) soit encore d'un gourmand (GD\_BGII; figure 1B). Les bourgeons peuvent être très proches les uns des autres et constituer un amas sur la surface du tronc. Lorsque l'amas compte plus de 5 bourgeons on parle de (petit) broussin (figure 1E). Selon son origine et son stade de développement, l'amas peut contenir également des restes de branche primaire, des gourmands et des picots. Enfin un bourgeon latent peut très rarement donner naissance à une petite boule de bois en surface du tronc appelé sphéroblaste.

Sur une portion de tronc, il y a 3 zones où l'on peut trouver des épïcormiques :

- la base des branches primaires ou la trace des branches primaires

disparues (figures 2A, 2B, 2C); les bourgeons sont disposés sur les côtés obliques du triangle d'insertion; ils ont été formés à la base des premières écailles et feuilles portées par cette branche;

- les limites de pousses annuelles ou unités de croissance (UC); les bourgeons sont présents là où étaient insérées les cicatrices des écailles qui protégeaient le bourgeon terminal (figures 2D, 2E); les arbres qui ont une propension à porter de nombreux bourgeons disposés en limite d'UC sur pratiquement tout le pourtour du tronc (figure 1F) sont généralement trop sales pour être émondés-ébourgeonnés;
- ailleurs, les points où de gros bourgeons axillaires de milieu de pousse ont produit latéralement deux bourgeons fils; généralement le gros bourgeon tombe rapidement tandis que les deux bourgeons fils constituent des bourgeons latents.

Sur le chêne, la présence de bourgeons latents ayant une origine autre que axillaire (on dit alors adventive) n'a pas été montrée.



Fig. 1 : les types d'épïcormique observés à l'extérieur des grumes

→ Ce qu'il faut retenir dans le cas du chêne, c'est que l'ébourgeonnage ou suppression des bourgeons primaires ou secondaires isolés c'est-à-dire avant qu'ils ne donnent des amas, des branches secondaires, des picots ou des broussins, rend impossible l'apparition ultérieure de ces formations. L'émondage, c'est-à-dire la suppression des branches secondaires, quelle que soit leur dimension, ne peut vraiment stopper l'apparition ultérieure des épicorniques que si les bourgeons portés à la base de ces branches épicorniques sont également éliminés.

### Le dispositif expérimental d'émondage en forêt du Perche et de la Trappe

Dans les années 1980, l'émondage des « gourmands », réalisé depuis le sol avec un ciseau à bois monté sur un long manche, était couramment pratiqué sur les chênes d'avenir de la forêt domaniale du Perche et de la Trappe, dans l'Orne. Cette forêt de plaine bénéficie du climat normand régulièrement arrosé et présente des sols limoneux sur argile à silex qui permettent la production de chêne sessile de qualité à grain fin destiné aux usages les plus prestigieux.

#### Présentation du dispositif

En 1988, l'équipe STIR Ouest de l'ONF (J.-P. Guyon et C. Chaton) a installé dans cette forêt un dispositif

expérimental dont l'objectif était de vérifier l'efficacité de l'émondage dans un peuplement de chêne sessile de 70 ans. Quatre modalités ont été testées :

- TEM : témoin sans émondage,
- EL1 : un émondage (en été 1988),
- EL2 : deux émondages (un en été 1988, suivi d'un second en été 1989),
- EL3 : trois émondages (un en été 1988, suivi d'un deuxième en été 1989 et d'un troisième en été 1990).

Chacune des modalités a été mise en œuvre selon la technique habituelle jusqu'à 5,5 m de hauteur sur 30 arbres d'avenir choisis dans l'étage dominant d'une placette de 10 ares. L'émondage a porté sur les amas de bourgeons et les rameaux feuillés, récents ou non, si petits soient-ils.

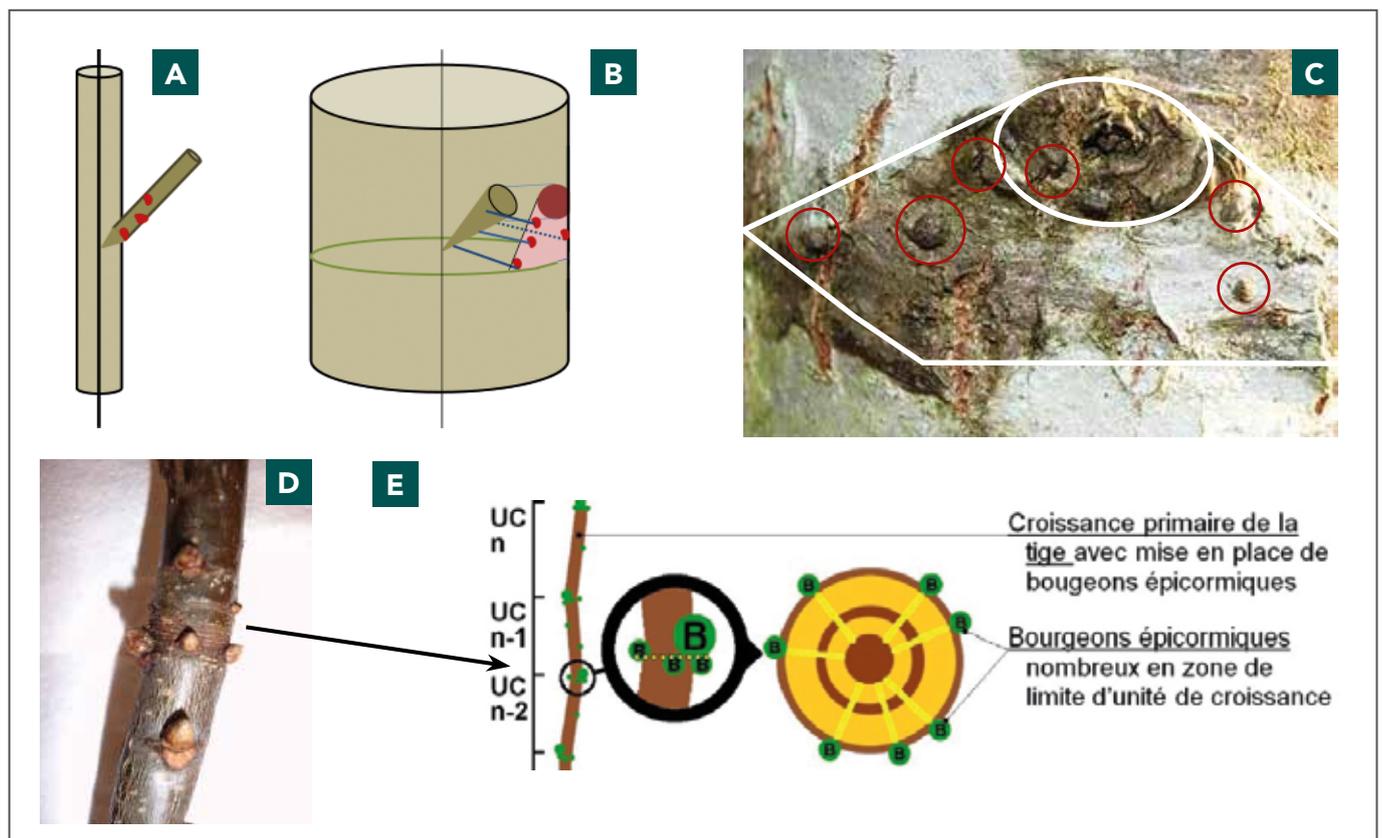


Fig. 2 : schéma des deux zones préférentielles de mise en place des épicorniques

- A, B, C : bourgeons en base de branche ou sur cicatrice de branche. A. Les bourgeons (en rouge) en base de branche sont à l'origine des bourgeons latents sur cicatrice de branche élaguée (B). Ces bourgeons se situent généralement sur les côtés de la cicatrice en forme de triangle visible à la surface du tronc (en rose et brun). Le cercle vert représente le plan transversal passant par l'insertion de la moelle de la branche sur la moelle du tronc et par la base de la cicatrice. C. Photo retouchée avec limite de la cicatrice de branche et localisation (dans les cercles rouges) des bourgeons latents.

- D, E : bourgeons situés à la limite entre 2 pousses annuelles ou unités de croissance. D. Bourgeons situés en couronne à l'aisselle des écaillles, tombées, ayant protégé le bourgeon terminal. E. Bourgeons épicorniques nombreux en limite de deux unités de croissance (UC) produisant dans le bois des traces rayonnantes à partie de la moelle.

### Suivi des épïcormiques : comptages ONF de 1988 à 2008

Des comptages d'épïcormiques (branches secondaires) ont été effectués de 1988 à 2008 en distinguant les rameaux vivants feuillés de l'année, ceux des années antérieures et les rameaux secs (Gibaud, 2009). Ils ont été réalisés sur deux bandes de comptage de 50 cm de hauteur matérialisées sur l'arbre à 1,5 m (bande 1) et à 3,5 m (bande 2); en 2005 et 2008, le comptage a concerné aussi une troisième bande de 1,5 m de hauteur entre la bande 1 et la bande 2 (figure 3).

En 1988, avant l'émondage, la répartition entre les différents types de gourmands (rameaux secs, rameaux feuillés de l'année et rameaux feuillés des années précédentes), était homogène entre les 4 placettes (figure 4); on comptait 8 à 13 gourmands (feuillés ou secs) par arbre selon les placettes (figure 5).

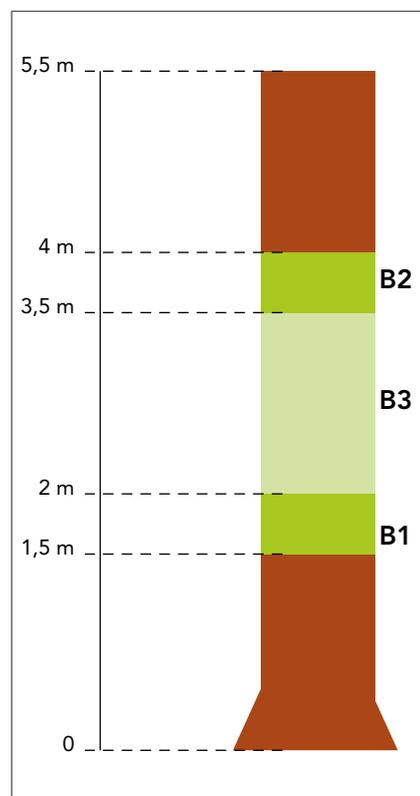


Fig. 3 : bandes de comptage des épïcormiques de 1988 à 2008

Après émondage, ce nombre a fortement chuté dans les placettes EL1, EL2 et EL3 : en 1992, on comptait 0,1 à 0,2 épïcormiques par arbre dans les placettes émondées contre 7,5 épïcormiques par arbre dans la placette témoin. Ensuite, le nombre d'épïcormiques a diminué dans le témoin, mais la différence par rapport aux trois autres placettes s'est maintenue jusqu'en 2008.

Ainsi, 20 ans après l'émondage, on compte 10 à 20 fois plus de formations épïcormiques dans le témoin (10 épïcormiques par arbre) que dans les placettes émondées (0,5 à 1,0 épïcormique par arbre). **L'émondage est donc très efficace, même lorsqu'il n'est réalisé qu'une seule fois** (placette EL1). Les « singularités » du bois dues aux épïcormiques, très pénalisantes dans le classement qualitatif du chêne, deviennent suffisamment rares pour ne pas occasionner de décote du produit final.

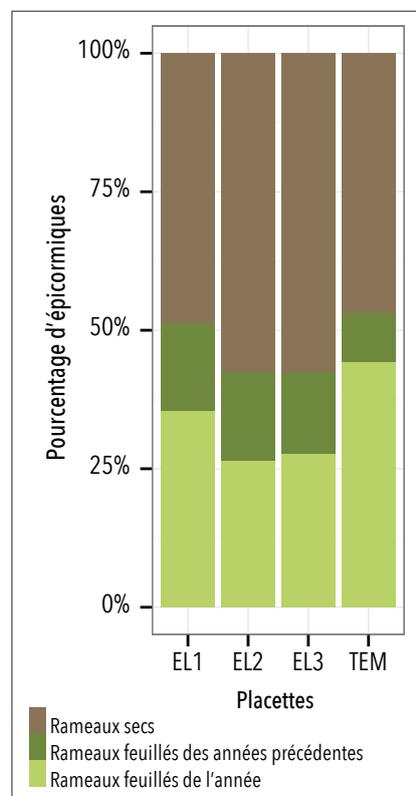


Fig. 4 : pourcentage d'épïcormiques par type en 1988

### Comptages ONF-INRA de 2010

En 2010, l'INRA et l'ONF ont réalisé un dernier comptage selon le protocole descriptif de l'INRA, qui distingue précisément les 8 types d'épïcormiques (ceux de la figure 1 + les poils et les sphéroblastes). Le comptage a été fait de 0 à 6,5 m par billons de 50 cm de hauteur numérotés comme suit : billon 1 de 0 à 0,5 m, billon 2 de 0,5 à 1 m, [...] billon 12 de 5,5 à 6 m, billon 13 de 6 à 6,5 m. La placette EL3 n'a pas fait l'objet de ce dernier comptage.

Il en ressort que, 22 ans après l'émondage, la proportion respective des 8 types d'épïcormiques est assez homogène entre les 3 placettes avec toutefois davantage de (petits) broussins en EL2 (figure 6A). De plus, ce comptage par billon montre que, au-dessus de la zone émondée soit entre 5,5 m et 6,5 m (billons 12 et 13), les modalités émondées présentent à peu près le même nombre de formations épïcormiques que le témoin (figure 6B). En revanche, en dessous de 5 m (billons 1 à 10), il y a en moyenne 2 épïcormiques par arbre dans les placettes EL1 et EL2 contre 20 dans la placette témoin. Le billon 11, entre 5 m et 5,5 m, présente une quantité intermédiaire d'épïcormiques dans les placettes émondées. On peut supposer qu'à cette hauteur, l'émondage a été moins efficace et que des bourgeons latents ont pu être oubliés.

→ Un seul émondage a donc un effet très bénéfique et durable. La population des « arbres d'avenir » émondés préfigurant le peuplement final, on peut dire que l'émondage permet d'augmenter fortement, à la récolte, la proportion d'arbres ayant moins de trois épïcormiques entre 0 et 5 m de hauteur (critère déterminant de la qualité A/B) : cette proportion passe de 27 % à 77 %.

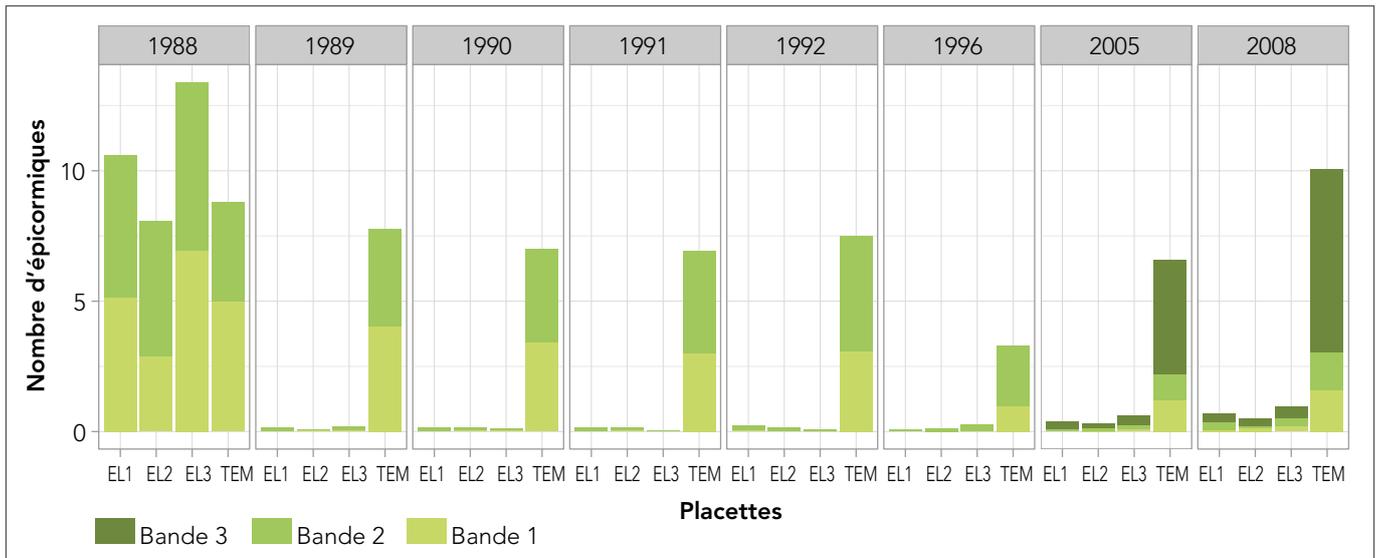


Fig. 5 : nombre moyen d'épicormiques (tiges feuillées + tiges sèches) par arbre de 1988 à 2008 (comptages sur B1+B2 de 1988 à 1996 et sur B1+B2+B3 en 2005 et 2008)

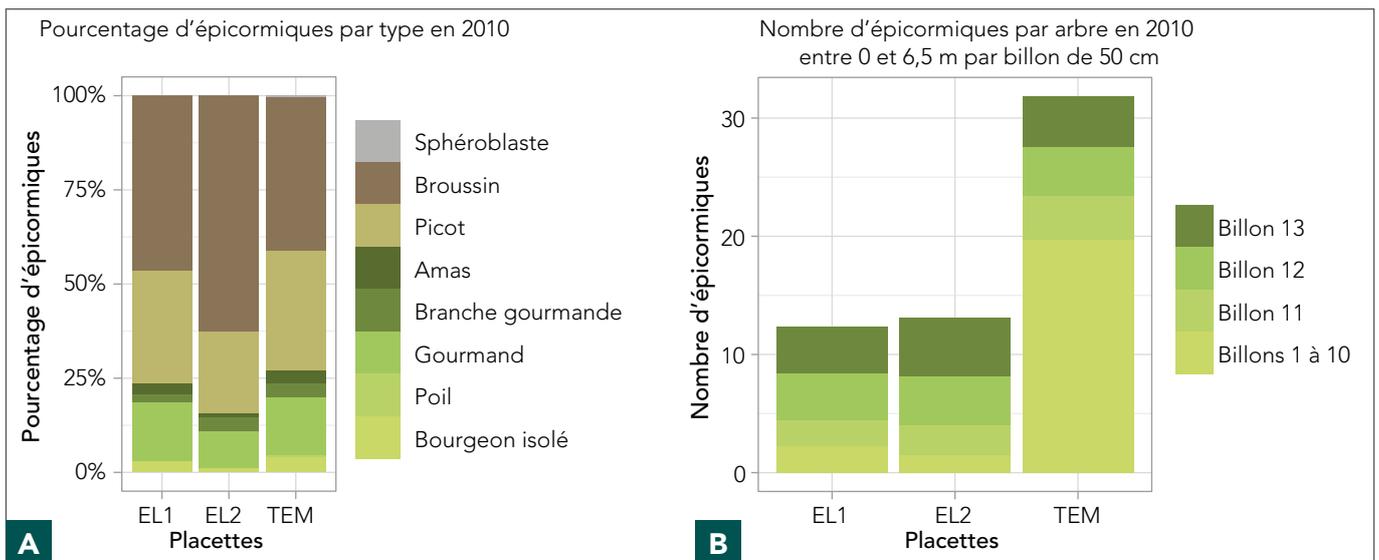


Fig. 6 : A. pourcentage d'épicormiques par type en 2010 et B. nombre moyen d'épicormiques par arbre en 2010 entre 0 et 6,5 m par billon de 50 cm

	Beaucoup d'épicormiques observés après émondage	Peu d'épicormiques observés après émondage
Beaucoup d'épicormiques enlevés lors des émondages	Situation 1 : arbres EL1_28, EL1_25, EL3_1	Situation 2 : arbres EL1_21, EL1_24*
Peu d'épicormiques enlevés	Situation 3 : arbres EL1_8, EL1_9, EL3_22	Situation 4 : arbres EL1_11, EL1_5

Tab. 1 : échantillonnage des arbres tomographiés (\*=billon 2 m égaré)

La notation ELx\_y désigne l'arbre n° y dans la modalité d'émondage ELx

## Étude tomographique

Restait à comprendre pourquoi l'émondage n'avait pas éliminé tous les épïcormiques et quels étaient les épïcormiques oubliés. C'est l'objet d'une étude tomographique qui a exploré 4 situations contrastées :

- situation 1 : beaucoup d'épïcormiques observés et retirés en 1988-90 et beaucoup d'épïcormiques observés en 2010.
- situation 2 : beaucoup d'épïcormiques observés et retirés en 1988-90 et peu d'épïcormiques observés en 2010.
- situation 3 : peu d'épïcormiques observés et retirés en 1988-90 et beaucoup d'épïcormiques observés en 2010.
- situation 4 : peu d'épïcormiques observés et retirés en 1988-90 et peu d'épïcormiques observés en 2010.

Ces 4 situations (tableau 1 page précédente) ont été échantillonnées à raison, pour chacune, de 2 arbres représentatifs choisis dans la modalité EI1. Deux arbres de la modalité EI3 ont été ajoutés, l'un dans la situation 1 et l'autre dans la situation 3, car ces deux arbres, pourtant émondés 3 fois, présentaient de nombreux épïcormiques lors des comptages ONF jusqu'en 2008.

Sur chaque arbre, trois billons ont été prélevés et scannés : billon 2 m compris entre 1,5 et 2,5 m ; billon 4 m entre 3,5 et 4,5 m ; billon 5 m entre 4,5 et 5,5 m. Ce sont donc au total 29 billons qui ont été tomographiés, un billon 2 m ayant été égaré.

### Méthodologie

La méthodologie de scan des billons, l'interprétation des images et la reconstitution virtuelle 3D de l'intérieur des billons sont évoquées en encadré. Rappelons juste que les images scanner ont été interprétées manuellement grâce au plugin « Gourmands » qui génère des fichiers permettant une reconstitution 3D du réseau de traces raméales

### La tomographie à rayons X

La tomographie à rayons X est apparue dans les recherches sur le bois dans les années 1990, permettant initialement la détection des nœuds et du duramen (Longuetaud *et al.*, 2007). Fin 2007, le LERFoB s'est équipé d'un tomographe (scanner) à rayons X de type médical permettant une observation fine de l'intérieur des grumes, possible à des vitesses de défilement des grumes de l'ordre de 2 cm par seconde.



Le principe de fonctionnement est basé sur l'atténuation des rayons X pendant la traversée du matériau, atténuation qui dépend de la densité du matériau : plus cette atténuation est forte plus les rayons sont arrêtés et l'image paraît claire. Une des premières utilisations du scanner est donc la mesure de la densité du bois (Freyburger *et al.*, 2009). Par ailleurs, la densité se trouve d'autant plus augmentée que le matériau est humide. Ainsi l'aubier chargé d'eau apparaît plus clair que le duramen dans une grume de bois frais (Longuetaud *et al.*, 2007). En règle générale, la présence d'eau dans le bois réduit les contrastes de densité ce qui nuit à la détection des objets qui nous intéressent. On travaille donc généralement sur du bois ressuyé ou sec à l'air pour repérer ces particularités. Dans ces conditions il est maintenant possible de repérer dans la majeure partie des cas le trajet de la moelle, les nœuds et même les traces des bourgeons latents.

Les images obtenues peuvent être interprétées manuellement ou dans certains cas automatiquement. Ainsi « Gourmands » est un outil d'interprétation manuelle écrit sous la forme d'un plugin pour le logiciel libre d'analyse d'image ImageJ (Colin *et al.*, 2010). Il permet de récupérer les positions spatiales de tout objet identifié au préalable comme moelle, trace de bourgeon primaire, de bourgeon secondaire, limite extérieure de nœud de branche primaire, de gourmand ou encore de broussin. Les traces raméales internes et leur organisation peuvent ensuite être représentées dans l'espace grâce à un visualisateur (« Bil3D »). « Gourmands » produit également des fichiers de données qui permettent de quantifier la ramification (Morisset *et al.*, 2012c) et la forme des nœuds (Duchateau *et al.*, 2013).

De nombreux résultats ont été obtenus récemment sur les épïcormiques du chêne grâce à la tomographie (Morisset *et al.*, 2012a, 2012 b, 2012c). « Pith-Extract » (Boukadida *et al.*, 2012) est un outil de repérage automatique de la position de la moelle. Pour certaines essences (Épicéa, Sapin, Frêne) les limites des pousses annuelles présentent des densités localement plus fortes qui sont également repérables, permettant de mesurer les allongements annuels (Longuetaud et Caraglio, 2009). La détection automatique des nœuds (Longuetaud *et al.*, 2012, Roussel *et al.*, 2014) est en cours de développement, essentiellement pour les résineux. Par contre, le repérage automatique des traces de bourgeons ne semble pas réalisable dans un avenir proche.

De plus amples informations peuvent être trouvées dans Longuetaud *et al.* (2014 ; RDV Techniques n° 44).

de chaque billon. C'est sur ces billons reconstitués qu'ont été dénombrés les différents types de traces raméales, illustrés pour l'essentiel dans la figure 7.

Pour un certain nombre de billons les images du scanner étaient un peu floues, nécessitant des prises de décision fortes lors de l'interprétation. Noter aussi que l'observation tomographique n'a pas permis de repérer précisément le moment de l'émondage. Néanmoins, chaque billon émondé présente un ensemble de nœuds épéricormiques s'arrêtant

brutalement à une position assez proche, présumée correspondre au moment de l'émondage (figures 7B, 9A, 9D). Les nœuds et les bourgeons dont l'extrémité proximale était extérieure à cette position voire atteignait la surface du billon ont été considérés comme oubliés.

Ces remarques conduisent à prendre avec précaution les résultats quantitatifs présentés ci-après, établis par ailleurs sur un nombre limité d'arbres et de billons. Les effectifs d'« oubliés » présentent une incertitude évaluée à 3.

### Résultats de l'analyse tomographique

Conformément à l'échantillonnage, les plus grands oublis ont concerné la situation 1 avec à la fois des gourmands et des bourgeons oubliés et la situation 3 avec surtout des gourmands oubliés (figures 8A et 8B). Les billons des arbres de la modalité d'émondage EI3, à savoir les arbres EI3\_1 et EI3\_22, sont très représentatifs de ces oublis.

Pour ce qui est des gourmands, quand il y en a eu plus de 35 à enlever, les oublis ont pu concerner entre 20 et 40 gourmands (figure 8A) et se

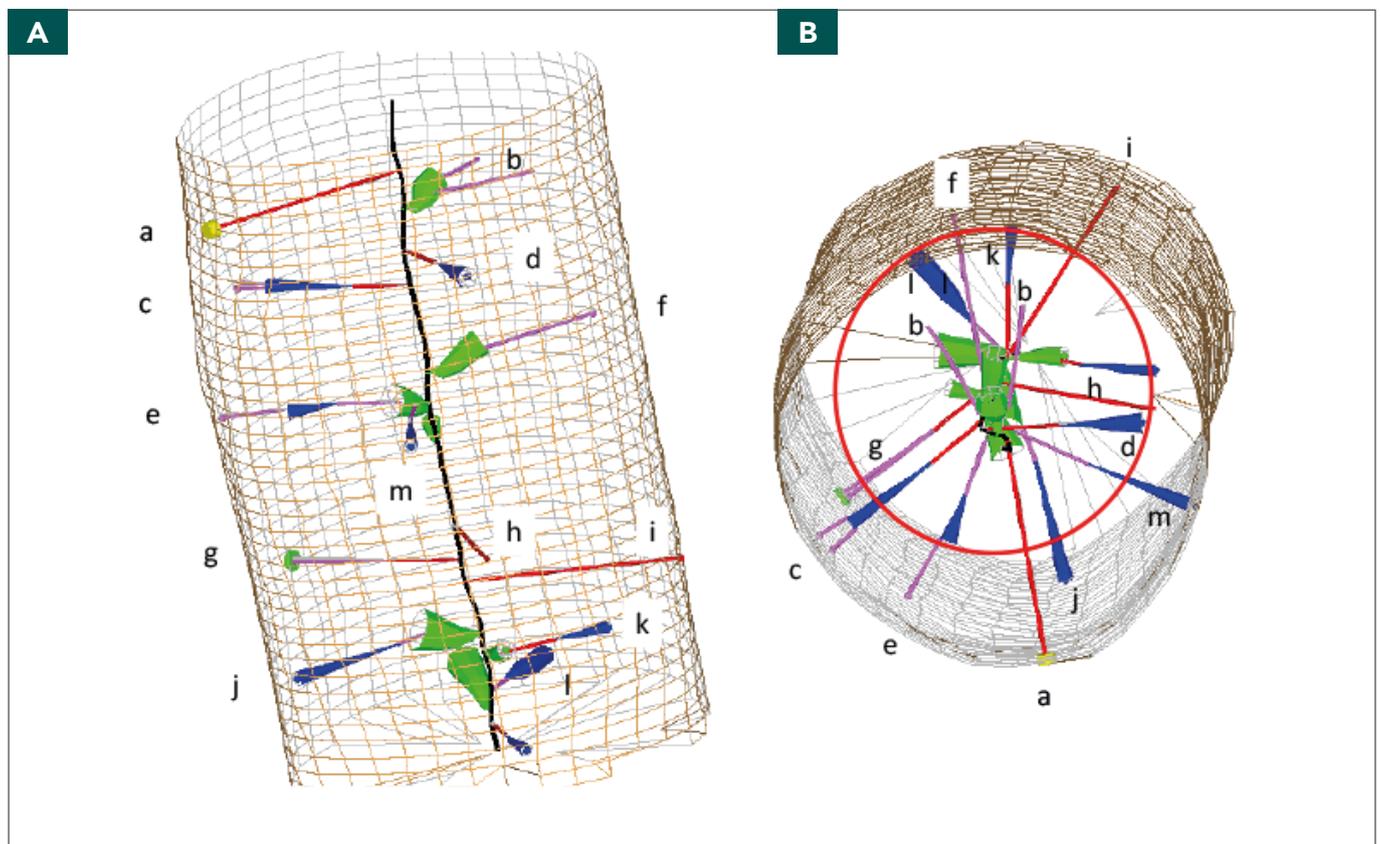


Fig. 7 : reconstitution de quelques successions d'épicormiques dans le cadre de l'expérimentation d'émondage ; A. vue latérale. B. vue du dessus

En B, le moment de l'émondage est signifié par le cercle rouge rejoignant plusieurs extrémités proximales de gourmands positionnées à une même distance de la moelle. Le trajet de la moelle est figuré en noir, la trace d'un bourgeon primaire en rouge, celle d'un bourgeon secondaire en rose, le nœud d'une branche primaire en vert, le nœud d'un gourmand en bleu. Un court cylindre jaune indique un picot tandis qu'un amas est symbolisé par un cercle vert. Les exemples de successions d'épicormiques sont les suivants :

- a. Bourgeon primaire (BGI) suivi d'un picot
- b. 2 bourgeons secondaires de branche primaire élaguée naturellement (abrégés en SEQ\_BGII)

- c. Gourmand (GD) sur BGI donnant 2 GD\_BGII
- d. Gourmand sur BGI ; ce gourmand a été émondé
- e. Gourmand sur SEQ\_BGII, émondé et ayant produit tout près de la coupe, un BGII
- f. SEQ\_BGII oublié lors de l'émondage
- g. 2 BGI\_BGII rassemblés dans un amas
- h. BGI éliminé lors de l'émondage
- i. BGI oublié lors de l'émondage
- j. Gourmand sur SEQ\_BGII oublié lors de l'émondage
- k. Gourmand sur BGI, émondé
- l. Gourmand sur SEQ\_BGII, émondé
- m. Gourmand sur SEQ\_BGII, oublié

sont produits surtout au niveau des billons 4 m et 5 m (figure 8C). Pour ce qui est des bourgeons, quand il y en a eu plus de 20 à enlever, les oublis ont pu concerner entre 10 et 35 bourgeons (figure 8B), sur le billon 5 m et surtout sur le billon 2 m (figure 8D). Les bourgeons les plus souvent oubliés (figure 8E) ont été des GD\_BGII c'est-à-dire des bourgeons en base de gourmands (illustrés en figures 1B, 9B et 9D) et des SEQ\_BGII c'est-à-dire des bourgeons situés sur les cicatrices des branches primaires naturellement élaguées (illustrés en figures 2A, 2B, 2C et 9B). Plus précisément, les SEQ\_BGII oubliés l'ont été surtout au niveau des billons 2 m et 4 m (figure 8F) tandis que les GD\_BGII l'ont été nettement au niveau des billons 4 et 5 m (figure 8G). Sur les images scanner, un grand nombre des « oublis » de GD\_BGII correspondent en fait au départ, immédiatement sur la coupe d'un gourmand émondé, d'un ou plusieurs bourgeons, qui peu (ven) t se maintenir en l'état à la surface du billon (figure 7A, succession e) ou se développer en gourmand (figures 9B et 9D) comme Svejgaard (1993) avait déjà pu le constater à partir d'observations extérieures. Ce phénomène s'est retrouvé surtout dans la situation 1, avec 57 cas observés dans les 9 billons d'un mètre étudiés; les billons des arbres EI1\_28 et EI3\_1 y étaient très représentés. Dans la situation 4, ce sont 22 cas qui ont été recensés dans les 6 billons de 1 mètre étudiés, l'arbre EI1\_11 étant le plus représenté.

### Interprétations et enseignements

Comme on pouvait s'y attendre, plus il y avait d'épicormiques à éliminer, plus l'émondage en a oublié. Les oublis de gourmands dans les parties hautes constituent l'inconvénient majeur de la méthode d'émondage depuis le sol avec un ciseau fixé sur un long manche ne permettant pas un bon repérage de tous les gourmands et bourgeons à enlever. Bien que cette technique ait largement amélioré la qualité des arbres, émonder à partir d'échelles de grimpage

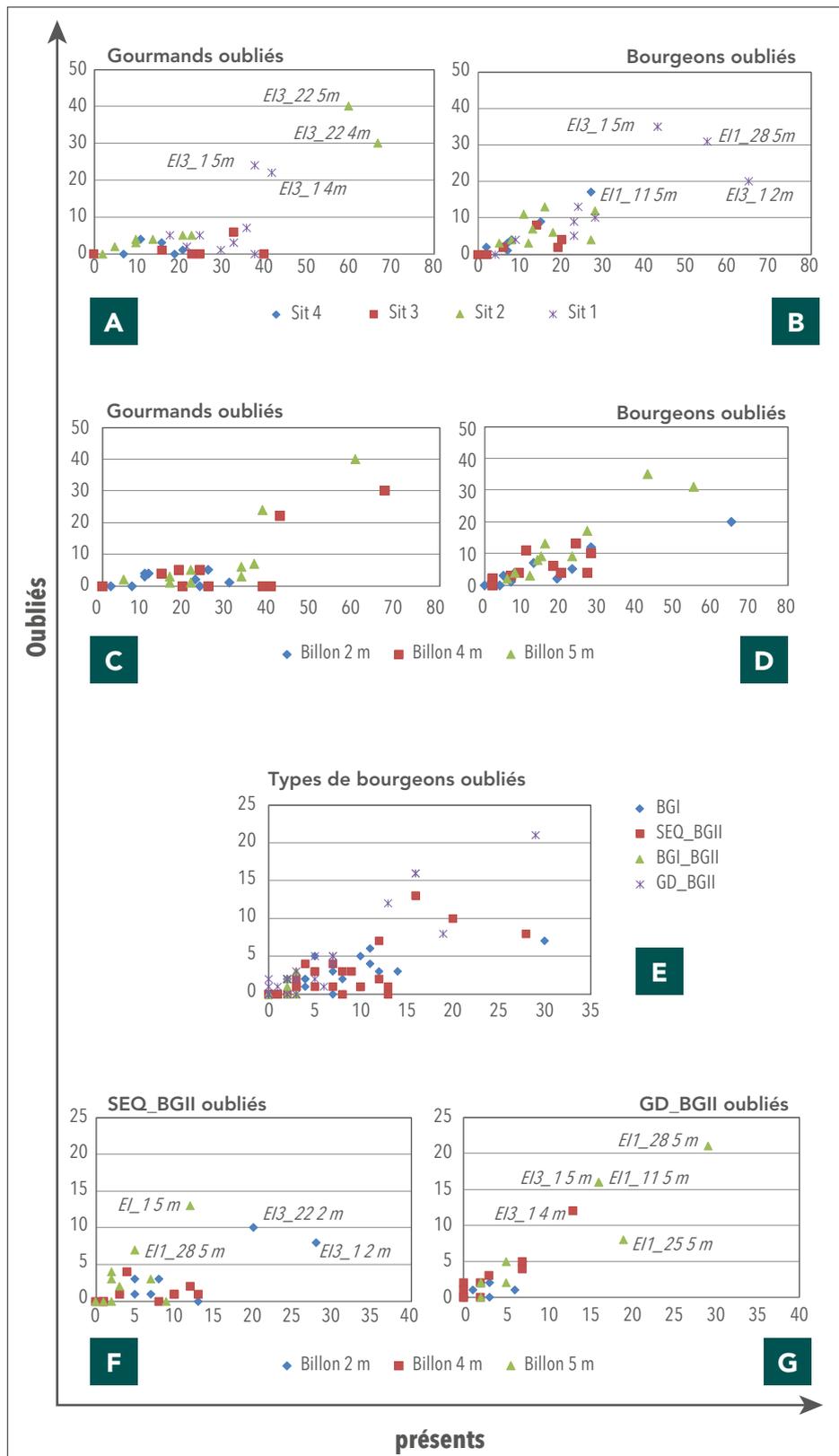


Fig. 8 : nombre d'épicormiques oubliés au regard des effectifs présents au moment de l'émondage, pour chaque billon analysé

A. Gourmands oubliés et B. Bourgeons oubliés par type de situation (Sit); les billons concernés par les plus nombreux oubliés sont désignés.

C. Gourmands oubliés et D. Bourgeons oubliés selon le type de billon.

E. Types de bourgeons oubliés.

F. Bourgeons SEQ\_BGII oubliés et G. Bourgeons GD\_BGII oubliés, selon le type de billon.

devrait être probablement plus précis puisque l'émondeur se hisse à hauteur des épécormiques. Il n'est toutefois pas exclu que certaines zones soient moins bien observées sauf si l'opération est réalisée par deux grimpeurs. La manière de procéder mise à part, les résultats montrent qu'émonder des arbres portant beaucoup d'épécormiques n'est pas pertinent.

Les oublis de bourgeons sur les billons bas renvoient à une probable méconnaissance de l'endroit où se trouvaient les bourgeons à éliminer, notamment sur les bords des cicatrices de branches élaguées naturellement (SEQ\_BGII). Il est recommandé de se rapporter aux figures 2A, 2B et 2C pour comprendre le positionnement de ces bourgeons.

Les oublis de bourgeons sur les billons hauts concernent non seulement les bourgeons SEQ\_BGII mais surtout les bourgeons à la base des gourmands (GD\_BGII), visibles sur la figure 1B. Par conséquent l'émondage (coupe) d'une pousse gourmande doit impérativement s'accompagner d'un ébourgeonnage soigné.

Par ailleurs il faut signaler des cas d'oublis concentrés dans un secteur angulaire particulier (figure 9A), ce qui suggère un problème de visibilité ou un relâchement de l'attention. Ils pourraient être évités en intervenant avant que le feuillage ne soit trop dense, en évitant de travailler en fin de journée et/ou par temps nuageux, et en portant une attention particulière aux secteurs angulaires mal éclairés.

Comment se fait-il enfin que les arbres EI3\_1 et EI3\_22, pourtant élagués 3 fois, présentaient de nombreux épécormiques lors des comptages extérieurs? Ceci est dû :

- à de nombreux oublis de gourmands dans les parties hautes du tronc,
- à des oublis de bourgeons dans les parties basses aussi bien que hautes,
- à l'apparition de bourgeons et gourmands suite à l'émondage ayant négligé les bourgeons à la base des gourmands (arbre EI3\_1).

Émonder plusieurs fois ne semble donc pas souhaitable si à chaque émondage sont oubliés les bourgeons de base des gourmands qui peuvent migrer en surface des troncs et redonner des gourmands.

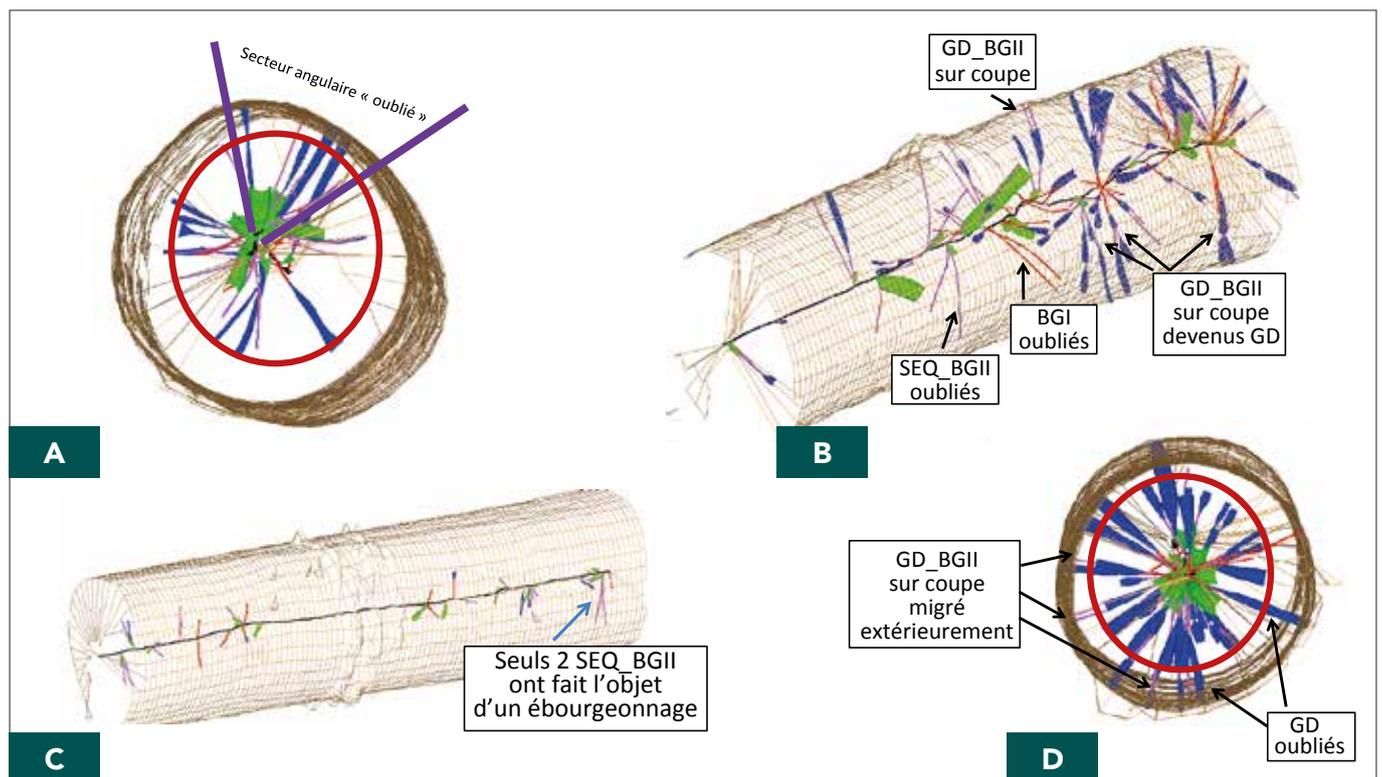


Fig. 9 : différentes vues des traces raméales reconstituées dans les billons scannés

- A. Vue du dessus du billon 4 m de l'arbre EI1\_8 (situation 3). Trois gourmands (en bleu) et un SEQ\_BGII (en rose) ont été oubliés dans un seul secteur angulaire. Cercle rouge : position supposée de l'émondage.
- B. Vue latérale du billon 5 m de l'arbre EI1\_28 (situation 1) produisant de nombreux épécormiques. De nombreux BGI et BGII ont été oubliés. De plus, de nombreux BGII proches de la coupe ont migré vers l'extérieur suite à l'émondage des gourmands (GD) devenant eux-mêmes souvent gourmands.
- C. Vue latérale du billon 2 m de l'arbre EI1\_11 (situation 4) ayant produit très peu d'épécormiques. Le billon a été totalement émondé puisque les 2 seuls SEQ\_BGII présents ont été correctement ébourgeonnés.
- D. Vue du dessus du billon 5 m de l'arbre EI1\_25 (situation 1) produisant de nombreux BGII proches de la coupe et ayant migré vers l'extérieur. De nombreux gourmands ont été oubliés.

## Faisabilité économique de l'émondage

Les bases biologiques et pratiques d'un émondage efficace étant précisées, il faut encore examiner dans quelles conditions l'opération est économiquement pertinente, selon l'approche classique coût/bénéfice : un calcul de dépenses et recettes actualisées en fonction de la date des différentes opérations sur l'ensemble du cycle sylvicole.

### Évaluation du coût de l'émondage

En été 2012, l'ONF et l'INRA ont fait une première évaluation de la faisabilité économique de l'émondage sur deux chantiers pilotes comptant respectivement 34 tiges émondées en forêt domaniale du Perche et de la Trappe (Orne) et 19 en forêt de Brin (Meurthe-et-Moselle). Cette première étude a conclu que le travail est plus efficace à deux personnes par arbre. En effet, le nombre d'épicormiques trouvés et supprimés est toujours supérieur puisque les deux faces de l'arbre sont examinées en même temps ce qui diminue les risques d'oubli de certaines zones. En outre, la pénibilité du travail est moindre. Cette étude a également permis de vérifier qu'il est préférable d'intervenir après l'éclaircie suivant la désignation des arbres-objectifs autour de 50 ans (pour des peuplements de fertilité 1 ou 2

selon le Guide des sylvicultures de la chênaie atlantique ; Jarret, 2004). À ce stade, le développement des épicormiques est encore assez faible, mais l'apport récent de lumière par l'éclaircie, les rend mieux repérables. De plus, même si l'écorce est parfois recouverte de mousse, elle n'est pas encore trop crevassée. Cependant, les calculs du temps nécessaires pour l'émondage ne paraissent pas très robustes, les opérateurs n'étant pas des ouvriers forestiers.

En été 2014, la Direction territoriale lorraine de l'ONF a donc entrepris d'évaluer le coût de l'émondage par des ouvriers forestiers élagueurs. Cette deuxième étude a porté sur 264 chênes, émondés entre 0 et 5,5 m et répartis sur trois forêts (tableau 2). Elle a confirmé que le travail en binôme, les deux émondeurs progressant sur échelles de grimpage sur deux côtés opposés de la tige, est sans doute l'organisation optimale du point de vue qualitatif (cela limite l'oubli de bourgeons) et quantitatif. De plus, elle a permis de quantifier le nombre de tiges émondées pour une équipe de deux ouvriers : 14 tiges par jour. Ainsi, pour un coût de 43,3 €/heure d'ouvrier forestier élagueur (au prix de cession interne ONF 2014, qui correspond au coût horaire complet), **l'opération d'émondage coûterait 46,4 €/tige soit 2780 €/ha pour 60 tiges/ha émondées.**

### Évaluation économique du bénéfice de l'émondage

L'évaluation du bénéfice de l'émondage sur l'ensemble du cycle sylvicole se fait selon les hypothèses issues des études de 2010 et 2014, concernant respectivement la proportion de qualité A et B à la récolte et le coût de l'émondage (tableau 3) ; la durée du cycle et le volume à récolter correspondent aux objectifs du Guide des sylvicultures des chênaies continentales (Sardin, 2008) en bonne fertilité (2) pour une sylviculture dynamique ; le taux d'actualisation est fixé à 2,4 % (d'après l'expertise de J.-P. Terreaux). **Dans ces conditions, le bénéfice supplémentaire apporté par l'émondage s'élève à 300 €/ha.**

Toutefois, l'intérêt économique de l'émondage dépend fortement des hypothèses retenues (figure 10). Or, pour la même prescription technique, le coût de l'émondage peut varier selon le contexte : en supposant que la gamme de coût s'échelonne de 1 500 à 4 000 €/ha, le bénéfice calculé varie de +762 à -140 €/ha. De même, l'âge de la récolte influence fortement la rentabilité de l'opération : une récolte anticipée de 20 ans par rapport aux 150 ans de l'hypothèse initiale augmente d'environ 800 € le bénéfice de l'émondage alors qu'une récolte retardée de 20 ans le diminue de 500 € et rend l'opération négative. Le taux d'actualisation est lui aussi déterminant : pour un taux de 2 %, le bénéfice de l'émondage est de 1150 €/ha alors qu'il devient négatif lorsque le taux d'actualisation atteint et dépasse 2,7 %. Enfin la différence de prix entre les bois de qualité A/B et ceux de qualité C/D lors de la récolte finale influence évidemment les résultats. Les analyses réalisées montrent cependant que l'opération demeure bénéficiaire lorsqu'on s'en tient à des hypothèses réalistes.

Département	Forêt	Parcelle	Âge	Fertilité	Tiges émondées
54	Champenoux	47	34 ans	1	82 tiges
57	Saint-Jean	130	45 ans	1	87 tiges
88	Fraize	35	35 ans	2	95 tiges

Tab. 2 : caractéristiques des parcelles ayant fait l'objet du test d'émondage en Lorraine

Âge	Opération	Sans émondage	Avec émondage
43 ans	Émondage (coût)	0	2 780 €
150 ans	Récolte (recette) :		
	% de qualité A/B à 500 €/m <sup>3</sup>	27 %	77 %
	% de qualité C/D à 180 €/m <sup>3</sup>	73 %	23 %

Tab. 3 : hypothèses pour le calcul du bénéfice de l'émondage

## Recommandations techniques pour réaliser l'émondage

Les recommandations indiquées ici sont issues des connaissances actuelles exposées précédemment mais pourront être modulées selon le retour d'expérience des prochains chantiers qui pourraient être réalisés. Elles concernent le choix des peuplements qui méritent d'être émondés-ébourgeonnés, le choix des arbres dans ces peuplements, la hauteur de tronc sur laquelle opérer et enfin la manière de procéder (Gibaud *et al.*, 2013).

Les peuplements qui pourraient bénéficier d'un émondage seraient des peuplements de chêne de qualité dont l'écorce n'est pas encore trop crevasée afin que les épicromiques soient facilement repérables. Les arbres à émonder seraient les arbres-objectif préalablement désignés. L'opération

d'émondage se ferait donc juste avant la deuxième éclaircie selon le Guide des sylvicultures des chênaies continentales ( $H_o = 16-17$  m pour 36-50 ans) ou juste avant la troisième éclaircie selon le Guide des sylvicultures de la chênaie atlantique ( $H_o = 18-20$  m pour 45-69 ans).

La longueur optimale des billons à émonder nécessiterait une étude à part entière sur les prix du marché en fonction des découpes. Les premiers mètres étant les mieux valorisés, on pourrait envisager de ne travailler qu'à partir du sol sur 2 mètres uniquement. Mais ce scénario n'a jamais été testé. Celui testé en Lorraine consistait à émonder sur une hauteur de 5,5 m, à l'aide d'une échelle de 5 m (deux éléments emboîtables de 3 + 2 m). D'autres hauteurs de travail pourraient être imaginées en fonction de l'équipement utilisé.

La période de l'année à privilégier sera choisie de manière à éviter de laisser trop longtemps le cambium à l'air et à permettre une cicatrisation rapide. Celle-ci sera obtenue au moment où le cambium est le plus actif soit de mi-avril à fin juin (Michelot *et al.*, 2012). Il faut considérer également la facilité du repérage. Les épicromiques sont particulièrement visibles au moment où les poils et gourmands sont feuillés c'est-à-dire entre mai et juillet. En août, certains poils peuvent avoir séché et être tombés. De plus, c'est avant juillet que l'éclaircissement sur les troncs est le plus fort, avant que la feuillaison ne soit totale. Enfin, il faut tenir compte de la disponibilité des ouvriers forestiers qui font le travail. Ainsi la période la plus favorable serait les mois de mai et juin et la plage possible pourrait être étendue à mi-avril/fin-juillet.

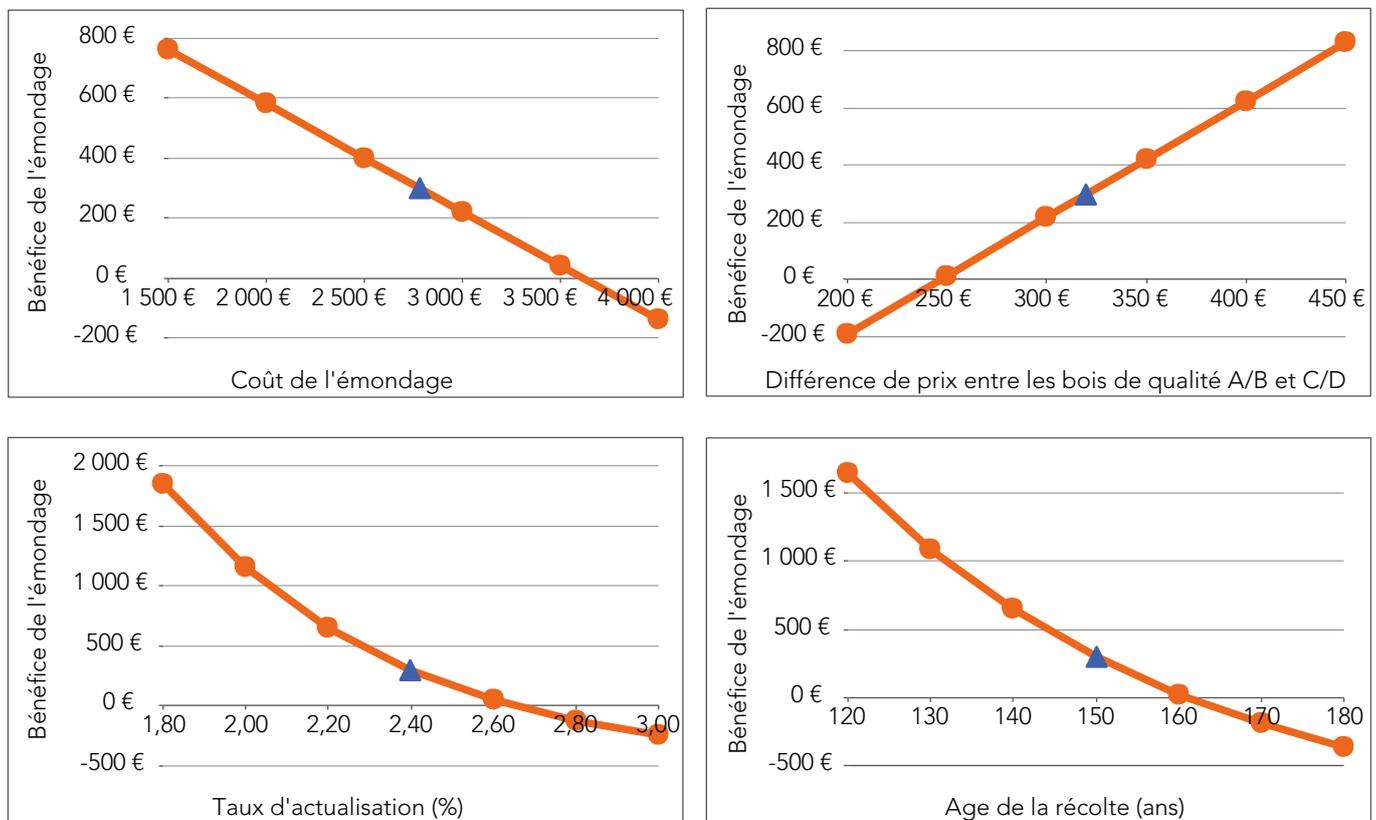


Fig. 10 : variation du bénéfice de l'opération d'émondage en fonction des hypothèses de coût de l'émondage, différence de prix entre les bois émondés ou non, taux d'actualisation et âge de la récolte

Le triangle bleu indique le bénéfice de 300 €/ha selon les hypothèses initiales du tableau 3.

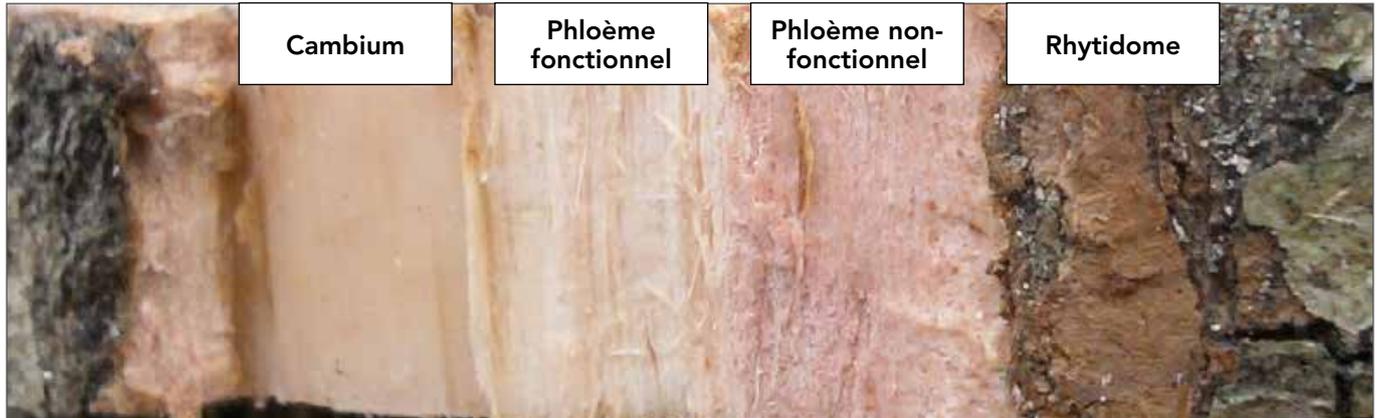


Fig. 11 : aspect des différentes couches de l'écorce et du cambium chez le chêne sessile

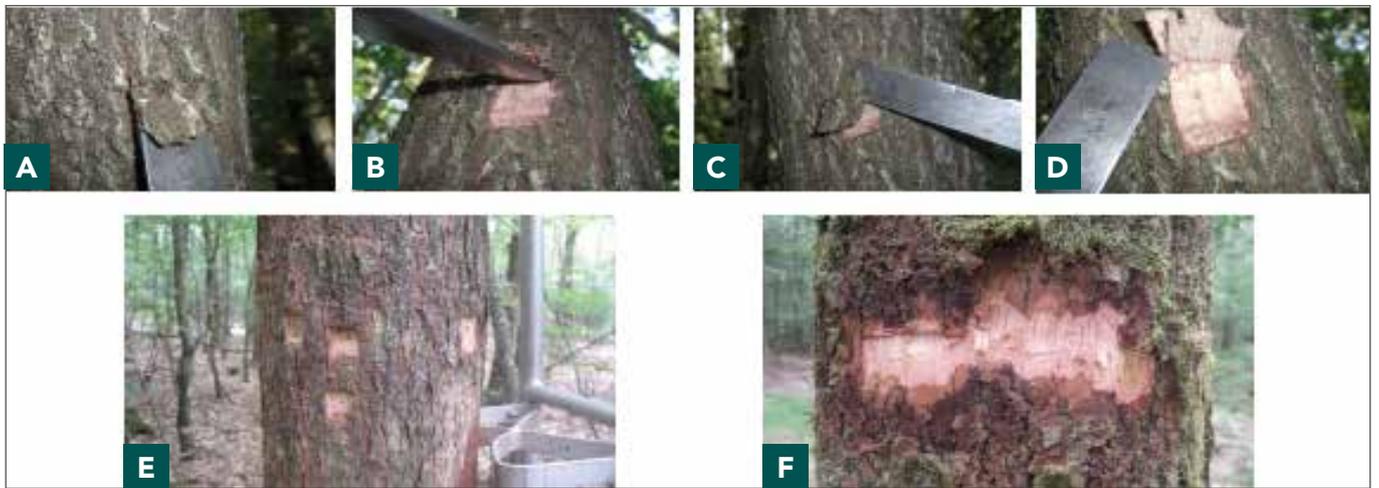


Fig. 12 : les gestes d'émondage et le résultat

- A. enfoncement de la lame parallèlement à la surface. B. Fin de l'entaille et relèvement de la lame (on voit que le biseau de la lame est vers l'intérieur). C. et D. Coupure de l'écorce au niveau du pli.  
 E. Ébourgeonnements très localisés; F. Élimination de bourgeons placés sur une même ligne horizontale, à la limite entre deux pousses annuelles ou unités de croissance.

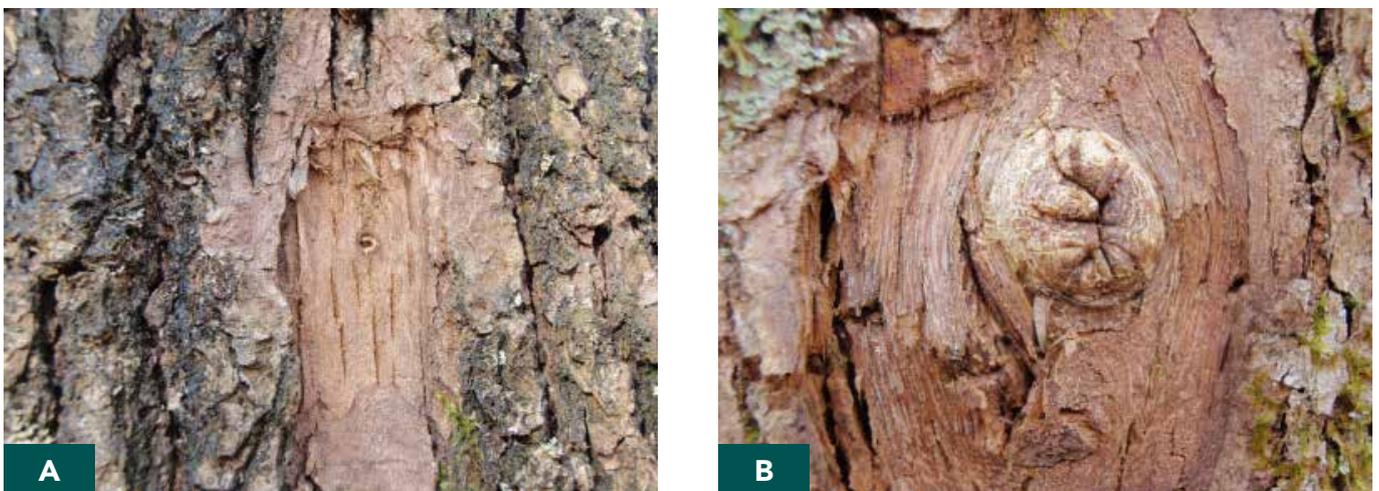


Fig. 13 : résultat de l'émondage après une saison de végétation : A. épïcormique émondé avec bonne cicatrization ; B. boursouffure suite à un émondage réalisé trop profondément ayant endommagé le cambium

La manière d'émonder-ébourgeonner comporte plusieurs aspects.

1. Du fait de la biologie des épïcormiques, ceux-ci sont à rechercher avant tout au niveau des bases de branches et des cicatrices de branches élaguées, ensuite aux limites de pousses annuelles et enfin en dehors de ces zones, en des points dispersés.
2. Les broussins avec pousses feuillées vertes ou sèches sont les plus faciles à repérer. Viennent ensuite les pousses épïcormiques isolées, puis les petits broussins constitués uniquement de bourgeons, les amas, les picots et enfin les bourgeons isolés.
3. L'outil et les gestes à adopter doivent être les plus précis et déterminés possible, de manière à ne pas aller plus en profondeur que le cambium et de manière à ce que la zone de cambium (intact) à nu soit la moins large possible. Le ciseau à bois aura une lame d'une largeur de 2 à 2,5 cm ; avec une lame plus large l'enfoncement dans le bois serait plus difficile ; avec une lame moins large, les risques d'endommagement du cambium (figure 13B) seraient augmentés. La lame du ciseau sera enfoncée à 2-3 cm environ en dessous de l'épïcormique, le moins obliquement possible par rapport à la surface, avec le biseau de la lame du côté du tronc. Pour aider à faire avancer la lame on fera pivoter légèrement l'axe du ciseau de gauche à droite et/ou on tapera légèrement le manche avec le haut de la paume.
4. La lame ne devra pas entamer le cambium qui se reconnaît à sa couleur claire et sa forte densité, au contraire des tissus du phloème rose et tendre et de l'écorce brun et tendre (figure 11). Le lambeau d'écorce sera ensuite soulevé, puis découpé en poussant le ciseau le long du pli d'écorce et en faisant légèrement pivoter l'axe du ciseau

(figures 12A à 12D). Le résultat de l'intervention est une fenêtre ménagée dans l'écorce qui laisse à nu une petite zone de cambium demeuré intact. Sur cette zone de cambium clair apparaissent les traces arrondies des épïcormiques de couleur plus gris-brun (figures 12D à 12F).

5. La sécurité des opérateurs nécessite l'emploi de personnels habilités à grimper (qualification d'ouvrier élagueur) et de tout le matériel réglementaire : équipements de protection individuelle et matériel de grimpage.

### Conclusion

Enlever les épïcormiques en prenant soin de n'oublier aucun bourgeon améliore indiscutablement la qualité future des troncs. Pour que l'opération soit rentable, il ne faut pas penser émonder-ébourgeonner tous les peuplements, mais seulement les plus « beaux » et, au sein de ces peuplements, seulement les arbres de meilleure qualité. Ce conseil va de pair avec les prescriptions déjà fournies dans les guides de sylviculture : bien sélectionner les arbres objectifs dès que la phase de qualification est terminée, sur la base de critères de vigueur et de qualité de la bille de pied, notamment un nombre réduit d'épïcormiques, incluant les bourgeons latents. Les arbres doivent être jeunes (en sortie de la phase de compression), alors que l'écorce est encore lisse et les épïcormiques facilement repérables. La hauteur optimale à travailler n'a pas été déterminée et devra faire l'objet de nouveaux tests.

**Gwénaëlle Gibaud<sup>1</sup>**

**Francis Colin<sup>2, 3</sup>**

**Alix Reisser<sup>4</sup>**

**Roland Martin<sup>5</sup>**

**Jean-Baptiste Morisset<sup>2, 3</sup>**

**Frédéric Mothe<sup>2, 3</sup>**

**Bruno Garnier<sup>2, 3</sup>**

**Jialin Song<sup>2, 3</sup>**

**James Wright<sup>6</sup>**

**Matthieu Mauvezin<sup>6</sup>**

**Hanitra Rakotoarison<sup>7</sup>**

### Remerciements

Nous remercions Catherine Chaton et Jean-Paul Guyon à l'origine de l'installation de l'expérimentation en forêt domaniale du Perche et de la Trappe ainsi que les personnels et stagiaires de l'ONF ayant participé au suivi de cet essai : Brigitte Pilard-Landeau, Jérôme Piat, Dominique Hergibo, Jean-Marie Allouard, Didier Moulard, Jean-Yves Raux, Claude Leroux et Zénon Beauvallet.

Nous remercions également Yves Ehrhardt professeur de sylviculture à AgroParisTech (APT) qui a mis à notre disposition la parcelle 19 en forêt APT de Brin, forêt dont il a la gestion.

### Bibliographie

Boukadida H., Longuetaud F., Colin F., Mothe F., Leban JM., 2012. PithExtract: a robust algorithm for pith detection in computer tomography images of wood - application to 125 logs from 17 tree species. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 85 pp. 90-98

Büsgen M., 1897. *Bau und Leben unserer Waldbäume*. Gustav Fisher Ed. Jena.

Colin F., Mothe F., Freyburger C., Morisset JB, Fontaine F., Leban JM., 2010. Tracking rameal traces in sessile oak trunks with X-ray computer tomography: biological bases, preliminary results and perspectives. *Trees* 24 : 953-96

.../...

<sup>1</sup> ONF, Département RDI – pôle de Compiègne (désormais : UT de Modane, Savoie)

<sup>2</sup> INRA, UMR 1092 LERFoB, Champenoux (54280)

<sup>3</sup> AgroParisTech, UMR 1092 LERFoB, Nancy

<sup>4</sup> Stage INFOMA juillet 2011. Actuellement : DDT de Seine-et-Marne

<sup>5</sup> Stage INFOMA juillet 2012. Actuellement : IGN Antenne de Nancy

<sup>6</sup> ONF, Direction territoriale Lorraine

<sup>7</sup> ONF Département RDI – pôle de Fontainebleau

Detrie M., 1900. La végétation gourmande. La forme générale de l'arbre dans ses rapports avec le mode de traitement. Bulletin de la Société Forestière de Franche-Comté. Juin. Pp. 443-478

Duchateau E., Longuetaud F., Mothe F., Ung C., Auty D., Achim A., 2013. Modelling knot morphology as a function of external tree and branch attributes. Canadian Journal of Forest Research, vol. 43 n° 3, pp. 266-277

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., Mothe F., Colin F., Duplat P., 2004. Structural relationships between the epicormic formations on trunk surface and defects induced in the wood of *Quercus petraea*. Trees – Structure and Function, vol. 18 pp. 295–306

Freyburger C., Longuetaud F., Mothe F., Constant T., Leban J.-M., 2009. Measuring wood density by means of X-ray computer tomography. Annals of Forest Science, vol. 66 p.804

Gibaud G. 2009. Élagage de gourmands dans une jeune futaie de Chêne sessile. Compte-rendu final des mesures 1988-2008. ONF, 9 p.

Gibaud G., Colin F., Garnier B., Rakotoarison H., Reisser A., Martin R., Morisset J.-B., Mothe F., 2013. Émondage – ébourgeonnage des chênes. Présentation au séminaire des chargés de sylviculture de Lorraine – 11 septembre 2013. 38 diapos.

Jarret, 2004. Chênaie atlantique. Guide des sylvicultures. ONF Ed. Lavoisier.

Kerr G., Harmer R., 2001. Production of epicormic shoots on oak (*Quercus robur*): effects of frequency and time of pruning. Forestry, vol. 74 pp. 467-477

Longuetaud F., Mothe F., Leban J.-M. 2007. Automatic detection of the heartwood/sapwood boundary within Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) logs by means of CT images. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 58 pp. 100-111

Longuetaud, F., Caraglio, Y. 2009. Pith: a marker of primary growth in *Picea abies* (L.) Karst. Trees – Structure and Function, vol. 23 pp. 325-334

Longuetaud F., Mothe F., Kerautret B., Krähenbühl A., Hory L., Leban J.M., Debled-Rennesson I., 2012. Automatic knot detection and measurements from X-ray CT images of wood: A review and validation of an improved algorithm on softwood samples. Computers and Electronics in Agriculture, vol. PP. 85, 77-89.

Longuetaud F., Mothe F., Santenoise P., Colin F., Freyburger C., Borianne P., Deleuze C., 2014. RenDez-Vous techniques de l'ONF n° 44 – ONF pp. 57-64

Mer E., 1872. De l'origine et du développement des bourgeons dormants dans les végétaux ligneux dicotylédons. Extrait du Bulletin de la Société Botanique de France. Séance du 27 décembre 1872, 1. XIX pp. 329-343

Michelot A., Simard S., Rathgeber C., Dufrêne E., Damesin C., 2012. Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. Tree Physiology vol. 32 pp. 1033-1043

Morisset J.-B., Mothe F., Bock J., Bréda N., Colin F., 2012a. Epicormic ontogeny in *Quercus petraea* constrains the highly plausible control of epicormic sprouting by water and carbohydrates. Annals of Botany Vol. 109 pp. 365-377

Morisset J.-B., Mothe F., Chopard B., François D., Colin F., 2012 b. Does past emergence of epicormic shoots control current composition of epicormic types? Annals of Forest Science Vol. 69 pp. 139-152

Morisset J.-B., Mothe F., Colin F., 2012c. Observation of *Quercus petraea* epicormics with X-ray CT reveals strong pith-to-bark correlations: Silvicultural and ecological implications. Forest Ecology and Management, vol. 278 pp. 127-137

Roussel J.-R., Mothe F., Krähenbühl A., Kerautret B., Debled-Rennesson I., Longuetaud F., 2014. Automatic knot segmentation in CT images of wet softwood logs using a tangential approach. Computers and Electronics In Agriculture, vol. 104, pp. 46-56

Sardin T., 2008. Chênaies continentales. Guide des sylvicultures. ONF Ed.

Svejgaard J., 1993. Formation des épïcormiques dans de jeunes peuplements de chêne pédonculé. Université royale vétérinaire et d'agriculture. Institut danois de recherche sur la forêt et le paysage. Recherche n° 4-1993, 105 p. [en danois, résumé en anglais].

## Une strate herbacée monopoliste : quelle concurrence vis-à-vis de l'eau pour le peuplement adulte ?

L'adaptation des forêts aux changements climatiques est un enjeu crucial pour l'avenir. Sachant que, dans bien des cas, il faudra faire face à un problème de disponibilité en eau, une des stratégies consisterait à diminuer la densité des peuplements forestiers pour limiter le stress hydrique. Mais si, profitant de la réduction du couvert arboré, la strate herbacée explosait et exacerbait la concurrence ? Où placer le curseur ? Deux expérimentations d'Irstea donnent quelques indications pour les espèces du sous-bois dites monopolistes.

**D**ans un contexte de changements climatiques, avec une augmentation généralisée des températures et une réduction de la pluviométrie dans bien des régions, la disponibilité de la ressource en eau devient un paramètre essentiel pour la productivité et la stabilité d'un peuplement. Or les arbres adultes ne sont pas les seuls utilisateurs de cette ressource. Les écosystèmes forestiers ont une structure verticale où il est possible de distinguer plusieurs strates et où la strate herbacée, notamment, tient une place non négligeable.

Définie comme la végétation dont la hauteur est inférieure à deux mètres, cette strate atteint en moyenne un recouvrement supérieur à 70 % de la surface de sol dans 36 % des points de l'inventaire forestier (32725 points, © IGN 2014) et même dans 71 % des points sous pin maritime. Dans certains cas, elle est dominée par une ou quelques espèces dites monopolistes en raison de leur forte capacité à accaparer l'espace et les ressources du milieu. Quelles sont alors la consommation en eau et la réponse physiologique face à un stress hydrique d'une strate herbacée

monopoliste ? Comment limiter son impact sur la ressource hydrique pour la strate arborée ?

Pour répondre à ces problématiques, nous avons installé deux expérimentations. La première, en forêt domaniale d'Orléans dans des peuplements adultes purs de chênes sessiles, a consisté à suivre la teneur en eau du sol et les conditions microclimatiques le long d'un gradient (20 dispositifs) de densité foliaire arborée en présence ou en absence (désherbage) de la strate herbacée (photo 1).



Centre Irstea, Nogent-sur-Vernisson

1 – Exemple d'un dispositif installé en forêt domaniale d'Orléans dans un peuplement pur de chêne sessile. Il est composé de deux placettes dont l'une est colonisée par un tapis de molinie et l'autre est désherbée pour mesurer l'effet de la strate herbacée.

Le travail a permis de déterminer la contribution de cette strate herbacée dans la consommation en eau du peuplement. La seconde expérimentation en conditions semi-contrôlées a permis de caractériser finement la transpiration de quatre espèces réputées monopolistes de nos sous-bois : la fougère aigle, la callune, la ronce et la molinie (photo 2). Les quatre espèces ont été cultivées en pot sous différentes modalités de disponibilité en eau du sol.

### La contribution de la strate herbacée dans le bilan hydrique

La strate herbacée contribue au même titre que la strate arborée au bilan hydrique (encadré 1) d'un peuplement à travers sa consommation en eau et l'interception des pluies. Ainsi, la strate herbacée joue un rôle sur la ressource hydrique avec potentiellement des conséquences pour la croissance et l'état sanitaire des arbres.

### Contribution aux flux hydriques entrants

L'interception des pluies par la végétation limite le rechargement de la ressource hydrique du sol, l'eau interceptée par les feuilles étant directement évaporée. Ce phénomène, bien connu et quantifié pour de nombreuses essences forestières (Barbier *et al.*, 2009), reste méconnu en ce qui concerne les espèces de la strate herbacée. Les quelques chiffres disponibles indiquent par exemple que la fougère aigle intercepterait 12 % des pluies incidentes (Gash and Stewart, 1977) et un couvert de graminée 4-5 % (Schnock, 1970 in Aussenac, 2000). Les mesures que nous avons effectuées en forêt domaniale d'Orléans montrent que pour des pluies incidentes d'intensité inférieure à  $8 \text{ mm.h}^{-1}$  (pluie faible, Météo France), l'interception est de 37 % par le chêne sessile et de 31 % par la fougère aigle à surface foliaire égale (LAI de 3; encadré 2). Cependant, une partie de ces pluies interceptées

peut s'écouler le long des troncs et tiges de fougère aigle et atteindre le sol. À titre d'exemple, l'écoulement facilité le long des troncs des arbres décidus représente 5,4 % des pluies incidentes sur l'ensemble de la saison de végétation (Barbier *et al.*, 2009). Notre système de mesure de l'interception des pluies donne une indication de la proportion des pluies qui n'atteignent pas directement le sol, il ne nous permet pas de distinguer les pluies s'écoulant ensuite le long des troncs et tiges de l'interception nette des pluies (pluie n'arrivant jamais au sol).

### Contribution aux flux hydriques sortants

D'une manière générale, la présence de la strate herbacée accentue significativement la diminution du stock d'eau disponible dans le sol. Sur les vingt dispositifs installés en forêt domaniale d'Orléans, lorsque la strate herbacée est supprimée, la teneur en eau du sol à 15 centimètres de



Centre Irtsea, Nogent-sur-Vernisson

2 – Expérimentation en conditions semi-contrôlées pour suivre et mesurer la transpiration des quatre espèces étudiées

#### 1 – Bilan hydrique

Le bilan hydrique correspond à l'évaluation du volume d'eau du sol disponible pour les plantes d'un écosystème résultant des flux d'eau entrants et des flux d'eau sortants. Les flux entrants sont principalement la pluviométrie mais aussi la montée de nappe phréatique. Les flux sortants sont l'évaporation du sol, la transpiration des végétaux, le drainage et le ruissellement. La pluviométrie peut être à la fois un flux entrant et sortant. Une partie de la pluie incidente atteint le sol directement ou indirectement via l'écoulement facilité le long des végétaux (flux entrant). À l'inverse, une seconde partie des pluies est interceptée sur le feuillage et les tiges puis évaporée (flux sortant). Le bilan hydrique se calcule comme la différence entre ces flux entrants et sortants par rapport à un niveau initial d'eau contenu dans le sol. Le bilan hydrique peut se modéliser à l'aide de données climatiques et pédologiques ou être mesuré directement à l'aide de sonde d'humidité du sol à un instant  $t$ , par exemple.

#### 2 – Indice foliaire (LAI)

La densité d'un peuplement peut être appréciée de différentes manières telles que la surface terrière, le nombre de tiges par hectare, etc. mais aussi par le LAI (Leaf Area Index en anglais, Indice Foliaire en français). Cette notion correspond au rapport entre la somme de la surface (prise d'un seul côté) de toutes les feuilles de la strate arborée et la surface de sol occupée par le peuplement (en  $\text{m}^2$  de feuilles par  $\text{m}^2$  de sol, donc sans dimension). Si toutes les feuilles étaient horizontales et ne se chevauchaient pas, un LAI de 1 signifierait donc que le sol serait virtuellement « recouvert » en totalité par une couche de feuilles. Le LAI peut être mesuré directement à l'aide de bacs récupérateurs de litière d'une surface connue ou de manière indirecte avec des photographies hémisphériques et des capteurs de lumière, par exemple.

profondeur décroît 1,3 fois moins vite qu'en présence de la strate herbacée en fin d'été (Août-Septembre, période généralement la plus sèche en forêt domaniale d'Orléans). Par ailleurs, nos résultats montrent un prélèvement préférentiel de la ressource en eau du sol jusqu'à 50 cm de profondeur pour la fougère aigle contre 15 cm pour un couvert de molinie. Cela peut s'expliquer à la fois par la capacité de prospection racinaire différente des deux espèces (réseau de rhizome à deux étages pour la fougère aigle et fasciculé depuis la surface pour la molinie) et par les caractéristiques stationnelles différentes des peuplements se développant sur ptériaie ou molihaie. En effet, les profils de sol de la forêt d'Orléans se caractérisent par la différenciation d'une formation sableuse en surface et d'une formation argileuse en profondeur (planosol). Sur nos dispositifs, l'apparition de la formation argileuse est en moyenne à 65 cm de profondeur pour les peuplements colonisés par la fougère aigle contre 38 cm de profondeur pour les peuplements colonisés par la molinie.

Pendant la saison de végétation, la strate herbacée contribue en moyenne pour un tiers à l'évapotranspiration totale du peuplement

(Gobin, 2014). Selon certains auteurs, cette contribution est ponctuellement plus élevée avant la fermeture de la canopée par le développement complet des feuilles (Vincke and Thiry, 2008; Iida *et al.*, 2009) et en période de sécheresse où des cas avérés ont montré que la transpiration de la strate herbacée continue alors que celle des arbres est déjà stoppée (Roberts *et al.*, 1980; Hamada *et al.*, 2004). Par la suite, le stress hydrique pour les arbres pourrait être à la fois accentué et plus précoce en présence d'une strate herbacée.

### Facteurs influençant la consommation en eau de la strate herbacée

Comme pour tout être vivant, la transpiration des plantes résulte de phénomènes physiques impliquant notamment le rayonnement, la température, l'humidité relative de l'air et le vent. L'ensemble est résumé par le terme « demande climatique » qui traduit le fait que plus le rayonnement, la température, la vitesse du vent sont élevés et l'humidité relative de l'air faible, et plus la transpiration des plantes est potentiellement élevée. Cette demande peut s'exprimer par une variable condensée, le déficit de saturation de l'air en vapeur d'eau (VPD) qui est fonction de la tempé-

rature (et donc du rayonnement) et de l'humidité relative de l'air.

La demande climatique pour la strate herbacée est conditionnée par les conditions microclimatiques du sous-bois qui sont elles-mêmes contrôlées par la canopée (Aussenac, 2000) (Figure 1). Selon l'essence, la structure du peuplement et la densité de la canopée, les ressources disponibles (lumière, pluviométrie) dans le sous-bois sont différentes. Lorsque la densité de la canopée, appréciée par l'indice foliaire (LAI, encadré 2), diminue, l'effet tampon de la canopée sur les conditions atmosphériques dans le sous-bois diminue également ce qui se traduit par une demande climatique plus élevée (figure 1). En parallèle, la disponibilité accrue des ressources en sous-bois favorise le développement de la strate herbacée, notamment d'espèces monopolistes telles que fougère aigle, molinie, callune ou ronce pour la forêt domaniale d'Orléans (Gaudio *et al.*, 2011b). La combinaison des deux conduit à une augmentation de la consommation en eau de la strate herbacée aux faibles densités de la canopée (figure 2). En effet, la consommation d'un tapis de molinie est multipliée par 3,3 entre une chênaie avec un LAI de 6 et une autre avec un LAI de 3.

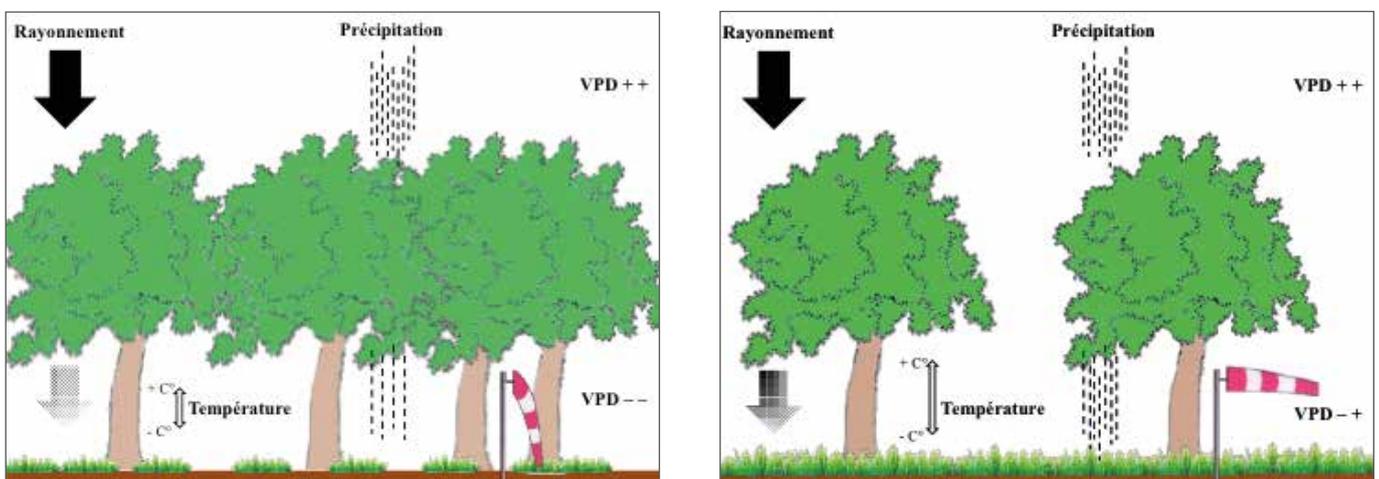


Fig. 1 : contrôle des conditions microclimatiques et de la demande climatique (VPD) dans le sous-bois par une canopée des arbres dense (gauche) et plus éparse (droite)

### Comportement de quatre espèces de la strate herbacée sous un stress hydrique

Les différences entre espèces de la strate herbacée sont de deux ordres : leur consommation en eau journalière, estimée par l'évapotranspiration (figure 2), et leur stratégie en période de stress hydrique. Le stress hydrique subi par une plante peut être lié à une disponibilité limitée de la ressource en eau du sol, d'une part, ou à une demande climatique trop élevée d'autre part et que la plante ne peut plus étancher.

#### Un comportement différent de celui des arbres

La régulation stomatique correspond à un contrôle de la transpiration des plantes dépendant de l'espèce et de sa sensibilité à un stress hydrique. Ce phénomène implique la fermeture des stomates des plantes lorsque la disponibilité en eau se réduit. Or, dans la littérature, il est souvent mentionné une régulation stomatique de la strate herbacée plus faible que celle de la strate arborée, notamment pour des peuplements du genre *Pinus* (Roberts et al., 1984; Jarosz et al., 2008). Cela signifie que la strate herbacée continue de consommer de l'eau alors que les arbres contrôlent plus précocement leur transpiration sous un stress hydrique.

#### Un comportement différent entre espèces de la strate herbacée

La sensibilité de la strate herbacée à un stress hydrique dépend de l'identité des espèces qui la composent. D'une manière générale, nos résultats montrent que les quatre espèces étudiées n'arrêtent pas totalement leur transpiration, même sous des stress hydriques importants, mais des différences entre espèces sont notables. Lorsque la ressource en eau du sol devient limitante (en-dessous de 40 % de la réserve utile en eau, RU), la molinie et la ronce divisent leur transpiration par trois, la fougère aigle par deux, mais la callune seulement par 1,6. De même, lorsque

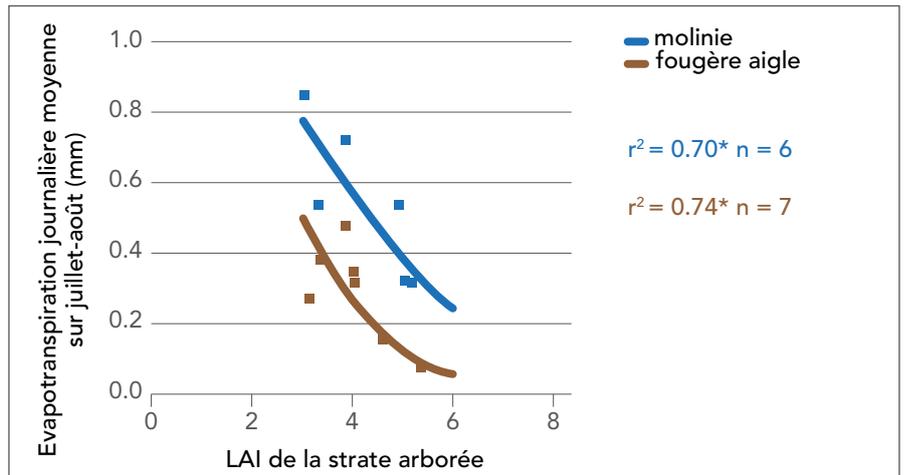


Fig. 2 : évapotranspiration journalière estivale (moyenne sur Juillet-Août) d'un tapis continu de molinie (trait bleu) ou de fougère aigle (trait orange) pour un sol bien alimenté en eau selon la densité du couvert (LAI) des peuplements de chêne sessile en forêt domaniale d'Orléans

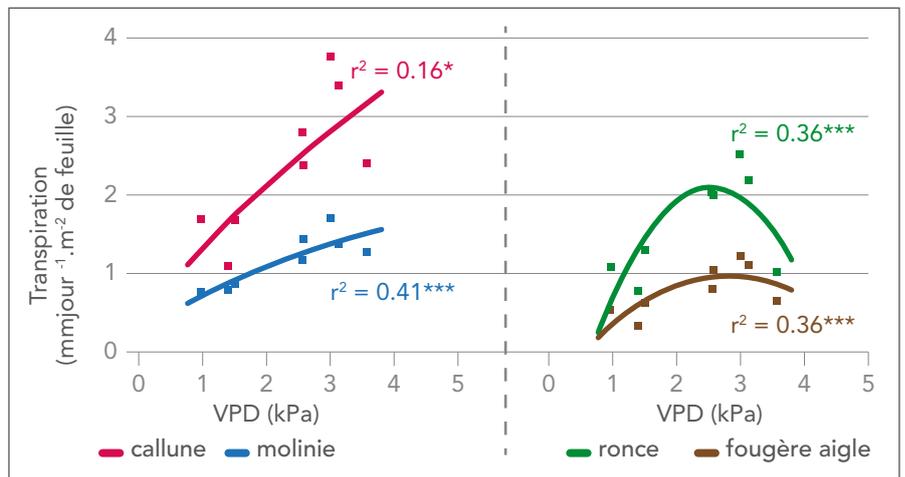


Fig. 3 : transpiration de la molinie et de la callune (à gauche), de la fougère aigle et de la ronce (à droite) en réponse à l'augmentation de la demande climatique (VPD) dans des conditions non limitantes d'alimentation en eau et sous un éclairage relatif de 70 %

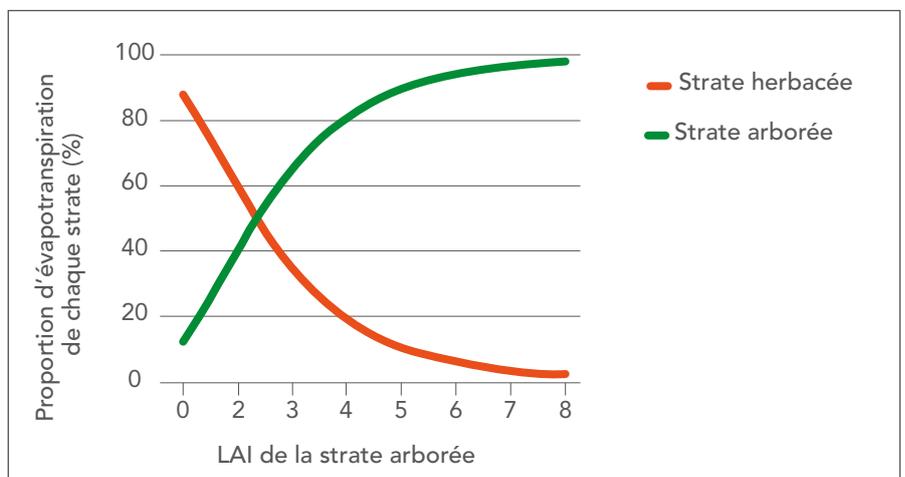


Fig. 4 : évapotranspiration relative de la strate herbacée et de la strate arborée en fonction du LAI de la strate arborée

la demande climatique devient très élevée en condition hydrique non limitante, la fougère aigle et la ronce réduisent leur transpiration contrairement à la callune et à la molinie dont la transpiration continue d'augmenter sous l'effet de la demande climatique croissante (figure 3). Par ailleurs, la fougère aigle et la molinie peuvent réguler leur transpiration par la réduction de leur surface transpirante : sous un stress hydrique, la molinie enroule ses feuilles et la fougère aigle entre en senescence précoce. Lorsque l'épisode de stress hydrique (hors stress hydrique tardif) est fini, la fougère aigle est capable de produire de nouvelles frondes.

Les quatre espèces adoptent donc des stratégies plus ou moins conservatrices de la ressource en eau. La callune présente la stratégie la plus dépensière de la ressource hydrique

avec une faible régulation de sa transpiration. Selon l'espèce qui compose le sous-bois, les conséquences pour le peuplement lors d'un stress hydrique seront différentes.

### Quelle gestion pour préserver la ressource hydrique ?

Dans la mesure où on s'attend à des problèmes accrus de ressource en eau dans les prochaines décennies, au moins dans certaines régions métropolitaines, une des orientations sylvicoles consisterait à réduire le nombre de tiges par hectare de la strate arborée pour diminuer la consommation en eau du peuplement (Spiecker, 2003 ; van der Maaten, 2013). Cependant, nos résultats montrent que la consommation en eau de la strate herbacée, lorsqu'elle est présente, augmente

avec la diminution du LAI des arbres, compromettant ainsi le bénéfice de la réduction de la densité des arbres. Mais, aussi bien l'analyse de la bibliographie (Gobin, 2014) que nos résultats en forêt domaniale d'Orléans montrent l'existence d'une valeur seuil de densité du peuplement en dessous de laquelle la consommation en eau de la strate herbacée augmente fortement : cette valeur seuil du LAI est d'environ 2-4 pour le chêne sessile en forêt d'Orléans (voir aussi encadré 3). Ce phénomène est principalement lié à une forte augmentation de la demande climatique (rayonnement notamment) dans le sous-bois et non à l'augmentation du couvert de la strate herbacée. À ce niveau d'éclairement (30-45 % d'éclairement relatif dans le sous-bois pour les peuplements de chênes sessiles étudiés), le recouvrement de la strate herbacée est déjà maxi-

### 3 – Utilisation de l'indice foliaire (LAI) en gestion ?

(Claudine Richter, ONF)

La réduction de la densité des peuplements forestiers fait partie des solutions en cours d'étude pour l'adaptation des peuplements au stress hydrique (sécheresse estivale).

Le travail présenté, dans le cas de la chênaie acidiphile plus ou moins hydromorphe en forêt d'Orléans, montre que la marge d'action possible est loin d'être évidente compte tenu de la consommation en eau de la strate herbacée, dont le développement est lié à la densité du couvert arboré (mesurée par le LAI). Dans ces chênaies, Irstea a prospecté une gamme de LAI large de 2,4 (situation « extrême » de petites trouées) jusqu'à 6,5 pour des valeurs de surface terrière d'environ 10 à 28 m<sup>2</sup>/ha. Si on se réfère à la plage de valeur seuil de LAI de 2 à 4 établie dans l'étude, cela suggère qu'il est possible, au-dessus de ce seuil, de piloter le couvert pour limiter les risques de déficit hydrique. D'après les relations établies par Balandier *et al.* (2006) entre surface terrière et lumière pour le chêne, cette plage seuil de LAI correspondrait à une plage de surface terrière comprise entre 8 et 18 m<sup>2</sup>. Cela signifierait qu'au-dessus de 20 m<sup>2</sup> de surface terrière, on contrôlerait l'effet de la végétation. Le guide ONF des sylvicultures des chênaies atlantiques, qui préconise chez les peuplements adultes un capital sur pied de l'ordre de 20 à 23 m<sup>2</sup> en fertilité 3, aurait déjà quasiment utilisé la marge d'adaptation... Cependant ces estimations restent à très gros grain et nécessitent d'être prudent dans les interprétations sylvicoles.

#### Plus généralement, considérations sur l'intérêt du LAI pour la gestion

Les mesures d'indice foliaire sont pertinentes en recherche, le LAI étant un paramètre intégrateur du fonctionnement écophysologique d'un peuplement (Bréda *et al.*, 2002) ; elles

sont donc particulièrement intéressantes eu égard aux changements climatiques. Mais elles restent lourdes et difficiles à mettre en œuvre pour le gestionnaire. D'où le besoin de disposer de relations entre LAI du couvert arboré et caractéristiques dendrométriques des peuplements mesurables en gestion (âge, surface terrière, nombre de tiges/ha...) pour permettre des interprétations sylvicoles. Or en 2013, un groupe de travail du RMT AFORCE\* (groupe sur la gestion de l'eau dans la sylviculture des peuplements existants) a dressé ce constat : de telles relations ne sont encore disponibles que pour des cas bien trop restreints et, surtout, ni leur robustesse ni leur généralité ne sont éprouvées.

Le travail est en effet ardu car le LAI varie non seulement entre espèces et types de peuplements mais aussi, dans une même parcelle, au cours de l'année et entre les années (selon les coupes, l'état sanitaire...), et de manière non linéaire par rapport au nombre de tiges ou à la surface terrière. Un nouveau projet de recherche\*\* va analyser un jeu de données de LAI acquises récemment par le RMT AFORCE sur 33 dispositifs de chênes ou de douglas issus de différents réseaux expérimentaux pluri-organismes, chacun étudiant des modalités sylvicoles contrastées de futaie régulière. L'objectif est de préciser dans quelles circonstances les relations statistiques entre LAI et grandeurs dendrométriques peuvent être utilisées, avec quelle précision ou corrections.

\* Réseau mixte technologique « Adaptation des forêts au changement climatique », associant des établissements de recherche, formation et gestion forestière (dont l'ONF) <http://www.reseau-aforce.fr/>

\*\* Le projet IFASYL, financé par le Labex Arbre (appel 2015) et porté par Nathalie Bréda (INRA UMR Écologie et Écophysologie Forestières)

mal pour les espèces considérées (Gaudio *et al.*, 2011a). À l'inverse, tant que le LAI des arbres reste supérieur à 2-4, la consommation en eau de la strate herbacée est limitée et la diminution du nombre d'arbres sur pied demeure bénéfique (figure 4).

En conclusion, ces résultats montrent la nécessité de considérer la végétation du sous-bois dans la gestion sylvicole, notamment lorsque la ressource hydrique est limitante et dans la perspective des changements de climat. Ainsi, la réduction de la densité de la strate arborée doit être un compromis entre la réduction de la surface foliaire des arbres pour réduire l'évapotranspiration globale de l'écosystème forestier, et le maintien d'une densité suffisante de la strate arborée pour limiter le développement et la transpiration de la strate herbacée.

**Rémy Gobin**

**Philippe Balandier**

**Nathalie Korboulewsky**

**Yann Dumas**

**Vincent Seigner**

Irstea, Centre de Nogent-sur-Vernisson  
UR Écosystèmes Forestiers (EFNO)  
[remy.gobin@irstea.fr](mailto:remy.gobin@irstea.fr)

**Claudine Richter**

ONF, département RDI

## Remerciements

Ces travaux ont été réalisés avec le soutien financier de la région Centre et de l'Office national des forêts (département Recherche, Développement et Innovation) et la mise à disposition de parcelles en forêt domaniale d'Orléans.

## Bibliographie

Aussenac G., 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science* vol 57, pp. 287-301

Balandier P., Sonohat G., Sinoquet H., Varlet-Grancher C., Dumas Y., 2006. Characterisation, prediction and relationships between different wavebands of solar radiation transmitted in the understorey of even-aged oak (*Quercus petraea*, *Q. robur*) stands. *Trees*, vol 20/3 pp. 363-370

Barbier S., Balandier P., Gosselin F., 2009. Influence of several tree traits on rainfall partitioning in temperate and boreal forests: a review. *Annals of Forest Science* vol 66, pp. 602-602

Bréda N., Soudani K., Bergonzini J. C., 2002. Mesure de l'indice foliaire en forêt. GIP-ECOFOR ed., ISBN 2-914770-02-2

Gash J.H.C., Stewart J.B., 1977. The evaporation from Thetford Forest during 1975. *J. Hydrol.* 35, 385-396.

Gaudio N., Balandier P., Dumas Y., Ginisty C., 2011a. Growth and morphology of three forest understorey species (*Calluna vulgaris*, *Molinia caerulea* and *Pteridium aquilinum*) according to light availability. *Forest Ecology and Management* vol 261, pp. 489-498

Gaudio N., Balandier P., Dumas Y., Ginisty C., 2011b. Régénération naturelle du pin sylvestre sous couvert : contrainte de la végétation monopoliste de sous-bois en milieu acide. *Rendez-vous techniques ONF* n° 33-34, pp. 18-24

Gobin R., 2014. Contribution relative de la végétation du sous-bois dans la consommation en eau des placettes forestières soumises aux changements de climat et de pratiques. In thèse de doctorat, Université d'Orléans, Irstea Nogent-sur-Vernisson, France, 148 p.

Hamada S., Ohta T., Hiyama T., Kuwada T., Takahashi A., Maximov T.C., 2004. Hydrometeorological behaviour of pine and larch forests in eastern Siberia. *Hydrological Processes* vol 18, pp. 23-39

Iida S.i., Ohta T., Matsumoto K., Nakai T., Kuwada T., Kononov A.V., Maximov T.C., van der Molen M.K., Dolman H., Tanaka H., Yabuki H., 2009. Evapotranspiration from understorey vegetation in an eastern Siberian boreal larch forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol 149, pp. 1129-1139

Jarosz N., Brunet Y., Lamaud E., Irvine M., Bonnefond J.-M., Loustau D., 2008. Carbon dioxide and energy flux partitioning between the understorey and the overstorey of a maritime pine forest during a year with reduced soil water availability. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 148, pp. 1508-1523

Roberts J., Pymar C.F., Wallace J.S., Pitman R.M., 1980. Seasonal Changes in Leaf Area, Stomatal and Canopy Conductances and Transpiration from Bracken Below a Forest Canopy. *Journal of Applied Ecology*, vol 17, pp. 409-422

Roberts J., Wallace J.S., Pitman R.M., 1984. Factors Affecting Stomatal Conductance of Bracken Below a Forest Canopy. *Journal of Applied Ecology*, vol 21, pp. 643-655

Spiecker H., 2003. Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe-temperate zone. *Journal of Environmental Management*, vol 67, pp. 55-65

van der Maaten E., 2013. Thinning prolongs growth duration of European beech (*Fagus sylvatica* L.) across a valley in southwestern Germany. *Forest Ecology and Management* vol 306, pp. 135-141.

Vincke C., Thiry Y., 2008. Water table is a relevant source for water uptake by a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand: Evidences from continuous evapotranspiration and water table monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol 148, pp. 1419-1432

## Le protocole mycologique du programme GNB : cadre méthodologique et retour d'expérience

*L'étude de la biodiversité et surtout de son évolution sous l'effet de divers facteurs suppose de disposer d'inventaires fiables, réalisés selon des protocoles rigoureux sans lesquels les analyses complexes n'auraient pas de base légitime. Pour certains compartiments de la biodiversité, de tels protocoles ont été mis au point de longue date. Pour d'autres, plus difficiles à appréhender, c'est un thème de collaboration nouveau et nécessaire entre chercheurs et naturalistes. C'est le cas du protocole mycologique du programme « Gestion, naturalité, biodiversité », qui combine une grande exigence et des aspects très terre-à-terre.*

L'extension raisonnée du réseau de réserves intégrales/biologiques forestières est une des mesures d'application de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité; cette mise en libre évolution des peuplements a vocation à restaurer des composantes de l'écosystème forestier tronquées par la sylviculture, et donc permettre de conserver la biodiversité associée. Toutefois, les différences de biodiversité entre les forêts exploitées et les réserves biologiques sont peu décrites dans la littérature, concernent surtout les milieux boréaux et souffrent de problèmes méthodologiques (Paillet et al., 2010). Face à ce constat, le projet de recherche « Gestion forestière, Naturalité et Biodiversité » (GNB, 2008-2016) piloté par Irstea, a pour objectif principal d'étudier l'impact de l'arrêt de l'exploitation forestière sur la structure des peuplements et sur la diversité des espèces qu'ils hébergent.

Ce projet s'appuie sur la comparaison de la structure dendrométrique et de la composition de différents groupes taxonomiques entre des placettes en forêt « gérée » avec leur pendant « en réserve, sans exploitation depuis au moins 20 ans ». Le plan d'échantillonnage comprend 213 placettes réparties dans 15 massifs forestiers dont 9 en hêtraie-chênaie-charmaie de plaine

et 6 en hêtraie-sapinière-pessière de montagne. En matière dendrométrique, c'est tout naturellement le « Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières » (PSDRF; Bruciamacchie, 2005) légèrement adapté qui a été utilisé. Pour quantifier et mieux comprendre la réponse de la biodiversité à l'arrêt des coupes, 7 groupes taxinomiques ont été retenus : bryophytes, champignons, plantes vasculaires, coléoptères saproxyliques et carabiques, oiseaux et chauve-souris. Si l'acquisition des données de biodiversité a pu s'appuyer sur des protocoles existants pour certains taxons, dans le cas des mousses et champignons il a fallu

concevoir et tester des protocoles originaux. Pour les champignons, ce travail s'est fait en collaboration entre les chercheurs et le réseau Mycologie de l'ONF, qui par la suite a réalisé les relevés mycologiques.

L'objet du présent article est de présenter le protocole d'inventaire mycologique à travers la démarche de conception, depuis la réflexion initiale jusqu'au retour d'expérience de la phase opérationnelle de terrain. Les résultats écologiques feront l'objet d'une publication ultérieure après consolidation des analyses (pour une première série de résultats, voir Gosselin et al. 2014).



Gérald Gruhn, ONF

## Réflexions préalables

L'étude des champignons en forêt distingue classiquement les champignons du sol (terricoles) et ceux du bois (lignicoles). Les champignons terricoles sont mycorhiziens (associés aux racines des arbres) ou décomposeurs de la litière; la caractérisation du groupe trophique n'est d'ailleurs pas évidente à faire sur le terrain. Le nombre d'espèces est potentiellement très élevé (plus de 15 000), certains genres sont très difficiles à déterminer (Cortinaires, Russules...) et l'utilisation du microscope ne suffit pas toujours pour valider les identifications. Les champignons lignicoles sont en nombre plus restreint, de l'ordre de 2 500, et leur apparition est moins « capricieuse » que celle des terricoles (fugace et sensible à des conditions météorologiques très spécifiques). Certains groupes sont impossibles à déterminer à l'œil nu mais l'utilisation du microscope permet de valider les identifications. Ce constat (contraintes pratiques, problèmes de fiabilité des inventaires et par conséquent des analyses ultérieures), conduit à choisir les champignons lignicoles pour rendre compte de la

diversité fongique. L'échantillonnage des lignicoles pose beaucoup moins de problèmes méthodologiques que celui des terricoles; en outre, pour faire le lien avec des informations dendrométriques (volume et type de pièces de bois), il paraît logique de s'intéresser d'abord aux champignons qui sont inféodés à ces pièces de bois

## Analyse bibliographique : méthodes d'inventaire mycologique

Un constat s'impose : les publications scientifiques concernant les protocoles d'inventaire mycologique sont peu nombreuses. Nous avons concentré notre analyse bibliographique sur les études méthodologiques traitant des échantillonnages de champignons lignicoles par le relevé de leur fructification. Cette approche reste à l'heure actuelle la meilleure approximation de la richesse spécifique d'un site, malgré le développement prometteur (mais pas encore opérationnel) de méthodes faisant appel au séquençage de l'ADN fongique à partir d'échantillons de bois (Renvall, 1995; Rajala *et al.*, 2011).

Il en ressort essentiellement deux études qui font le point sur les méthodes existantes : Huhndorf *et al.* (2004) et Stokland *et al.* (2004), et dont nous pouvons résumer les principales recommandations ainsi :

- utiliser de grosses pièces de bois (de plus de 15 cm de diamètre) plutôt que des placettes comme unité d'échantillonnage;
- utiliser des petites placettes pour échantillonner les champignons sur de petits substrats (de moins de 15 cm de diamètre);
- noter des paramètres concernant les conditions stationnelles (type de forêt, zone climatique, altitude...);
- noter des informations sur la pièce de bois support : essence, nature (tronc, branche...), classe de diamètre, position et contact au sol, classe de décomposition;
- relier l'échantillonnage mycologique à l'inventaire dendrométrique;
- retenir que l'utilisation des polypores est préconisée dans la forêt boréale pour le suivi de la biodiversité fongique lignicole.

En France, le projet RESINE (Représentations Sociales et Intérêts Écologiques de la Nécromasse, Bouget *et al.*, 2009) s'est appuyé sur des placettes PSDRF en forêt de Rambouillet pour étudier le lien entre descripteur du bois mort et la biodiversité des champignons. Tous les champignons lignicoles sur bois de plus de 5 cm de diamètre, dont les corticiés, ont été inventoriés en trois passages sur 30 placettes. L'étude a mis en évidence la difficulté de rééchantillonner les mêmes pièces de bois d'un passage à l'autre lorsqu'on prend en compte les espèces corticioides dont la détermination nécessite un prélèvement susceptible d'être destructif. En conformité avec les recommandations précédentes, cette étude assez proche de notre problématique peut être considérée comme un « précédent » instructif légitimant l'idée d'adosser le protocole d'inventaire mycologique au PSDRF.

### Les champignons lignicoles

Le vocable de champignons lignicoles, c'est-à-dire qui poussent sur le bois, ne correspond pas à une coupure taxonomique; il recouvre des champignons macroscopiques appartenant au groupe des basidiomycètes et des ascomycètes. En revanche, les myxomycètes, tout lignicoles qu'ils soient, n'en font pas partie car, s'ils ont longtemps été rattachés au règne fongique, on sait maintenant qu'ils se rapprochent plutôt des protistes et appartiennent à un règne bien particulier défini récemment (Protozoa).

Parmi les basidiomycètes (dont les spores sont issues d'une baside, cellule en forme de « gourdin »), on distingue :

- les polypores, espèces coriaces dont la surface fertile est couverte de pores. Ces champignons peuvent se présenter sous formes diverses : avec un chapeau uniquement, avec un chapeau sur un pied, en touffes ou appliquées au bois (espèces résupinées). Quelques rares espèces sont pérennes : leurs chapeaux en consoles se développent pendant plusieurs années et sont persistants.
- les corticiés, espèces lignicoles généralement appliquées au bois (d'où le nom de « croûtes » qu'on leur donne aussi) à surface fertile lisse. Quelques-uns peuvent posséder un mince chapeau.
- les lamellés ou champignons à lames parmi les genres suivants : Armillaire, Collybie, Marasme, Mycène, Pholiote, Pleurote, Plutée...
- les autres basidiomycètes parmi les genres *Hericium*, *Lycoperdon*...

Parmi les ascomycètes (dont les spores sont contenues dans des asques) :

- les pyrénomycètes,
- autres ascomycètes lignicoles.

### Analyse bibliographique : études de champignons lignicoles

En Europe, un certain nombre d'études traitent d'une problématique proche du projet GNB. Malheureusement les protocoles mis en œuvre n'y sont pas toujours suffisamment détaillés pour qu'on puisse les discuter ou les reproduire.

En Scandinavie, parmi les nombreuses études sur les champignons lignicoles, nous avons trouvé deux publications qui se rapprochent du projet GNB. La première (Junninen 2006) compare les champignons lignicoles dans les forêts boréales de pins selon trois degrés d'intensité d'exploitation et cinq stades de succession. 41 sites ont été ainsi sélectionnés : 12 en forêt exploitée de façon intensive, 15 en forêt dite semi-naturelle et 14 en forêt dite naturelle. Dans chaque site sont inventoriées 10 placettes de 10 m de rayon (soit 314 m<sup>2</sup>). On y examine, en un passage, tous les supports vivants ou morts de plus de 5 cm de diamètre. Pour un site donné, les placettes de relevés mycologiques sont différentes des placettes de relevés dendrométriques. Le nombre total d'espèces lignicoles est de

195, correspondant à 60 polypores et 135 corticiés. L'auteur reconnaît que les inventaires de champignons basés seulement sur la présence de fructifications omettent les espèces qui ne fructifient pas à la période de l'inventaire même si elles sont présentes à l'état de mycélium. Il précise que l'inventaire des mycéliums avec des méthodes moléculaires sur des milliers de pièces de bois serait laborieux et très coûteux.

La seconde étude scandinave (Stokland et Larsson, 2011) concerne des forêts de pin et d'épicéa. On y compare des forêts exploitées sur 90 placeaux à des forêts non exploitées sur 34 placeaux. La surface des placeaux est de 5 000 m<sup>2</sup>. Dans chaque zone d'étude, on mesure les pièces de bois mort au sol de plus de 10 cm de diamètre et de plus de 60 cm de long et on caractérise le degré de dégradation puis on y inventorie les champignons en un seul passage. Le champ taxinomique comprend les polypores et les corticiés comme dans l'étude précédente. Le nombre de champignons lignicoles relevé est de 56 polypores et de 234 corticiés.

En Allemagne, une étude comparative a été conduite en hêtraie selon

trois modalités d'intensité de gestion : sylviculture intensive, sylviculture avec conservation de bois mort et réserve intégrale depuis au moins 30 ans (Müller *et al.*, 2007). On utilise des placettes dendrométriques circulaires de l'inventaire forestier de 1 000 m<sup>2</sup> où les données sur le bois mort ont été collectées. L'inventaire mycologique a concerné 69 placettes où toutes les pièces de bois mort de plus de 12 cm ont été examinées. Le champ taxinomique couvert comprend toutes les espèces lignicoles, sauf les corticiés et les polypores résupinés dont l'identification est jugée trop consommatrice de temps. Trois passages ont été réalisés dans l'année. Le nombre total d'espèces de champignons lignicoles est de 196 (dont 42 polypores à chapeau et 66 lamellés).

En Suisse, Küffer *et al.* (2007) ont étudié les champignons lignicoles, principalement les corticiés, sur les substrats de très faible diamètre (moins de 10 cm). L'étude concerne 86 placettes de 50 m<sup>2</sup>, réparties dans différents types de forêts soumises à différentes intensités de gestion : tous les supports de bois sont examinés en un seul passage et tous les petits débris ligneux sont emportés pour examen microscopique. 238 espèces ont été recensées dont 175 espèces corticioïdes et 32 polypores.

En Espagne, une étude comparable a été menée en 2012 dans les hêtraies du Pays Basque (Abrego et Salcedo, 2014) dans 150 placettes de 100 m<sup>2</sup>. Dans chaque placette, tous les débris de bois de plus de 0,2 cm de diamètre sont mesurés et classés par dimension et classe de décomposition. Ces débris sont examinés et tous les champignons basidiomycètes ou ascomycètes de plus de 1 mm sont emportés pour détermination. Les placettes sont parcourues une fois en automne entre septembre et début novembre. Au total sur 216 espèces, on a relevé une majorité de corticiés (131), 42 polypores, 20 lamellés, 3 autres basidiomycètes et 20 ascomycètes.



Patrick Blanchard, ONF

*Fistulina hepatica* – Langue de bœuf (basidiomycète, polypore)

## Principes retenus pour le protocole d'inventaire mycologique GNB

### Principes généraux

L'analyse des études publiées conforte le choix de réduire le champ taxinomique aux champignons lignicoles, la question à trancher étant plutôt de savoir s'il faut vraiment examiner toutes les espèces lignicoles ou si on peut se limiter aux polypores. D'après les études scandinaves, en effet, cela correspondrait à une liste restreinte d'espèces facilitant les déterminations et suffisamment longévives pour être facilement observées.

Ces études soulignent aussi le lien entre l'essence, les dimensions du support, l'état de décomposition et la diversité des champignons lignicoles, mais elles ne raccordent pas forcément l'inventaire mycologique à la caractéristique spécifique de la pièce de bois. Or les données du protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières (PSDRF) mis en œuvre dans l'étude GNB permettent, pour l'essentiel, de bien caractériser les supports. En outre, cet inventaire se fait sur des placettes de 20 m de rayon soit 1 250 m<sup>2</sup> : cette surface est supérieure à celle des placettes de l'étude suisse privilégiant les corticiés (50 m<sup>2</sup>). Elle est équivalente aux placettes de l'étude allemande privilégiant les lamellés et

les polypores à chapeau (1 000 m<sup>2</sup>). Elle est intermédiaire entre les surfaces retenues dans les deux études scandinaves qui prospectent les polypores et les corticiés (314 m<sup>2</sup> et 5 000 m<sup>2</sup>). Par ailleurs le PSDRF permet de suivre les recommandations de la littérature en ce qu'il augmente l'échantillonnage des gros bois (vivants debout) et en diminue celui des petits bois.

C'est pourquoi le premier principe retenu est bien d'adosser l'inventaire mycologique à l'inventaire dendrométrique PSDRF, c'est-à-dire de relever la diversité fongique lignicole pour les différents supports correspondants, moyennant quelques ajustements. Cette approche est plus précise que la plupart des études citées dans la bibliographie en ce sens qu'il y a une volonté de rattacher la donnée mycologique à la pièce de bois caractérisée. Restaient aussi à arbitrer le champ taxinomique du protocole, à définir la notion d'abondance, à calibrer en conséquence le temps à consacrer à chaque relevé, le nombre de personnes par équipe et enfin le nombre de passages sur chaque placette.

### Placette et pièces de bois

L'inventaire dendrométrique PSDRF (voir figure 1) associe, pour chaque placette :

- des relevés sur surface fixe (placette circulaire principale de 20 m de

rayon + sous-placettes de recensement petites tiges et régénération), pour l'échantillonnage des arbres vivants, des arbres morts debout (dont chandelles et souches de plus de 40 cm de haut) et des gros bois morts au sol ( $\varnothing \geq 30$  cm) ;

- des relevés sur surface variable : placettes à angle fixe, pour équilibrer la représentation des gros bois vivants ( $\varnothing \geq 30$  cm) ;
- et des relevés sur trois transects longs de 20 m, partant du centre de la placette et orientés à 0 grade, 133 grades et 267 grades, pour les petits bois morts au sol ( $5 < \varnothing < 30$  cm).

Les bois debout, vivants ou morts, sont individualisés et géoréférencés en azimut et distance au centre de la placette (sauf les très petits bois de  $\varnothing < 7,5$  cm). Inversement, les gros bois morts au sol peuvent être dissociés en plusieurs billons (pour permettre des calculs de volume/ha par type de bois mort ; figure 2). Enfin, pour le bois mort au sol, les notations dimensionnelles s'accompagnent d'indication sur les degrés d'altération du bois (écorce et pourriture).

Les pièces de bois recensées ainsi constituent les différents « supports » de l'inventaire des champignons lignicoles, moyennant quelques ajustements. Pour les bois sur pied vivants, seuls sont prospectés les gros bois ( $\varnothing \geq 30$  cm). Les gros bois morts au

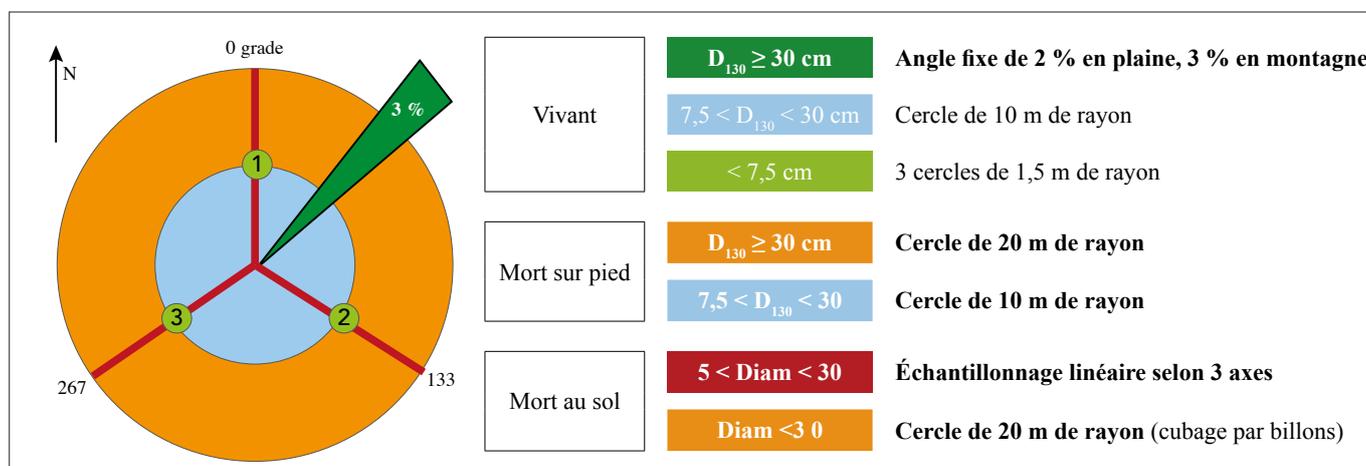


Fig. 1 : placette d'inventaire dendrométrique (PSDRF) et mycologique

En gras, les parties de l'inventaire dendrométrique reprises pour la prospection mycologique : les gros bois vivants, les bois morts sur pied, et les bois morts au sol moyennant adaptations (voir figures 2 et 3)

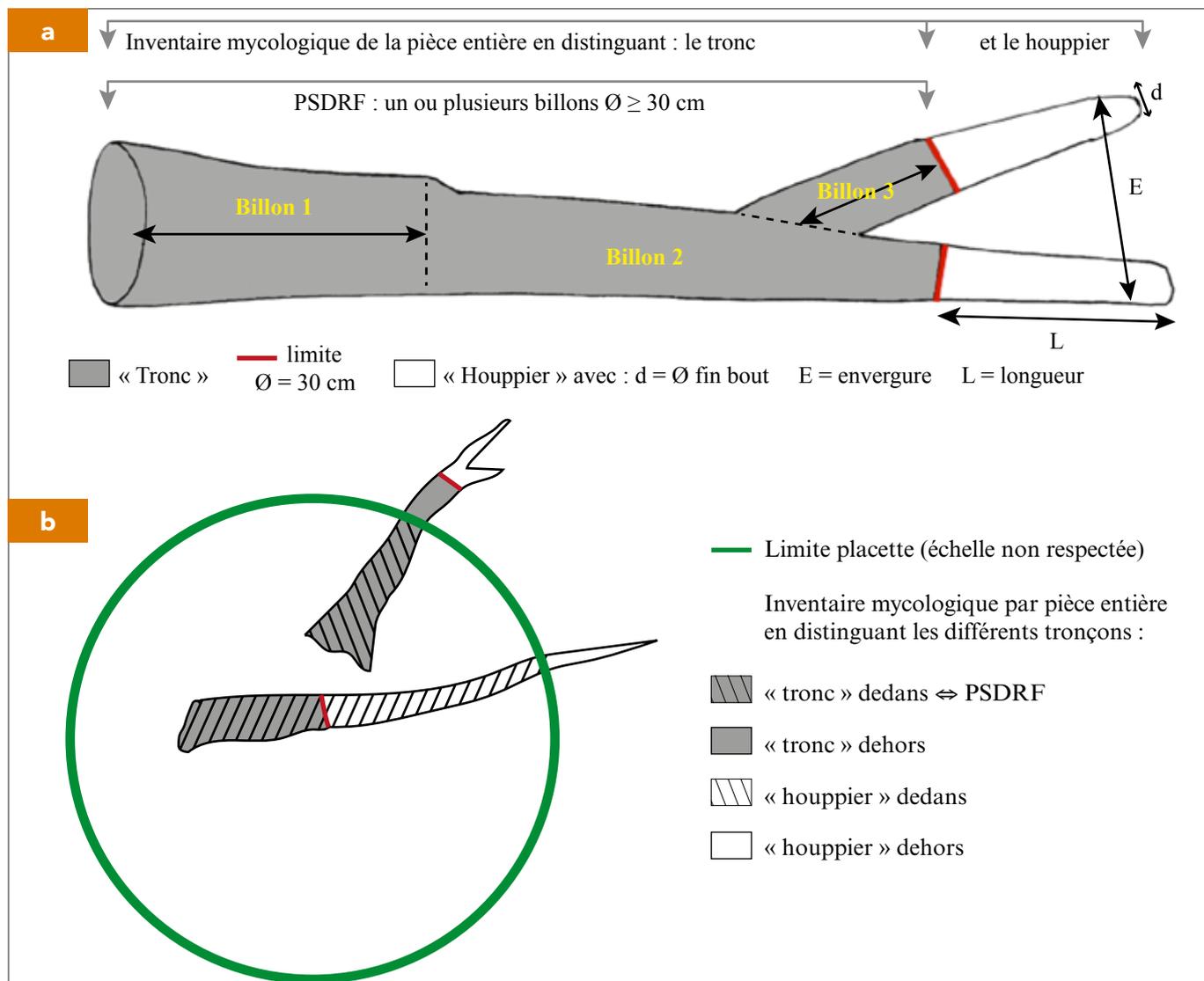
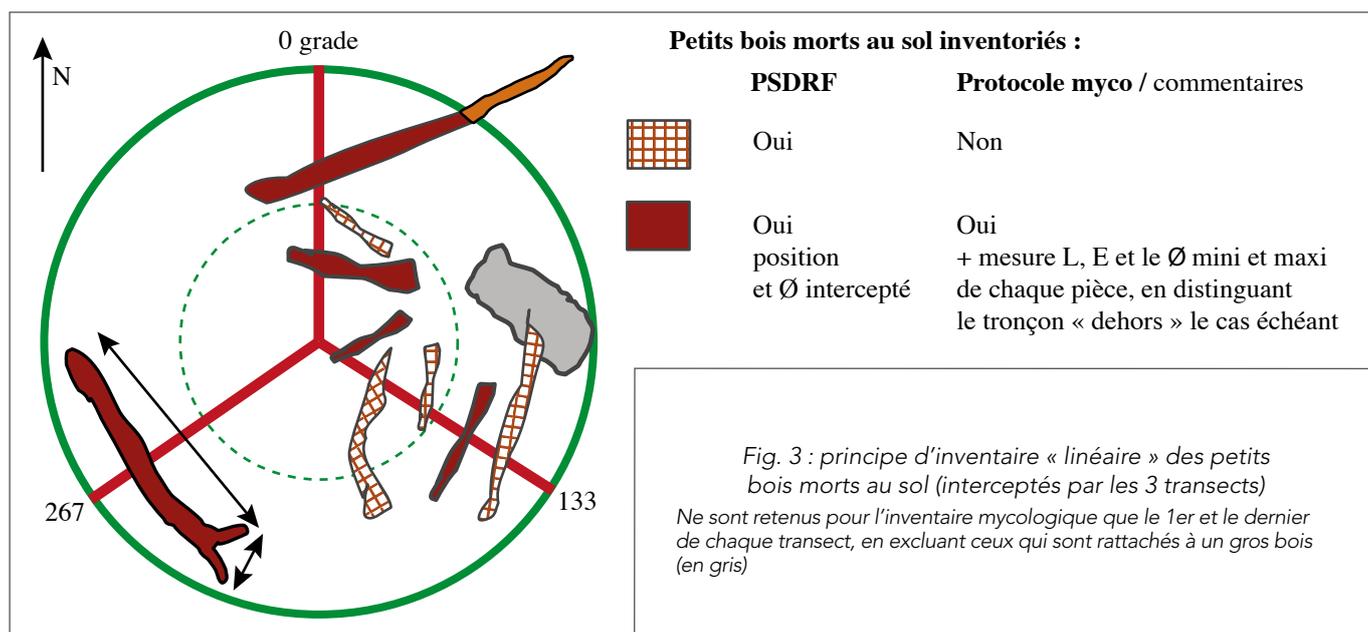


Fig. 2 – principe de prise en compte des gros bois morts au sol, qu'ils soient dans la placette (a) ou qu'ils en débordent (b)



sol interceptés par le rayon de 20 m sont examinés sur toute leur longueur, donc au-delà de la placette circulaire le cas échéant. Le relevé mycologique concerne non seulement le tronc, mais aussi le houppier (limite tronc-houppier fixée au Ø 30 cm) que l'on caractérise par son envergure. L'examen mycologique des petits bois morts au sol se limite à 6 pièces maximum (la première et la dernière de chaque transect, en partant du centre; figure 3), avec possibilité de retourner ces bois qui constituent un substrat favorable aux corticiés; ce principe permet de limiter un travail fastidieux (et qui sans cela deviendrait rédhibitoire) sur débris ligneux de petite dimension. À cela s'ajoutera un relevé complémentaire sur l'ensemble de la placette pour noter globalement les champignons lignicoles hors des supports précédents et donc aussi sur pièce de bois de moins de 5 cm de diamètre.

## Champ taxinomique et notion d'abondance

L'idée de ne retenir que les polypores était *a priori* séduisante. Le nombre total de ces espèces en France est d'environ 330, en comptabilisant les gros polypores pérennes (une trentaine d'espèces), les autres polypores à chapeau non pérennes (150) et les espèces résupinées. Les fructifications pérennes sont visibles toute l'année, les non-pérennes sont visibles pendant plusieurs mois. Toutefois, la consultation des inventaires montre que les espèces de polypores dans une forêt donnée sont assez peu nombreuses : une trentaine pour 1 600 ha par exemple dans les forêts de la réserve naturelle de Ventron (88-68). Dans les exemples d'études cités, le nombre d'espèces de polypores fluctue entre 30 et 60. Donc en se restreignant aux polypores, de surcroît sur des placettes d'assez faible surface, on courrait le risque d'un trop faible échantillonnage de la richesse spécifique en champignons lignicoles. Nous avons d'abord pensé à élargir le champ taxinomique à des espèces bien détectables, peu labiles voire « coriaces », de basidiomycètes et

d'ascomycètes en ciblant certains genres. Mais cette extension s'est avérée problématique car, contrairement aux polypores, elle ne correspond pas à une réalité évidente sur le terrain.

Finalement, l'option retenue a été de noter tous les champignons lignicoles observés sans restriction taxinomique. Une telle consigne a le mérite d'être claire et applicable par tous les membres du réseau Mycologie de l'ONF mobilisés pour cette opération. Cette approche est originale si on en juge par la littérature où nous n'avons trouvé, outre le projet RESINE également conduit par Irstea, qu'une étude dont l'inventaire porte à la fois sur les corticiés, les polypores (résupinés compris), les ascomycètes et les champignons à lames (l'étude espagnole dans les hêtraies du Pays Basque).

Concernant la notion d'abondance, les études consultées s'accordent à considérer que les champignons de la même espèce situés sur la même pièce de bois constituent une seule occurrence. Nous retenons ce principe facile à appliquer d'autant que

sur le terrain le comptage des fructifications serait fastidieux et même impossible pour les champignons à consoles imbriquées.

## Nombre de passages, temps passé

Le dernier point à préciser est le nombre de passages, qu'il faut mettre en relation avec la lourdeur du protocole et la dimension du projet : plus de 200 placettes. Ce point est lié aussi au choix du champ taxinomique. Comme dans les études européennes déjà citées incluant les corticiés (plus difficiles à relever que les autres groupes), nous avons opté pour un seul passage dans la saison (en automne). De plus l'expérience acquise au cours du projet RESINE milite pour une seule prospection, même s'il n'y a pas eu de véritable étude d'optimisation méthodologique pour démontrer que cela suffit. Le temps de terrain estimé étant de 4 placettes à 6 placettes par jour par équipe de deux. Le temps effectif sur placettes ne doit pas excéder une heure trente sauf cas particulier. Le choix de travailler en binôme est lié à la nécessité de retrouver les



*Hericium coralloides* – Hydne corail (basidiomycète)

Gérald Gruhn, ONF

pièces de bois et de procéder à des mesures dendrométriques complémentaires. Le travail à deux permet aussi d'améliorer la qualité de l'inventaire en augmentant la détection des espèces tout en assurant la sécurité dans des sites escarpés ou à progression difficile du fait de la végétation. Dans la constitution de l'équipe, une complémentarité des compétences est recherchée.

### Mise en œuvre : difficultés, adaptations et commentaires

Le protocole a été testé d'une part avec le pilote du projet GNB (Frédéric Gosselin, Irstea) dans la forêt d'Auberive (52) en juin 2008 et, d'autre part, avec l'ensemble du réseau Mycologie de l'ONF à l'occasion des réunions de septembre 2007 et 2008 respectivement en Savoie et en Lozère. L'inventaire mycologique étant en quelque sorte inféodé à l'inventaire dendrométrique, il a brièvement été envisagé de les réaliser en même temps... avant d'abandonner l'idée, beaucoup trop contraignante. Il aurait fallu que les forestiers mycologues, très peu nombreux et dont la disponibilité est comptée, fassent l'ensemble du travail, nécessairement en automne : ingérable !

En pratique, l'inventaire mycologique intervient après l'inventaire dendrométrique, réalisé par une équipe distincte dans le cadre de l'organisation générale du programme GNB (qui, rappelons-le, concerne plusieurs autres groupes taxinomiques). L'équipe mycologique récupère les données (la « fiche dendro ») de chaque placette, où figurent notamment les coordonnées GPS du centre de la placette qui permettent de se positionner précisément et rapidement sur le même point, matérialisé par un piquet en fer, et de retrouver tous les bois inventoriés.

Il faut ensuite coder chacun des supports à prospecter, pour faire parfaitement le lien entre position, type de support (+ dimensions) et champignons correspondants. Pour



*Mycena renati* – Mycène à pied jaune (basidiomycète, lamellé)

Patrick Blanchard, ONF

les bois sur pied, dûment repérés en distance et azimut par rapport au centre de la placette, ce codage peut se faire directement et à l'avance sur la « fiche dendro » : gros bois vivant (V1, V2... Vn), ou bois mort debout y compris chandelles et souches hautes (D1, D2... Dn). Mais pour le bois mort au sol, les données de l'inventaire ne suffisent pas à caractériser les pièces de bois; elles sont donc reprises dans une « fiche support » à compléter sur le terrain avant codification. En particulier, l'inventaire dendrométrique a pu scinder certains gros bois morts en plusieurs billons, dont le codage doit indiquer qu'ils appartiennent à la même pièce de bois, ainsi que l'éventuel houppier (G1.1... G1.x; Gn.1... Gn.y); de même, les bois morts de petit diamètre interceptés par les transects peuvent appartenir à une pièce déjà prise en compte par ailleurs (houppier d'un gros bois mort), aussi leur sélection et codage (P1... P6) ne peut pas se faire *a priori*.

Enfin, une « fiche-myc » reprend tous les supports, dûment codés, à prospecter pour l'inventaire mycologique proprement dit : pour chacun d'eux on rappelle s'il est ou non dans la placette, on indique le nom des

espèces concernées ou provisoirement un numéro de récolte.

Pour permettre le contrôle et l'exploitation ultérieure des données, les trois types de fiches (dendro, support et myco) ont très vite été intégrés à un fichier unique (tableur Excel), sous forme de trois onglets distincts regroupant les données correspondantes de toutes les placettes. Un autre onglet (Info\_placettes) est destiné à rappeler, pour chaque placette, la date de relevé, le nom de l'équipe et le temps passé.

### Du principe à la pratique...

Si le principe est assez simple, les premiers tests ont mis en évidence des difficultés de mise en œuvre. En premier lieu, quelques erreurs dans la prise de données initiale ont été décelées : erreurs dans le géo-référencement des placettes ou la localisation (distance, azimut) des arbres debout, mesures d'angles reportées en degrés au lieu des grades, ou encore méprise sur l'essence d'arbre. Ces petites erreurs ont pu être corrigées sur le terrain. Plus problématiques sont les modifications physiques survenues entre l'inventaire dendrométrique et l'inventaire mycologique telles que

la chute d'un arbre debout, vivant ou mort, ou le déplacement de bois morts au sol. Il a fallu adapter l'inventaire mycologique à ces situations, en suscitant au besoin quelques améliorations du protocole d'inventaire dendrométrique. Nous allons examiner par type de support les problèmes posés et les solutions retenues.

## Les gros bois vivants

En plaine, l'inspection des bois vivants ne pose pas de problèmes particuliers. On peut partir du centre de la placette et aller examiner un arbre vivant connaissant son azimut et sa distance puis repartir du centre et aller examiner le suivant. Par contre, en montagne sur les fortes pentes il est très long et pénible de progresser de la même façon. La méthode retenue est de parcourir la placette en courbe de niveau et de s'arrêter auprès des arbres porteurs de champignons puis de mesurer ensuite leur distance et leur azimut depuis le centre afin d'établir la correspondance avec la fiche-dendro (le codage ne peut donc pas se faire *a priori*). Par déduction, les autres arbres seront notés sans champignons. Cette méthode nécessite de

vérifier que les gros arbres recensés (à la jauge d'angle) au-delà du cercle de 20 m ne sont pas oubliés.

Si le statut d'un bois vivant a changé entre les deux inventaires, qu'il soit mort debout ou qu'il ait été renversé (bois mort au sol), l'opérateur doit l'indiquer en observations dans la fiche dendro en face de la ligne correspondante.

## Les bois morts debout

Les bois mort debout ont généralement été retrouvés sans difficulté sauf les souches qui peuvent être masquées par la végétation. Inversement, certaines souches ont pu être oubliées lors de l'inventaire dendrométrique, auquel cas leur prospection mycologique a été faite dans le cadre de l'inventaire complémentaire sur l'ensemble de la placette.

Si un bois mort debout est devenu bois mort au sol, la consigne est de l'indiquer en observations dans la fiche dendro en face de la ligne correspondante; il ne fait pas l'objet des mesures spécifiques aux bois morts au sol et conserve en quelque sorte son statut de bois mort debout.

## Les gros bois morts au sol

À la différence des bois morts debout, le protocole dendrométrique ne prévoit pas de localiser les gros bois morts au sol, l'objectif du PSDRF étant de relever les données pour calculer des volumes par type de bois mort : diamètre et longueur de la pièce arrêtée à la « découpe » 30 cm, en distinguant dans certains cas plusieurs billons. De ce fait, il s'est avéré difficile de retrouver les gros bois morts au sol correspondant aux indications de la fiche dendrométrique; difficulté accentuée si ces bois étaient nombreux, ou bien dans un terrain encombré de végétation ou accidenté.

Pour faciliter leur recherche, le protocole dendrométrique a été modifié de façon à donner une information de localisation et indiquer l'appartenance d'éventuels billons à une même pièce de bois. La localisation d'un gros bois mort se fait en notant la position de son extrémité la plus grosse par rapport au centre de la placette.

Si la position du gros bois mort a manifestement changé (cas fréquent en montagne), la consigne est de l'indiquer en observations dans la fiche dendro en face de la ligne correspondante. Si la pièce n'est pas retrouvée, la consigne est de noter « Non retrouvé » sans chercher à désigner un éventuel remplaçant. Une fois la pièce repérée, le relevé mycologique doit distinguer les champignons du tronc de ceux du houppier (non relevé en tant que tel dans l'inventaire dendrométrique). La distinction entre tronc et houppier se fait à partir du diamètre de 30 cm (cf. figure 2). La partie houppier fait l'objet d'une caractérisation dendrométrique complémentaire : diamètres extrêmes et mesure de l'envergure du houppier.

Enfin il arrive que le tronc de l'arbre ou le houppier dépasse la limite de la placette, ce qui nécessite de situer précisément cette limite et de noter les champignons en fonction de leur



Gérald Gruhn, ONF

Retrouver précisément le centre de la placette d'inventaire

localisation sur la pièce de bois et de leur situation dans ou hors des limites de la placette (selon un formalisme prévu par la fiche myco).

### Les petits bois morts au sol

Le repérage des petits bois morts au sol s'est avéré plus difficile encore. Il s'agit de pièces interceptées par chacun des trois transects et dont le protocole d'inventaire dendrométrique ne prévoit pas de noter la distance au centre de la placette (mesure optionnelle). Si ces petits bois ont été déplacés, même légèrement, ou si le calage de l'orientation n'est pas rigoureusement le même entre les deux inventaires, certaines pièces peuvent ne plus être retrouvées à l'inventaire mycologique.

En ce qui concerne la distance, les inventaires dendrométriques les plus récents ont segmenté les transects en deux parties (0-10 m et 10-20 m), permettant ainsi d'avoir une information plus précise sur la position des petits bois morts au sol. Si un petit bois censé être échantillonné n'est manifestement pas à sa place, on note « déplacé » sur la ligne correspondante de la fiche-support et, si on ne retrouve pas cette pièce, on la remplace, le cas échéant, par la pièce suivante ou précédente (selon qu'on est au début ou à la fin du transect) du relevé dendrométrique. Mais s'il n'y en a pas, on ne cherchera pas à désigner un éventuel remplaçant non mesuré à l'inventaire dendrométrique.

Dans le cas d'un petit bois censé être échantillonné mais qui s'avère être une branche d'un gros bois mort au sol inventorié, celui-ci est ignoré pour ne pas dupliquer l'inventaire sur la même pièce. Il est alors remplacé par un autre petit bois sur le même transect.

Enfin le problème des bois non retrouvés a été intégré en remarques au protocole. Cependant, dans certains sites, le relief et (ou) le délai séparant les deux inventaires sont tels que les petits bois morts ont été



Gérald Gruhn, ONF

*Difficile, en montagne, de retrouver les petits bois morts de l'inventaire dendrométrique*

chamboulés. Dans ces cas, l'opérateur peut décider, pour toutes les placettes du site, de s'affranchir des informations issues du relevé PSDRF : il sélectionne le premier et le dernier petit bois qu'il trouve sur chaque transect et consigne leurs caractéristiques dendrométriques avant de procéder à l'examen mycologique.

### Le relevé dans la placette

Pour le relevé complémentaire « en plein » dans la placette, il était prévu initialement de relever les espèces sur les autres supports ligneux non inventoriés et de noter leur abondance donc le nombre de support-espèces. La notation d'abondance s'est avérée applicable pour les espèces identifiables à vue mais pas pour les espèces corticoïdes dont un bon nombre sont impossibles à distinguer les unes des autres sur le terrain. Finalement, seule la présence des espèces sur une placette est relevée, sans notation de l'abondance.

### L'effet observateur

L'effet observateur, c'est-à-dire les variations de prise de données selon les mycologues, n'a pas été testé par un protocole ad hoc faute de temps. En effet, un tel test nécessitait d'organiser le passage de plusieurs équipes composées de deux

membres du réseau, sur les mêmes placettes pendant une période favorable. Or cette saison favorable se résume à la période automnale, traditionnellement fort chargée en inventaires. Classiquement, on note deux types de biais liés à l'opérateur : la détection et l'identification. Si nous n'avons pas de quantification des erreurs de détection, le travail en binôme permet généralement de limiter les biais liés à la spécialisation d'un mycologue sur un groupe particulier. Quant à la détermination des espèces, elle ne s'est faite sur le terrain que pour les plus évidentes ; le plus souvent, elle nécessite une expertise microscopique en laboratoire. Aussi nous nous sommes efforcés d'échanger les échantillons voire, pour les plus délicats, de les soumettre à des experts extérieurs. Le risque d'erreur dans la détermination des espèces a donc été minimisé.

### Conclusion

Le programme GNB consiste à comparer la biodiversité entre forêts exploitées et forêts en libre évolution (dites « en réserve »). Le plan d'échantillonnage conçu à cette fin a conduit à installer un réseau de placettes destinées en premier lieu

à caractériser les compartiments arbres vivants et bois morts, selon le protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières (PSDRF), et à servir de base pour l'inventaire des autres composantes de la biodiversité. Pour le compartiment mycologique, cependant, il n'existait pas *a priori* de méthode d'inventaire bien définie. Cela a stimulé une réflexion approfondie entre le réseau Mycologie de l'ONF, partenaire du projet, et les chercheurs d'Irstea pour préciser les groupes à cibler et mettre au point un protocole adapté à la problématique ; protocole qu'il fallait optimiser en fonction des contraintes de temps, de moyens et des compétences disponibles.

Ce protocole mycologique cible les champignons lignicoles et s'appuie sur les supports ligneux définis par le PSDRF : les différentes pièces de bois dûment identifiées et mesurées dans le cadre de l'inventaire dendrométrique préalable sont codifiées individuellement pour le relevé mycologique. Les deux inventaires n'étant pas simultanés et faisant intervenir des équipes différentes, il est parfois difficile de retrouver certaines pièces, notamment de bois mort. Cependant la dissociation des deux types d'inventaire présente le gros avantage de permettre aux forestiers mycologues de se concentrer sur leur discipline, sachant qu'ils sont peu nombreux, appelés à intervenir loin de chez eux et d'autant plus contraints par le temps que l'inventaire mycologique se fait nécessairement en automne.

À la lumière de travaux précédents publiés dans la littérature, il a été décidé de procéder en un seul passage, en relevant tous les champignons lignicoles : champignons à lames, polypores à chapeau, autres basidiomycètes et ascomycètes lignicoles mais aussi les groupes difficiles que sont les corticiés et les polypores résupinés. Ce choix permet de fournir des consignes



*Ustulina deusta* (ascomycète)

Olivier Rose, ONF

claires, ne soulevant pas de problème d'interprétation. Toutefois il exige des compétences plus pointues que les inventaires ordinaires, en particulier pour les espèces corticoïdes, dont la détermination ne peut se faire qu'au microscope. Un effort important de formation a donc été consenti pour consolider chez tous les membres du réseau un socle minimum de compétences et perfectionner les quelques connaisseurs des espèces corticoïdes : formation microscopie assurée par la Société Mycologique de France et axée sur les champignons à lames lignicoles, d'une part, et participation aux journées « Aphyllophiles » qui réunissent les meilleurs spécialistes européens des polypores et des corticiés, d'autre part.

Au-delà du cadre du projet GNB, le protocole mis au point est appliqué dans une version allégée au suivi ordinaire des réserves biologiques intégrales de l'ONF (voir RenDez-Vous techniques n° 35, pp. 68-73). Par ailleurs, la démarche méthodologique rigoureuse qu'exigent les analyses statistiques destinées à explorer des processus écologiques

complexes n'est pas encore familière aux associations mycologiques. Pour les sensibiliser, ces protocoles ont été présentés aux Mycologiades de Bellême en 2009 dans le cadre d'une journée technique consacrée aux protocoles mycologiques, au congrès de la SMF (Société Mycologique de France) en 2012 et au colloque de la FMBDS (Fédération Mycologique et Botanique Dauphiné Savoie) en 2015. Une équipe mixte ONF-SMF a même été constituée pour effectuer l'inventaire d'un site (Verrières). Ajoutons enfin que les compétences acquises sur les champignons lignicoles donnent au réseau Mycologie de l'ONF une position reconnue dans le paysage mycologique français.

**Hubert Voiry**

ONF, animateur du réseau Mycologie  
hubert.voiry@onf.fr

**Olivier Rose**

Chef de projet biodiversité  
ONF, agence Vosges-Montagne

**Frédéric Gosselin**

Irstea, centre de Nogent-sur-Vernisson  
UR Écosystèmes forestiers (EFNO)

## Références

- Abrego, N. & Salcedo, I. (2014) : Response of wood-inhabiting fungal community to fragmentation in a beech forest landscape. *Fungal Ecology* 8 :18-27.
- Bouget, C., Brin, A., Cordonnier, T., Granet, A., Deuffic, P., Gosselin, F., & Moreau, P. (2009) Projet BGF RESINE – Représentations sociales et intérêts écologiques de la nécromasse. Rapport final. Cemagref / Convention MEDDAT CV05000150, Nogent-sur-Vernisson.
- Bruciamacchie, M. (2005) : Protocole de suivi d'espaces naturels protégés. ENGREF – MEDD, Nancy.
- Gosselin, F., Paillet, Y., Gosselin, M., Durrieu, S., Larrieu, L., Marrell, A., Lucie, X., Boulanger, V., Debaive, N., Archaux, F., Bouget, C., Gilg, O., Rocquencourt, A., Drapier, N., & Dauffy-Richard, E. (2014) Gestion forestière, Naturalité et Biodiversité. Rapport final, Rep. No. 10 – MBGD-BGF-1-CVS-09. GIP-Ecofor, Paris.
- Huhndorf S, Lodge DJ, Wang CJ, Stokland N- 2004 : Macrofungi on woody substra in Biodiversity of Fungi – Inventory and Monitoring Methods. Elsevier.
- Junninen K, Similä M, Kouki J, Kotiranta H – 2006. Assemblages of wood inhabitant fungi along the gradients of succession in naturalness in boreal pine-dominated forests in Fennoscandia. *Ecography* 29 : 75-83
- Küffer N, Senn-Irlet B – 2005. Influence of forest management on the species richness and composition of wood-inhabiting basidiomycetes in Swiss forests. *Biodiversity and conservation* 14 : 2419-2435. Springer 2005.
- Müller J, Engel H, Blaschke M : 2007. Assemblages of wood-inhabiting fungi related to silvicultural management intensity in beech forests in southern Germany. *Eur.Forest Res.*126 : 513-527.
- Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, B., Bijlsma, R.J., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, L., Magura, T., Matesanz, S., Mészáros, I., Sebastià, M.T., Schmidt, W., Standovár, 2010. Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation Biology* 24, 101-112.
- Rajala T., Peltoniemi M., Pennanen T. & Mäkipää R., 2011. Fungal community dynamics in relation to substrate quality of decaying Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) logs in boreal forests. *FEMS Microbiol Ecol* 81: 494-505.
- Renvall P., 1995. Community structure and dynamics of wood-rotting basidiomycetes on decomposing conifer trunks in northern Finland. *Karstenia* 35 : 1-51.
- Stokland, J. & Sippola, A-L., 2004. Monitoring protocol for wood-inhabiting fungi in the Alberta Biodiversity Monitoring Programme. Report for the Science Committee of the Alberta Biodiversity Monitoring programme. 58 p.



*Phlebia radiata* (basidiomycète, corticié)

Olivier Rose, ONF

## Bilan d'application du guide des sylvicultures de la chênaie atlantique

Les guides des sylvicultures, comme l'ensemble des processus de l'ONF, font l'objet d'une procédure d'amélioration continue qui passe en l'occurrence par des bilans d'application périodiques. Premier né de la collection, le guide de la chênaie atlantique ouvre la voie de façon exemplaire. C'est pourquoi nous restituons aussi fidèlement que possible le débat technique organisé pour son deuxième bilan : avec un premier volet lié aux avancées de la recherche, puis un second consacré aux retours d'expérience.

L'idée d'un guide biogéographique atlantique des sylvicultures du chêne doit beaucoup au parcours professionnel de son auteur, Pascal Jarret. Après une solide expérience de gestion des chênaies en région Centre, ses fonctions de chef de section technique interrégionale (STIR) l'ont appelé à arpenter, analyser l'ensemble des chênaies du Centre-Ouest et à faire ce constat : les problématiques étaient partout les mêmes mais les solutions restaient locales, efficaces ou non mais pas partagées. Son intense activité d'analyse et de conseil sur l'ensemble de la zone ne suffisait pas à insuffler une véritable dynamique commune. En 2002-2003, c'est la réorganisation de l'ONF, avec l'instauration de la direction territoriale Centre-Ouest élargie ensuite à l'Auvergne et Limousin, qui en a donné l'opportunité : celle d'un territoire commun où organiser le pilotage technique, partager les retours d'expérience (quelles sont les meilleures pratiques ?) et mieux valoriser les résultats de la recherche, car le « transfert » ne va pas de soi. L'idée du guide biogéographique a enfin pu prendre corps (malgré des réticences) et impulser un grand progrès, grâce à un effort de formation très soutenu.

Le guide a été déployé il y a 12 ans, ses dispositions ont donc été appliquées, au moins en amélioration, dans toutes les forêts concernées. Dans les

forêts aux sources de la réflexion, elles sont même en application depuis 25 ans. Un premier bilan a eu lieu dans l'Allier en octobre 2007 sans susciter, à l'issue d'échanges nourris, d'inflexion notable sinon une modulation sur le dépessage (voir RDVT hors-série n° 5 – 2010, pp. 3-13). Aujourd'hui, les éléments d'un nouveau bilan sont plus consistants. Au cours des derniers mois, Pascal Jarret a synthétisé les apports nouveaux de la recherche (avec l'aide du pôle R&D ONF de Boigny), interrogé les bases de données techniques et recensé les retours d'expérience, à l'occasion notamment des tournées de terrain. Il en a tiré une série de questions, basées sur des constats documentés et assorties de pistes à discuter. Ce bilan a été présenté et débattu le 22 avril dernier, lors d'une journée technique comp-

tant une cinquantaine de participants (praticiens, aménagistes, animateurs et managers techniques...) venus de chênaie atlantique mais aussi de chênaie continentale et des zones de Bourgogne et d'Île-de-France – Nord-Ouest intermédiaires à ces deux grands domaines. L'objectif était simplement (si on ose dire) de consolider le bilan, de s'entendre sur ce qu'il est nécessaire de faire évoluer.

On ne trouvera donc pas dans cet article les suites concrètes de cette journée, en termes de préconisations techniques validées : cela requiert un travail supplémentaire qui devrait aboutir début 2016. Mais la démarche, dans la diversité et la qualité de son questionnement, est en soi d'une telle richesse qu'elle mérite d'être largement partagée.



Tournée de formation animée par Pascal Jarret (au centre) en FD de Bercé (72)

ONF DT COAL

## 1 – Questions liées aux avancées de la recherche

### Faut-il revoir les référentiels sylvicoles ?

Selon une démarche initiée avec le fameux BT 31 (ONF, 1996), les référentiels sylvicoles de futaie régulière sont désormais élaborés sur la base de modèles de croissance, bien plus performants que les anciennes tables de productions pour concevoir des itinéraires-types. Ces modèles sont eux-mêmes perfectibles à mesure de l'avancée des connaissances et des indispensables retours d'expérience. On a aujourd'hui assez de recul sur l'application du guide de la chênaie atlantique (GCA) pour questionner les modèles et envisager l'actualisation (ou non) des référentiels.

### Faiblesses du modèle de croissance

Le modèle de croissance de peuplements Fagacées® de la plate-forme Capsis, qui a servi à construire les référentiels, montre pour le chêne (sessile) des limites sur quelques points :

- il a été calibré sur un jeu de données couvrant mal toute la gamme de fertilité et d'âge. Les prédictions de croissance dans les jeunes peuplements et dans les faibles fertilités divergent par rapport à la réalité ;
- la hauteur dominante y est une donnée centrale dans l'estimation de la production, or les courbes de croissance en hauteur qu'il utilise, construites par Pierre Duplat d'après l'analyse de tiges d'arbres abattus (Duplat et Tran-Ha, 1997), sont manifestement trop tendues : le nuage de points de nos peuplements ne correspond pas bien à leur tracé (figure 1) ;
- le modèle suppose enfin un environnement stable dans le temps, ce qui n'est plus le cas dans le cadre des changements climatiques, ou plutôt des changements globaux (voir encadré page suivante).

À ce sujet, la thèse de Marie Charru (2012) a mis en évidence des évolutions qui donnent matière à réflexion (voir encadré). Si la productivité des chênes a globalement augmenté sur la période 1980-2005, l'évolution diffère entre les deux espèces et elle connaît une inflexion : augmentation modérée suivie d'une phase de stagnation pour le pédonculé, augmentation plus nette suivie d'une diminution importante pour le sessile. Fluctuation cyclique, tendance de long terme ou combinaison conjoncturelle de facteurs multiples ? On n'en sait rien encore, la thèse étant un travail exploratoire qu'il faudrait pouvoir prolonger ; mais il n'est pas impossible que les années 2010 aient été marquées chez le sessile par une baisse de productivité, ce

qui contribuerait à expliquer que certains peuplements n'aient pas aussi fortement réagi que ce qu'on escomptait. Tant qu'on en est à résorber la surdensité initiale, il y a peu d'incidence sur la sylviculture, mais à l'approche du référentiel, ça peut devenir un problème. Pas de certitudes, donc, mais des signaux à ne pas négliger.

Par ailleurs, les gestionnaires se disent gênés par le fait que les modèles de croissance comme Fagacées® intègrent les dominés, mais il n'est pas possible d'en faire abstraction car ils sont partie prenante de la croissance des peuplements. Si difficulté il y a, ce n'est pas une question de modèle mais de méthode de travail.

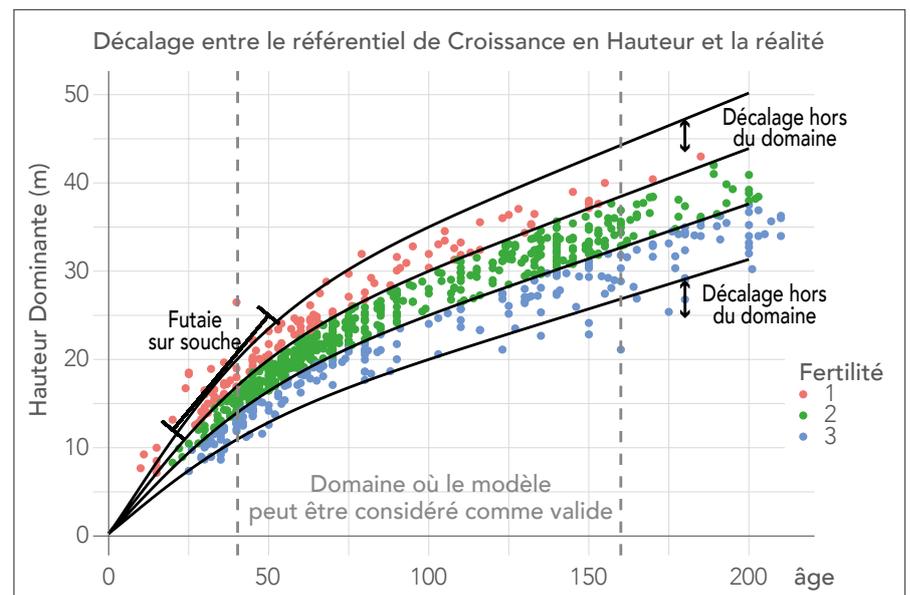


Fig. 1 : décalage entre le référentiel de croissance en hauteur et la réalité ; projection des diagnostics « Sylvie » réalisés dans la DT COAL sur les courbes Duplat (Duplat et Tran-Ha, 1997)

Pour rappel, ces courbes ont été modélisées à partir de peuplements de futaies vraies équiennes de 5 régions françaises de production (dont l'Allier, l'Indre-et-Loire et le Perche), d'après analyse de tiges (lecture de rondelles prélevées sur arbres dominants abattus) et non d'après suivi de placettes permanentes. Les arbres analysés avaient au maximum 185 ans (sauf deux tiges de 216 ans en Indre et Loire), ce qui représentait une gamme d'âge un peu limitée mais bien plus étendue que celle des autres courbes de l'époque. L'ajustement des courbes sur ce jeu de données (selon un modèle mathématique à asymptote oblique) donne un domaine de validité qui se situe entre 50 et 150 ans. Pour les peuplements plus âgés, le grand nombre de peuplements de fertilité apparemment faible et le peu de peuplements très fertiles vient de ce que les courbes sont trop tendues. Noter que les jeunes peuplements d'apparence super-fertile sont doublement « hors des clous » : ce sont des futaies sur souche (≠ futaie vraie) de moins de 50 ans.

### Des évolutions de productivité déjà visibles

Ces dernières années, la recherche a mis en lumière des changements de productivité des peuplements forestiers, notamment pour le chêne sessile. En analysant des couples de chênes sessiles d'âge différent, les deux tiges d'un même couple étant sur la même station, Jean-Daniel Bontemps (2006) a mis en évidence une accélération de la croissance en hauteur dominante, indicateur de la productivité, au cours du 20<sup>e</sup> siècle. Sous l'effet notamment de l'augmentation des dépôts azotés, ces chênes ont, pour un âge donné, poussé de plus en plus vite à partir de 1950 (figure a).

Plus récemment, Marie Charru (2012) a étudié l'évolution d'un autre indicateur, l'accroissement en surface terrière, sous l'effet des facteurs environnementaux (facteurs climatiques, concentration en CO<sub>2</sub>, dépôts atmosphériques, etc.). Réalisée à partir des données de l'IFN (période 1980-2005), cette étude confirme l'augmentation de la productivité du chêne sessile jusqu'en 2000, mais ensuite l'évolution s'inverse et la production annuelle diminue, alors que celle du chêne pédonculé est stable depuis 1985 (figure b). Vue du bassin ligérien, cette stabilité du chêne pédonculé a de quoi surprendre (cf. effets sécheresse), mais il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit d'une analyse France entière et que, dans les régions où il est prépondérant, les stations sont favorables et bien alimentées en eau (chênaies de l'Adour ou du Val de Saône). Par ailleurs il faut rester prudent : la « plongée » de la courbe du chêne sessile peut être aussi un effet de l'ajustement sur un nombre réduit de points ; avec l'allongement de la période d'observation/mesures, il se pourrait qu'un nouvel ajustement statistique reflète une baisse moins brutale...

La productivité des peuplements de chênes évolue donc dans le temps, sous l'effet de nombreux facteurs. Si les changements passés peuvent être pris en compte dans les modèles, via les périodes de croissance couvertes par les jeux de données, il est difficile de prévoir les changements futurs dans les simulations de croissance au cours du 21<sup>e</sup> siècle. On peut envisager d'intégrer des variables environnementales dans les modèles pour simuler divers scénarios d'évolution de l'environnement et leur impact sur la production. Que cela puisse se faire ou non, un certain recul sera nécessaire lors de simulations de croissance d'un peuplement.

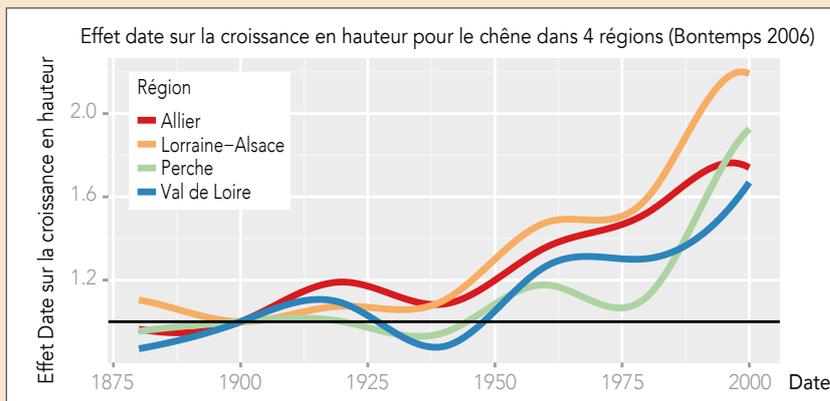


Fig. a : effet date sur la croissance en hauteur pour le chêne dans 4 régions (Bontemps, 2006)

Cet effet date correspond, à un âge et une station donnés, au ratio entre l'accroissement en hauteur dominante des peuplements et l'accroissement de l'année de référence 1900.

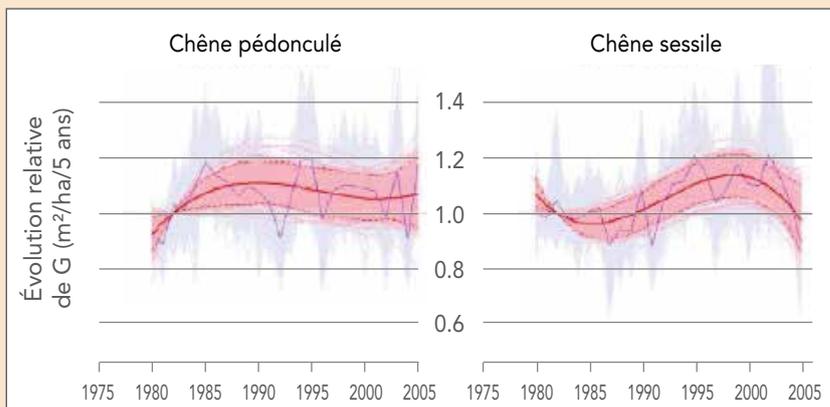


Fig. b : une productivité variable dans le temps : accroissement en surface terrière (moyenné sur 5 ans) pour le chêne pédonculé et le chêne sessile, sur la période 1980-2005, d'après mesure de largeur de cernes des données IFN (source : Charru, 2012)



Pauline Delord, ONF

Comment anticiper les changements de productivité du 21<sup>e</sup> siècle ?

### Travaux en cours et progrès attendus

À court terme, on peut espérer un nouveau modèle de croissance, centré sur la croissance des individus : le modèle Mathilde®, en cours de validation. Il présente l'avantage de ne pas se baser sur l'accroissement de la hauteur dominante pour calculer la production, ce qui était la faiblesse de Fagacées®.

En complément, la Recherche devrait être en mesure de fournir à moyen terme un deuxième modèle de croissance : Fagacées 2®. Comme Fagacées®, il appréhende la croissance du peuplement mais sera élaboré sur une base de données beaucoup plus large (notamment les jeunes peuplements de la Coopérative de données chênes), ce qui améliorera les résultats pour les jeunes stades ; en outre, il ne dépendra plus de la croissance en hauteur dominante.

Quoi qu'il en soit, la mise en œuvre des référentiels actuels ne soulève pas de difficultés particulières en fertilité 1 et 2. D'une coupe à la suivante, on reste bien dans la fourchette de prélèvement prévu ; sur un pas de temps relativement court, il n'y a pas de problème. On signale dans l'Orne, une petite alerte (qui reste à confirmer) sur la largeur de cernes pour quelques diagnostics Sylvie en fertilité 1 ; mais il n'y a pas de quoi remettre en cause ce qu'on fait aujourd'hui.

En revanche, la fertilité 3 est plus problématique. Le référentiel a été construit, d'après les simulations de Fagacées®, selon le principe que moins il y a de ressource, moins il faut d'arbres à une hauteur dominante donnée. Mais, comme indiqué précédemment, le domaine de validité du modèle ne couvre pas bien la fertilité 3 et, dans la réalité, la réaction de ces peuplements aux éclaircies est plus faible qu'espérée ; le couvert ne se referme pas correctement. Il y a un réel besoin de réajustement à court terme, avec un référentiel moins dynamique.

### Que préconiser pour le sous-étage de chêne en fertilité 3 ?

La fertilité 3 correspond le plus souvent à des stations acidiphiles, ou acidiphiles hydromorphes, où rien d'autre que le chêne ne peut venir en sous-étage (rien à voir avec une « purification » anthropique) ; doit-on considérer que c'est mieux que rien ou que ce sous-étage est un concurrent exploitant les mêmes horizons du sol que le peuplement principal ?

#### Pas de réponse bien tranchée

À défaut de réponse bien étayée à cette question, la décision d'enlever ou non le sous-étage se prend actuellement au cas par cas selon d'autres considérations : extraction par opportunité bois-énergie ou conservation par souci de qualité des bois... (même si, de ce point de vue, le chêne sous chêne manque d'intérêt). On craint par exemple que l'éclaircissement consécutif à l'enlèvement favorise le développement de gourmands, mais ce ne serait pas forcément un drame.

#### Ne pas s'inquiéter outre mesure des gourmands

L'ONF (ex STIR Nord-Est) a mis en place au début des années 2000 un suivi individuel des effectifs de gourmands sur trois des dispositifs sylvicoles installés à la fin des années 80 pour tester quatre scénarios : sylvicultures « classique », « dynamique » et « hyperdynamique » et témoin sans sylviculture. Certains des arbres suivis ont ensuite fait l'objet d'une analyse rétrospective de l'ontogénèse des épécormiques, réalisée par le LERFoB (notamment Jean-Baptiste Morisset (2012)) grâce au scanner tomographique. De tout cela il ressort que le type de sylviculture n'est pas un facteur explicatif fondamental (sauf peut-être les sylvicultures extrêmes), moins en tout cas que l'effet site (composition du sous-étage, type de sol, patrimoine génétique...), mais qu'il y a un fort effet individuel (de l'arbre). Toute éclaircie (ou mise en lumière) provoque un développement de gourmands, lesquels tendent à disparaître quand le couvert se referme en laissant éventuellement à leur base des bourgeons secondaires susceptibles de « s'exprimer » à l'éclaircie suivante.

Le potentiel épécormique augmente ainsi avec l'âge, mais l'ampleur de ce potentiel vient des prédispositions intrinsèques de chaque arbre. Ce constat a d'ailleurs une conséquence très pratique : une première éclaircie un peu forte « révèle » la propension individuelle des tiges et permet de choisir les arbres objectif parmi celles qui produisent le moins d'épécormiques. Parallèlement, le témoin non éclairci présente des « poils » d'ombre qui meurent très vite mais réapparaissent continuellement en tendant pareillement à devenir de plus en plus nombreux.

#### Faire la part des choses

D'autre part la gestion du sous-étage de chêne renvoie à d'autres questions. Celle de la distinction entre sous-étage et arbres dominés, notamment. Certains diagnostics sont sous-estimés du fait de la confusion : le prétendu sous-étage est en fait composé de dominés, qui n'assurent pas de véritable gainage et qui peuvent être enlevés sans état d'âme. Inversement, il arrive que du sous-étage soit compté parmi les dominés dans des stations particulièrement pauvres où on peine à avoir un peuplement complet. Enfin il faut peut-être dans certains cas avoir une vision moins exclusivement sylvicole (cf. multifonctionnalité, pression des ongulés...) ou reconsidérer la place du chêne (ex : ne pas régénérer à grand frais du chêne gélif qui se vendra très mal).

## Propositions/discussion

En fertilité 1 et 2, il n'y a pas d'urgence à réviser les scénarios d'autant qu'on n'en a pas encore les moyens : il faut attendre le(s) nouveau(x) modèle(s) de croissance. On peut envisager la révision dans une dizaine d'années. D'ici là, il s'agit simplement de mettre à disposition des gestionnaires quelques recommandations nouvelles issues des retours d'expérience : passer un peu plus tôt à des rotations à 10 ans plutôt que 8 entre les coupes pour conserver un prélèvement satisfaisant commercialement (à 70 ans en fertilité 2 et 85 ans en fertilité 1?)?

En fertilité 3, par contre, il est nécessaire de réviser le référentiel sans attendre. Faute de solution satisfaisante pour une amélioration transitoire, on utilisera Fagacées® tel quel mais avec un scénario sylvicole proche de celui de la fertilité 2 en nombre de tiges, c'est-à-dire une densité plus forte que l'actuelle pour une hauteur donnée. Avec deux options à examiner : conserver l'âge d'exploitabilité actuel (190 ans), mais avec un diamètre plus faible (60 à 65 cm) ou allonger la révolution pour viser le même diamètre d'exploitabilité (70 cm)? Il faudra également vérifier que la non-fermeture du peuplement au niveau des houpiers traduit bien un accroissement inférieur à la prédiction du modèle.

Au-delà du référentiel, la conduite des peuplements en fertilité 3 soulève une autre question (voir encadré page 37) : que préconiser pour le sous-étage de chêne?

## Faut-il continuer à dépresser dans les fourrés ?

Le guide des sylvicultures des chênaies atlantiques (GCA) ne parle pas de dépressage mais de « façonnage », opération qui combine « une forte réduction du nombre de tiges de chêne » (dépressage *sensu stricto*) et « un savant dosage des essences » (plus nuancé que la notion ordinaire de nettoyage). À l'usage, ce vocable de façonnage a des inconvénients et on en revient, pour exprimer la même idée, au mot dépressage.

Initialement, les préconisations du GCA en la matière étaient d'abaisser la densité de l'étage principal à 3 600 tiges/ha lorsque la hauteur dominante (Ho) atteint 6 m. Éventuellement, un second dépressage à Ho ≈ 10 m pouvait être nécessaire, dans deux circonstances seulement : (1) forte concurrence des essences d'accompagnement sur certains types de station, l'opération relevant alors plutôt du nettoyage, ou (2) impossibilité d'envisager une première éclaircie commercialisable à Ho = 14 m.

Le bilan de 2007 a conclu à la nécessité de « repousser à 7 m le seuil de déclenchement du dépressage, sans changer l'intensité prévue (3 100 tiges/ha pour Ho = 7 m) », en préconisant de « ne pas considérer le dépressage comme prioritaire dans les faibles fertilités ».

## De nouveaux résultats de la recherche

Le bilan de 2007 demandait aussi aux chercheurs « 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 ». Les remesures de ces essais (jusqu'à 20 ans après intervention) ont été traitées selon ce principe, en ce sens que l'analyse a porté non pas sur les seules tiges d'avenir repérées lors de l'intervention initiale mais sur l'état des 300 plus grosses tiges du peuplement, considérées comme le réservoir potentiel des arbres objectif (comme on le fait pour le nouveau réseau d'expérimentation Coop chêne). Moyennant cet ajustement, les essais R&D ont montré que :

- Les résultats basés sur l'analyse de tiges d'avenir s'avèrent critiquables du fait de la sélection initiale précoce de « belles » tiges (aspect élancé) dont le statut, la vigueur et surtout la forme évoluent dans le temps, ce qui est très courant chez le chêne à ces stades. La nouvelle méthode fondée sur l'accroissement en diamètre des 300 plus grosses tiges, réservoir des futurs arbres objectif, a montré une réaction différente du peuplement au dépressage, moins optimiste que ce que l'on espérait, mais plus fiable.
- Seules des interventions fortes ont une efficacité sur la croissance de ces 300 plus grosses tiges/ha, et la recommandation initiale du guide (3 600 tiges à 6 m) est à la limite de l'efficacité, trop proche du seuil à partir duquel l'abaissement de la densité commence à être efficace.
- Le gain sur l'accroissement annuel en diamètre des 300 plus grosses tiges/ha augmente avec la hau-



Pascal Jarret, ONF

Exemple de fertilité 3 : chênaie acidiphile hydromorphe

teur d'intervention et la fertilité du peuplement. Mais en repoussant l'intervention, on « perd du temps » dans la dynamisation de la sylviculture.

- Le meilleur rapport « qualité-prix » technico-économique du dépressage se situe dans une gamme de hauteur de 7 à 9 m : la sélection naturelle prolongée a un effet facilitant et la dimension des tiges n'induit pas encore de complication notable.

### Du pour et du contre (et réciproquement)

Le dépressage est une opération coûteuse : 4 HJ/ha selon le catalogue de prestations 2015 de la délégation territoriale Centre-Ouest – Auvergne – Limousin (COAL). Si l'efficacité sur les 300 plus grosses tiges/ha est inférieure à ce qu'on espérait, il y a de quoi se poser des questions. Surtout si on risque d'en perdre le bénéfice par une sélection trop sévère sur la forme à la première éclaircie, car tous les forestiers n'ont pas complètement intégré le fait que les beaux chênes sont moches au stade juvénile et qu'il ne faut pas enlever les plus gros sous prétexte qu'ils sont branchus. Par ailleurs, on a souvent du mal à réaliser tous les dépressages dans les temps.

Mais il ne faut pas perdre de vue que le dépressage a d'indéniables intérêts : il donne des houppiers plus développés permettant d'espérer une meilleure réaction aux éclaircies ; il limite les stress générateurs de gourmands ; il façonne un plus grand nombre de tiges dominantes susceptibles d'offrir un plus grand choix dans la désignation ultérieure d'arbres objectif ; il favorise le développement du sous-étage, notamment de charme... quand il y en a. Enfin on en espère aussi une amélioration des conditions de réalisation de la première éclaircie pour le bois énergie : sachant qu'à 14 m de haut le peuplement est revenu à la densité maximum biologique en surface terrière, il n'y a pas de perte de production et le volume unitaire

### Quid du travail par points d'appui pour optimiser le rapport coût/efficacité des dépressages ?

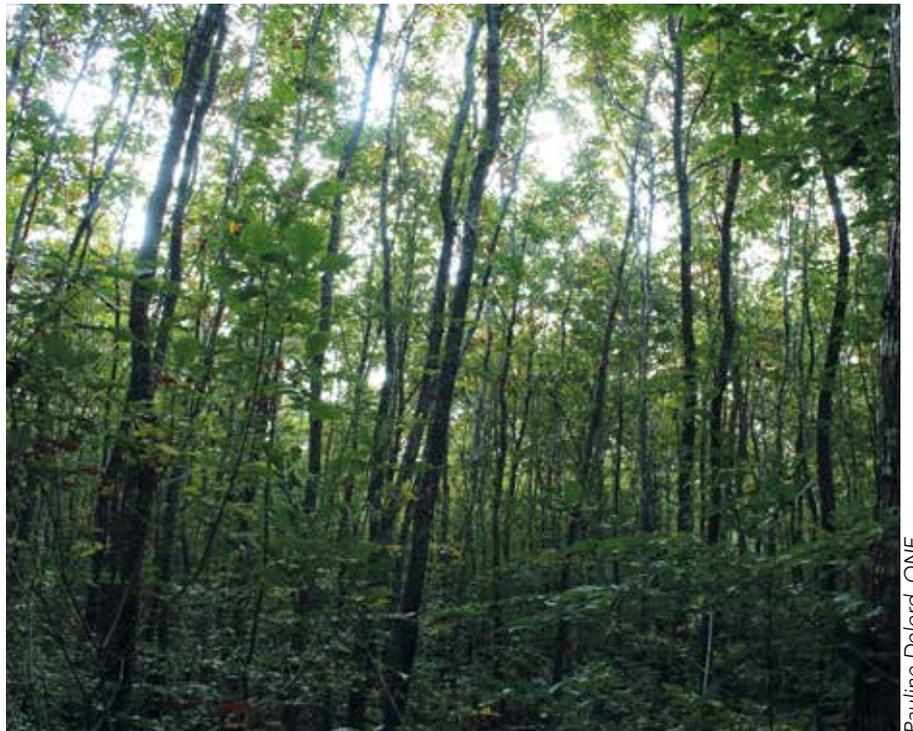
En chênaie continentale, pour diminuer le coût des dépressages (et nettoiemnts), le choix a été fait de retenir des travaux par points d'appui... dans des cas bien précis !

En chênaie atlantique, des essais de dépressage par placeaux avaient montré un faible effet (sur la croissance des tiges) ; le peuplement réagit mieux à l'ambiance lumineuse générale (dont la simple ouverture du cloisonnement sylvicole) qu'au travail localisé. Pourquoi, alors, ce type d'intervention est-il préconisé en chênaies continentales ? Ne pourrait-on pas aussi le pratiquer en chênaie atlantique ?

Le choix de recourir parfois à ce type d'intervention en chênaies continentales visait à diminuer le coût des interventions (sujet particulièrement sensible en forêts communales, majoritaires). Interventions qui, dans la pratique, s'avéraient souvent trop intensives (sur-qualité). Le travail localisé est surtout recommandé pour les nettoiemnts (lutte contre la concurrence du recru ligneux), hors des contextes à très vive concurrence (chêne hêtre et chênaie charmaie). Il est en revanche déconseillé dans les fourrés purs de chêne ainsi que dans les mélanges où le hêtre est très menaçant... qui sont les situations les plus fréquentes en chênaie atlantique.

Autrement dit, le travail localisé n'est pas qu'une question de coût, il a ses propres indications (et contre-indications) techniques : il n'y a pas d'incohérence entre les deux guides mais des contextes majoritaires très différents. Sa mise en œuvre doit d'ailleurs être reprécisée lors d'un bilan à venir du guide des chênaies continentales car elle a été par endroits trop généralisée.

En chênaie atlantique, l'amélioration du rapport coût/efficacité est affaire de priorités et de hauteur d'intervention. Mais que faire pour les peuplements de bonne fertilité qui ne seraient pas absolument prioritaires, si le financement est vraiment problématique (cas de certaines forêts communales) : envisager de ne travailler qu'une bande sur deux ? voire se contenter du cloisonnement sylvicole si on est sûr de pouvoir faire l'éclaircie à 15 m de haut ?



Pauline Delord, ONF

Peuplement de fertilité 2 en FD de Montargis, 5 ans après dépressage selon le référentiel

moyen des tiges à exploiter est plus intéressant (surface terrière répartie sur des tiges moins nombreuses, donc plus grosses); cela pourrait rendre la première éclaircie mécanisable (à confirmer dans la pratique).

## Propositions/discussion

Dans ces conditions, on se propose d'améliorer le rapport coût efficacité par évolution des pratiques, de deux façons :

- **abandonner le dépressage des peuplements de fertilité 3**, dont la réactivité est décevante et qui correspondent à des stations acidiphiles, souvent sans potentiel de sous-étage. Ailleurs, priorité doit être donnée aux meilleures fertilités, notamment s'il y a aussi un gros aspect de nettoyage (cf. chênaie-hêtraie), et aux peuplements de chênaie acidophile à sous-étage potentiel de charme (voir aussi discussion en encadré).
- **repousser la hauteur d'intervention  $H_0$  à 7-9 m** pour une densité respective de 3 200 et 2 400 tiges/ha. En conséquence, le scénario à 2 dépressages (6 et 10 m) devient caduc, sauf peut-être en vraie chênaie-hêtraie où on ne peut guère se permettre de passer de 7 m à 14 m sans intervenir... Dans ce cas il ne faut pas exclure que la deuxième intervention puisse prendre la forme d'une première éclaircie précoce réalisée par des concessionnaires.

Parallèlement, il faudrait tester la mécanisation des premières éclaircies à 14 m, en comparant peuplements dépressés et non dépressés (voir RDVT n° 47, dossier pp. 11-53).

Concernant la hauteur d'intervention, une remarque s'impose : la consigne en  $H_0$ , qui résulte des essais R&D, se réfère à la hauteur dominante *sensu stricto* c'est-à-dire la hauteur moyenne des 100 plus grosses tiges à l'hectare. Or, dans la gestion des fourrés, on l'applique de fait à une population plus importante et mal définie, avec un décalage qui peut être non négligeable. Il faudrait

donc estimer la différence entre  $H_0$  et une hauteur de peuplement qui corresponde mieux à la perception du forestier pour ajuster la consigne, le cas échéant.

## Faut-il émonder et ébourgeonner les arbres objectif ?

Le chêne à merrain représente 60 % des recettes bois de la DT COAL pour 20-25 % du volume. Mais il y a des pertes de rendement liées aux épïcormiques, avec des problèmes de casse ou de fuites. D'où la question : est-il possible, grâce à l'émondage, de produire du chêne sans épïcormiques ? La réponse de la R&D est sans ambiguïté : c'est oui (voir l'article de Gwenaëlle Gibaud et Francis Colin dans ce numéro).

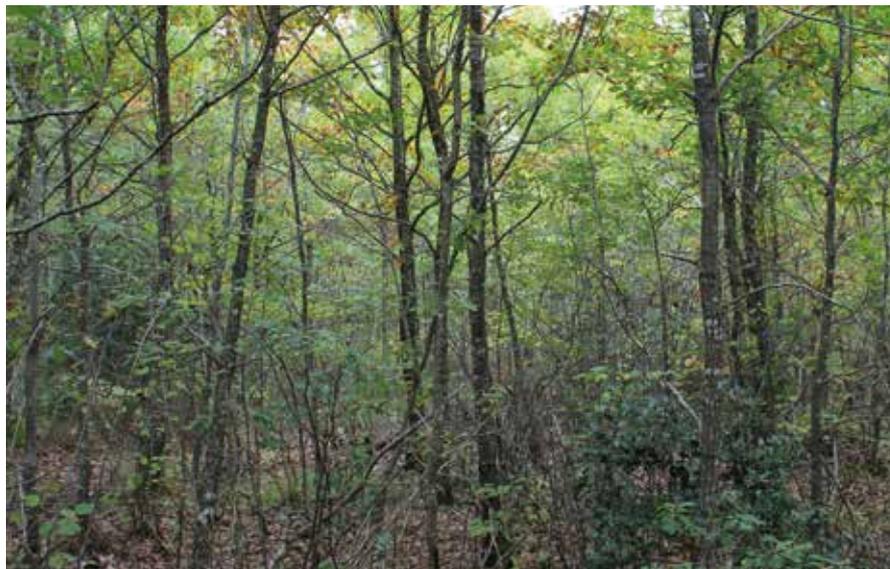
Émondage et ébourgeonnage sont nécessairement complémentaires pour stopper efficacement l'apparition ultérieure d'épïcormiques, sachant que le chêne n'est pas sujet aux bourgeons adventifs (qui apparaissent tardivement, sans trace au cœur, donc non détectables). L'émondage/ébourgeonnage en une seule opération a un effet très bénéfique et durable : la proportion d'arbres comptant moins de 3 épïcormiques entre 0 et 5 m de hauteur passe de 27 à 77 %. Mais plus les arbres portent d'épïcormiques,

plus il est difficile de les émonder totalement : il n'est donc pas pertinent d'émonder des arbres portant beaucoup d'épïcormiques.

L'opération peut s'envisager à l'occasion de la désignation d'arbres objectif. Son efficacité optimale est obtenue par grimpage, avec 2 opérateurs en mai-juin (jusqu'à mi-avril fin juillet), avec un coût constaté de 2780 €/ha pour 60 tiges émondées sur 5,5 m. C'est donc cher, mais dans la majorité des hypothèses financières retenues, l'opération est bénéficiaire (de l'ordre de 300 €/ha).

Pour autant, la mise en œuvre dans la gestion paraît prématurée. On pourrait plutôt continuer les tests sur des chantiers pilotes en différents contextes, en testant aussi le travail à partir du sol au ciseau emmanché, sur une hauteur éventuellement plus réduite (3 m ?), à réfléchir d'après les longueurs de merrain (1,1 m brut, ce qui donne avec les marges des hauteurs de 2,5 m ; 3,6 m ou 4,7 m).

On pourrait viser en premier les chênaies neutrophiles à déficit de sous-étage par action anthropique ancienne (qui représentent 30 % des stations atlantiques) et refaire le bilan dans 5-6 ans. Cela suppose de monter, sur les chantiers pilotes, une formation spécifique pour les ouvriers.



Fourré de fertilité 3, en FD d'Orléans : le dépressage n'y est désormais plus préconisé

Pauline Delord, ONF

## 2 – Retour d'expérience de l'application du guide et conclusion générale

Dans cette deuxième partie, on aborde les difficultés rencontrées (ou les erreurs commises) dans la mise en œuvre des recommandations du guide, regroupées par grands thèmes en ce qui concerne la futaie régulière (le cas de la futaie irrégulière est traité à part, en encadré).

### La gestion en futaie irrégulière : un savoir-faire qui reste mal maîtrisé

La gestion de la chênaie en futaie irrégulière concerne d'assez grandes surfaces en Ile-de-France. En Centre-Ouest-Auvergne-Limousin, elle est réservée par défaut à des contextes particuliers : anciens taillis-sous-futaie (non régularisés), stations acidiphiles ou acidiphiles hydromorphes, où le chêne est souvent en mélange avec le pin.

Le traitement en futaie irrégulière relève d'une approche profondément différente de celle de la futaie régulière. Or les retours d'expérience témoignent d'une grande difficulté à s'approprier les principes de la futaie irrégulière : beaucoup d'interventions réalisées dans ce cadre gardent l'empreinte de la gestion régulière, avec une forte tendance à la futaie régulière par parquets ou à la régularisation. La difficulté vient aussi de ce que les contextes où le traitement irrégulier est engagé ne sont pas les plus propices et qu'on n'est pas sûr de réussir, avec notamment la difficulté du renouvellement du mélange chêne-pin. La crainte de ne pas réussir le renouvellement peut amener à vouloir faire un suivi plus précis (donc beaucoup plus lourd) que celui recommandé par la NDS 08– G-1499 (suivi a posteriori avec bilan en fin d'aménagement) : ce n'est pas utile, il ne faut pas espérer voir du renouvellement avant 10 ans, notamment dans les anciens TSF.

La maîtrise du taillis et son étagement sont en pratique les points clé du traitement en futaie irrégulière (récolte des 2 à 3 plus gros brins par cépée dont l'expérience montre que c'est une opération mécanisable).

Il paraît nécessaire de **remettre en place une formation spécifique** pour les personnels concernés, **en s'appuyant sur les réalisations les plus probantes**, constatées dans certaines chênaies de la Nièvre. Le CRPF proposerait aussi de voir des exemples éloquentes en forêt privée, en chênaie acidiphile de Sologne.

Ceci dit, pour que ces exemples ne restent pas de simples cartes postales, il faut aussi se donner un véritable scénario sylvicole, basé sur des critères d'analyse du peuplement (du haut vers le bas). Cela a été fait récemment pour la hêtraie continentale et aujourd'hui les forestiers concernés se sont bien appropriés les recommandations. C'est sans doute moins évident dans le chêne, beaucoup plus exigeant en lumière (en chênaie-hêtraie la prédominance du chêne ne sera pas tenable en futaie irrégulière). Enfin un guide de sylviculture en futaie irrégulière doit être prochainement élaboré pour l'Ile-de-France (en réponse à une très forte pression du public) : cette région étant à l'intersection des domaines de l'atlantique et du continental, le groupe de travail abordera nécessairement les problématiques de ces deux grands domaines.

### Faut-il ajuster les scénarios de rattrapage ?

La période écoulée a été marquée par une forte activité de rattrapage, sachant que la majorité des peuplements était au départ en excès de densité. Les consignes du guide en la matière sont de conduire les rattrapages sur 2 à 4 passages en coupe avec des rotations raccourcies, les indications étant données :

- en nombre de tiges avant 100 ans, avec des prélèvements recommandés de 20 à 33 % du nombre de tige en fonction de la hauteur ;
- en surface terrière après 100 ans, avec des prélèvements recommandés de 5 à 8 m<sup>2</sup> en fonction de la fertilité.

### Le constat

À l'usage, il s'avère que la réalisation des prélèvements maximum recommandés a prévalu sur l'étalement des rattrapages, en cherchant à rejoindre au plus vite le référentiel (sous la pression des objectifs en volume...). Cela n'a pas eu de conséquences néfastes sur l'évolution des peuplements, sauf dans les rares cas où les niveaux recommandés ont été dépassés ou appliqués à des peuplements dont le capital sur pied ne le justifiait pas. Cependant la fin de la période de rattrapage se traduit par une baisse trop brutale dans les prélèvements.

Par ailleurs, la possibilité de réduire les rotations à 6 ans est problématique car c'est insuffisant pour juger de la réaction du peuplement entre deux interventions.

Enfin, force est de constater que la récolte de gros dominants en amélioration après 150 ans crée des trouées durables qui peuvent se salir et devenir gênantes le moment de régénérer le peuplement venu.

## Propositions/discussion

Quoi qu'il en soit, les recommandations générales du guide ne sont pas à remettre en cause, sauf à les reformuler pour :

- préciser que les **niveaux de récolte indiqués sont des maximums** comprenant l'ouverture des cloisonnements d'exploitation (prévoir 1 m<sup>2</sup>/ha de moins dans les parcelles déjà cloisonnées);
- renforcer le message sur la **nécessaire progressivité des rattrapages**, avec réduction graduelle des niveaux de prélèvement quand on s'approche du référentiel pour amortir la baisse des récoltes;
- ne plus retenir de rotations de 6 ans qui ne permettent pas de juger de la réaction du peuplement entre deux interventions, **attendre plutôt 7-8 ans entre deux interventions**;
- éviter, après 150 ans, la récolte en amélioration de gros dominants (même d'autres essences comme le hêtre) car la trouée est durable : « mieux vaut un gros hêtre qu'une trouée ».

Faut-il aller jusqu'à détailler les scénarios de rattrapage (en surface terrière surtout)? En ajoutant à l'exemple donné dans le guide (figure 2) un graphique indiquant le nombre de coupes à prévoir, en fonction de l'écart au référentiel (figure 3)? La limite est qu'avec le temps on perd de vue le scénario de rattrapage qu'on s'était fixé. Pour éviter les dérapages, mieux vaudrait peut-être tabler sur un diagnostic préalable à chaque coupe en proposant des fourchettes de décision pour la surface terrière à viser après coupe en fonction du capital avant coupe et de l'écart au référentiel. Ce qui demande beaucoup de simulations, sachant qu'il faut prendre en compte la progressivité de la surface terrière objectif selon la fertilité, d'une part, et la hauteur du peuplement, d'autre part. À défaut de pouvoir couvrir tous les cas de figure, on pourrait tester ce type de consigne pour la fertilité 2 et pour une fenêtre de hauteur donnée.

D'une façon générale, on ne peut pas tout attendre du guide. Mieux vaut s'en tenir à un petit nombre de consignes claires et mettant bien en évidence les limites à ne pas dépasser plutôt que de vouloir tout normer, ce qui peut conduire le forestier à appliquer des normes sans se poser de questions... et à faire des erreurs.

## Le cas particulier des îlots de vieillissement

Les îlots de vieillissement visent l'optimisation écologique, économique, sociale ou culturelle de peuplements remarquables. Ils sont recrutés de préférence dans les meilleures futaies

de chêne sessile afin de constituer une « vitrine » durable, donc renouvelée, de la chênaie atlantique.

Quand ils sont en excès de densité, la recommandation du guide est de poursuivre la sylviculture de rattrapage. Mais aux âges très avancés cela risque d'être trop brutal pour la résilience du peuplement. Mieux vaut sans doute ne pas chercher à rejoindre le référentiel, et plutôt stabiliser la surface terrière après coupe au niveau final attendu à l'issue du cycle prolongé, aux alentours de 30 m<sup>2</sup>/ha. Par ailleurs le guide donne peu d'indications, en termes

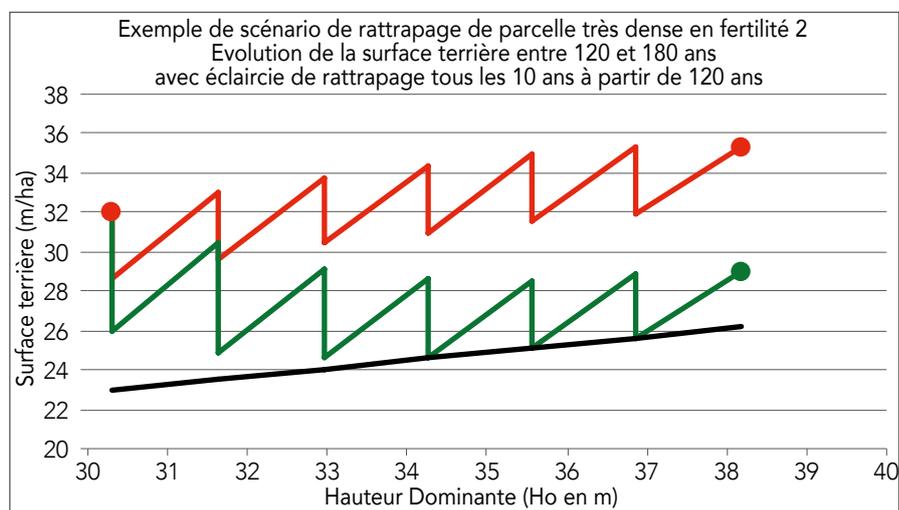


Fig. 2 : l'exemple de scénario de rattrapage présenté dans le guide  
En rouge, le scénario « tendanciel »; en vert, le scénario de rattrapage; en noir, le référentiel. Le rattrapage est obtenu en 4 passages avec un prélèvement dégressif

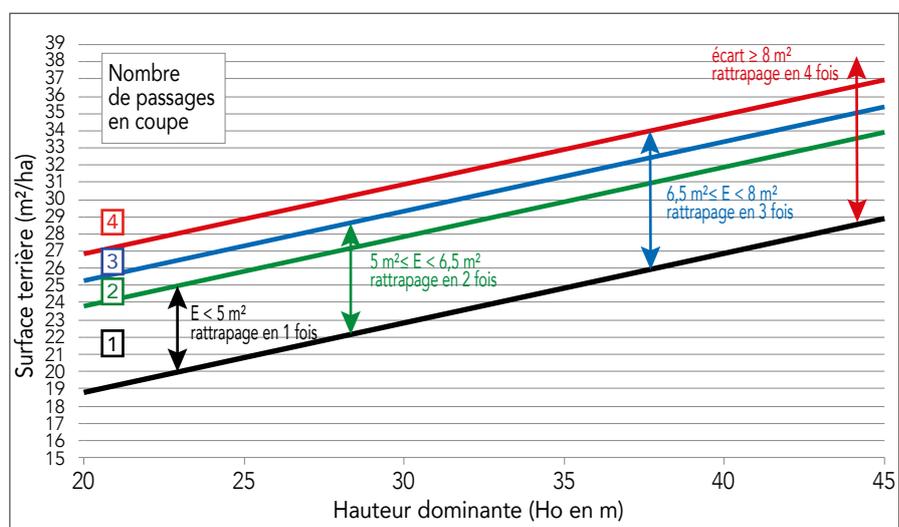


Fig. 3 : nombre de coupes de rattrapage en fonction de l'écart (E) au référentiel, en fertilité 2

de rotations et prélèvement, sur la gestion « normale » de ces îlots de vieillissement depuis le stade où ils sont désignés (c'est-à-dire quand ils atteignent les critères ordinaires de mise en régénération) et jusqu'au peuplement final, à savoir une cinquantaine de tiges de diamètre 80 cm et plus à des âges de l'ordre de 250 ans.

### Retrouver ses repères dans un contexte sylvicole changé

En ces premières années d'application du guide, la dynamisation de la sylviculture s'est imposée facilement (et les martélosopes y ont bien aidé) dans des peuplements globalement en excès de densité, où la concurrence était forte et évidente pour le sylviculteur.

Aujourd'hui la situation est plus complexe et demande une plus grande technicité. S'il reste des peuplements en surdensité, la plupart ont été ramenés au niveau du référentiel : la concurrence est moins forte et le sylviculteur peine à se défaire de ses repères de rattrapage ; il a le sentiment que « l'intervention n'est pas urgente » et que « il vaudrait mieux attendre un peu pour marquer plus ». Il faut maintenant apprendre à marquer des éclaircies « normales » correspondant à la poursuite de la sylviculture engagée, c'est-à-dire faire des prélèvements inférieurs à l'accroissement biologique, de l'ordre de 3 à 4 m<sup>3</sup> par passage. C'est **l'enjeu principal des prochaines années : stabiliser le niveau des récoltes en amélioration** (figures 4 et 5).

Quelques peuplements ont fait l'objet d'interventions trop fortes, au-delà des recommandations du guide, ou n'ont pas réagi comme on l'attendait (notamment en fertilité 3). Il faut apprendre à diagnostiquer ce type de situation et prendre les dispositions adaptées : reporter la coupe d'un ou deux ans ne suffit pas ; une demi rotation paraît une bonne base.

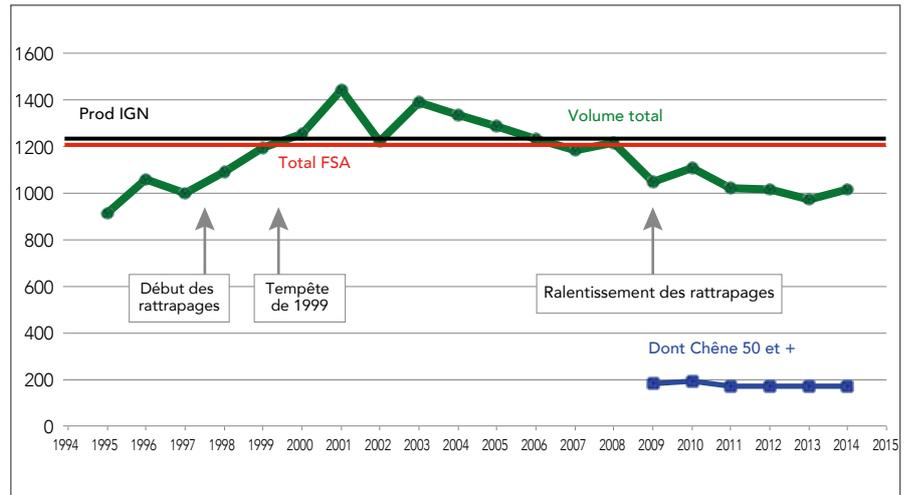


Fig. 4 : évolution des récoltes (en milliers de m<sup>3</sup>) en forêt domaniale de Centre-Ouest – Auvergne – Limousin sur les 20 dernières années  
Il s'agit essentiellement de chêne : on distingue bien la période de décapitalisation (1999-2008), puis la baisse du niveau de prélèvement.  
NB : la production de référence IGN (Prod IGN) est corrigée de son biais de surestimation

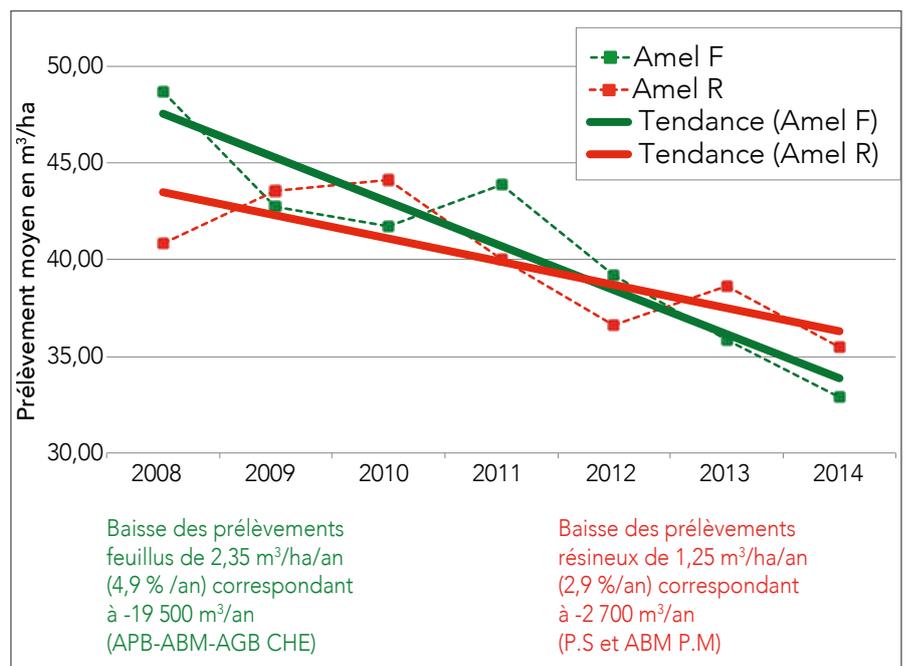
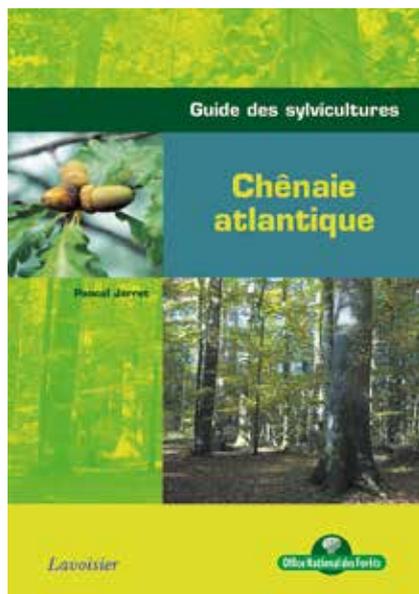


Fig. 5 : évolution des prélèvements moyens en coupes d'amélioration feuillus (Amel F) ou résineux (Amel R) de plaine à échantillon constant (DT COAL hors forêts de montagne)  
L'outil de suivi des prélèvements moyens en coupe d'amélioration de plaine confirme que les récoltes en amélioration baissent de près de 5%/an et qu'on est passé en-dessous du niveau qui correspond à la sylviculture normale et auquel il faut désormais se stabiliser.

## Appliquer le guide avec plus de pragmatisme et généraliser les pratiques éprouvées

Les principaux déterminants de la sylviculture sont parfaitement reconnus et le guide est bien appliqué mais de façon parfois trop littérale, au détriment de l'esprit. Inversement, certains points importants pour la conduite des peuplements restent localement « ignorés ».



### Besoin de pragmatisme dans le choix de l'indice de fertilité pour les jeunes peuplements...

Actuellement, on détermine la fertilité au cas par cas, à l'occasion des diagnostics sylvicoles (estimation de la hauteur dominante dans un peuplement dont on est censé connaître l'âge), souvent au stade juvénile; on se réfère aux courbes de croissance en hauteur, dont la validité pour ce stade est douteuse (figure 1). En outre, les intervalles de confiance sont souvent mal maîtrisés au niveau des hauteurs et des âges. En conséquence, la fertilité peut être remise en cause à chaque diagnostic, ce qui est aberrant.

Le guide insiste pourtant (page 104) sur la nécessité d'une démarche fiable et recommande **une approche plus globale de l'indice de fertilité**, tenant compte des peuplements

adultes voisins sur station équivalente. Une fois déterminé le référentiel correspondant, il s'agit de ne pas le remettre en cause à chaque passage. Quand on est en limite de classe, notamment, il faut faire un choix et s'y tenir (donc le « tracer »).

En attendant une couverture globale du territoire par LiDAR aérien (et une possible application au calcul spatialisé d'un indice de fertilité), la solution pour **rompre avec l'excès de pointillisme** consiste à définir l'indice de fertilité et le choix du référentiel sylvicole au niveau de cantons homogènes. Cette démarche relève de l'aménagement forestier ou, à défaut, d'une analyse dûment enregistrée au sommier de la forêt.

### ... et dans l'utilisation des référentiels

Certaines erreurs viennent aussi d'une lecture trop rigoriste des référentiels, malgré la mise en garde du guide (p. 104) : « le terme de référentiel a été préféré à celui de norme [...] car il correspond plus à des repères donnés au sylviculteur en fonction de nos connaissances actuelles qu'à des contraintes imposées dont l'application sans discernement a parfois conduit à des interventions critiquables ». Le référentiel représentant des moyennes, « il est normal de fluctuer dans une fourchette de  $\pm 10\%$  autour de cet optimum [qui] est donné pour des peuplements pleins aux arbres parfaitement répartis. La présence de quelques trouées ou zones de moindre densité doit conduire à viser une densité moyenne inférieure, sans chercher à compenser les trouées par des surdensités dans le restant du peuplement » (p. 105).

Ainsi, si **la comparaison d'un diagnostic sylvicole avec le référentiel** permet bien d'orienter le martelage, elle **ne dispense pas de considérer d'autres critères importants** mais difficilement quantifiables, en particulier la fermeture du couvert et la répartition des tiges. Le constat d'un peuplement encore très ouvert, qui n'a

pas suffisamment réagi à l'éclaircie précédente, peut conduire à modérer voire différer le martelage, même si le peuplement est nettement au-dessus du référentiel (en nombre de tiges). Inversement, une parcelle où les tiges sont inégalement réparties, avec une alternance de bouquets denses et de plages beaucoup plus claires, justifie un passage en coupe même si le capital avant coupe est au niveau du référentiel voire inférieur (cas fréquent dans les peuplements issus de taillis-sous-futaie).

Reste que le diagnostic des cas d'hétérogénéité présente une vraie difficulté, pour faire la distinction entre :

- les peuplements dont l'hétérogénéité a principalement un caractère spatial, qui relèvent du référentiel normal de futaie régulière avec une simple décote sur le prélèvement, estimée (à dire d'expert) au prorata des zones claires ;
- les peuplements dont l'hétérogénéité concerne aussi les diamètres et qui relèvent du référentiel de conversion des anciens TSF en futaie régulière (où le niveau de surface terrière après coupe est inférieur de  $3\text{ m}^2$  à celui de la futaie régulière).

Pour rappel, cette hétérogénéité des caractéristiques dendrométriques peut être quantifiée en mesurant la surface terrière par tour relascope à raison de 20 points/parcelle et en évaluant la dispersion; ce qui nécessite impérativement de bien s'étalonner d'abord sur terriroscope. Un diagnostic Sylvie de maillage équivalent avec des placettes comportant au moins 12 tiges convient également.

Enfin ces critères sylvicoles sont bien sûr à croiser avec les contingences du milieu et les possibilités de commercialisation, lesquelles peuvent varier d'une année à l'autre ou selon un contexte particulier. Pour les gros bois de belle qualité, par exemple, le prélèvement commercialisable peut être plus faible que pour les bois ordinaires. Mais ne perdons pas de vue que les situations délicates restent rares...

## Il reste à généraliser des pratiques qui ont fait leurs preuves

Si le guide est globalement bien mis en œuvre, on peut regretter la persistance de petits noyaux de résistance à des points particuliers, qui pourtant ont fait la preuve de leur intérêt :

- la désignation d'arbres objectif, fondamentale pour que la sylviculture soit vraiment efficace ;
- le marquage en réserve de la première éclaircie, surtout dans les peuplements non dépressés ;
- les cloisonnements d'exploitation.

Par ailleurs, les diagnostics sont en général bien réalisés dans les jeunes peuplements pour les engager sur la bonne « trajectoire », mais ils sont encore très insuffisants aux alentours de 100 ans, quand il s'agit de changer de repères (passer du nombre de tiges à la surface terrière) et au-delà.



Pauline Delord, ONF

Résultat d'une première éclaircie marquée en réserve, en FD de Montargis

## La conduite des régénérations

### Régénérations naturelles : quelques points de vigilance

En matière de régénération naturelle, les directives du guide sont globalement bien appliquées, mais avec localement deux types d'« excès » :

- des coupes définitives trop fortes ( $> 12 \text{ m}^2/\text{ha}$ ) pour respecter la durée prévue de régénération (maximum 12 ans) alors que les prélèvements des coupes précédentes (notamment les secondaires) ont été insuffisants ;
- une accélération excessive des régénérations à faible capital sur pied ( $< 8$  ans). Dans ces parcelles ( $G < 20 \text{ m}^2/\text{ha}$ ), une secondaire suffit mais il n'est pas souhaitable de descendre à moins de 8 ans entre le relevé de couvert et la coupe définitive.

Par ailleurs, la stratégie de programmation des coupes d'ensemencement est si bien admise... qu'on en oublie l'adaptation préconisée pour certains contextes stationnels : n'ouvrir la régénération (= relevé de couvert) que sur promesse de glandée dans les chênaies acidiphiles hydromorphes ainsi que dans les chênaies-hêtraies associées aux légers reliefs où les glandées sont moins fréquentes (page 70). Or ce principe est à renforcer dans toutes les chênaies acidiphiles (pas seulement hydromorphes), où la limitation des herbicides rend la lutte contre la molinie et la fougère de plus en plus compliquée.

Il s'avère enfin que l'acquisition d'un sous-étage diversifié (hêtre ou charme) est une difficulté, particulièrement dans le renouvellement des futaies en chênaie acidophile. Le maintien de quelques gros bois comme semenciers d'essences de sous-étage n'est pas satisfaisant : le chêne est éliminé sous leur couvert et la dispersion des semences sur la parcelle n'est pas assurée. Dans ce

contexte, mieux vaut maintenir des gros brins de sous-étage éparpillés (10 à 20/ha?) que l'on récoltera en secondaires avec les houppiers des chênes.

### La transformation des peuplements de chêne pédonculé en chêne sessile

Compte tenu de son comportement pionnier (et de l'activité humaine) le chêne pédonculé est répandu très au-delà de son optimum stationnel alors que le chêne sessile, vu son tempérament social et son autécologie, s'impose comme essence objectif dans la majorité des stations du domaine atlantique. Mais les techniques qu'évoque le guide (p. 25) pour transformer en sessile ces peuplements à chêne pédonculé hors station s'avèrent inadaptées.

En régénération naturelle, il préconise d'extraire les chênes pédonculés à la coupe d'ensemencement... ce qui constitue la meilleure manière de les régénérer si on est, comme souvent, en phase avec une glandée ! Une autre technique est en test dans plusieurs forêts : l'extraction des chênes pédonculés en coupe préparatoire quelques années avant le relevé de couvert de manière à ce que les semis disparaissent sous le couvert. Les seuils de prélèvements possibles en extraction restent à préciser.

La substitution par plantation, délicate et coûteuse, est à réserver aux meilleures stations. Le guide préconise l'élimination chimique de la régénération naturelle de chêne pédonculé pour éviter le risque (élevé) de la voir prendre le dessus sur la plantation de sessile. Mais on perd alors « l'ambiance forestière » et le recrû ligneux dont le rôle est essentiel dans la réussite des plantations. Différentes techniques de plantation de sessile dans le recrû de pédonculé ont été testées, avec de nombreux échecs liés à la perte de reconnaissance des deux espèces

à un stade plus ou moins avancé de la plantation. De ces échecs, on peut tirer les facteurs de réussite : il faut que les lignes de plantation de chêne sessile soient travaillées et dégagées de toute concurrence de chêne pédonculé, sans autre intervention dans le bourrage que de le maîtriser pour qu'il ne concurrence pas la ligne de plants. Le dispositif de plantation serait le suivant : cloisonnements sylvicoles à 5 m avec 1 ligne de chêne sessile régulièrement entretenue sur 1 m de large et 1 m de bourrage de chaque côté.

## Faut-il faire évoluer les itinéraires techniques de travaux sylvicoles (ITTS) ?

Globalement, la mise en œuvre des ITTS est satisfaisante. Les moyens affectés aux travaux de régénération, calibrés d'après le recensement de la BDR (base de données régénération) et le coût estimé des ITTS, ont permis d'assurer correctement le renouvellement des peuplements, en respectant les durées prévues. Cependant, si l'esprit des ITTS est bien de limiter les travaux au strict nécessaire en fonction de diagnostics préalables, on a localement péché par excès de minimalisme en ne programmant des travaux qu'en ultime limite, au risque de perdre des régénérations (ex : dégagements trop espacés en chênaie-charmaie). Et les restrictions budgétaires ont amplifié cette tendance à la sous-programmation. La situation est en voie de rattrapage.

En conséquence, **une révision à court terme des ITTS de régénération ne s'impose pas... sauf pour le contexte particulier des chênaies acidiphiles à forte dynamique de lande à fougère ou molinie** (espèces monopolistes). L'abandon des herbicides les plus efficaces, dalapon et azulame, conduit dans ces stations à de graves difficultés de régénération, naturelle ou artificielle.

Les recherches engagées sur la maîtrise de la végétation monopoliste ont fait émerger, pour la plantation,



Pauline Delord, ONF

*Exemple de station problématique à forte dynamique de lande à fougère et molinie, en FD d'Orléans*

des techniques alternatives avec travaux du sol adaptés aux différents contextes stationnels et qui permettent d'endiguer la molinie ou la fougère (outils pour mini-pelle, Culti3B® tracté; voir par exemple RDVT n° 43 – hiver 2014, pp. 11-21 et 22-32).

Cependant ces méthodes alternatives ne sont guère adaptables à la régénération naturelle. La gestion du couvert sera donc déterminante pour prévenir les échecs : ne relever le couvert que sur promesse de glandée, comme on l'a vu plus haut, et tester le maintien d'un léger couvert de brins de taillis, qui a fait ses preuves en contexte continental, dans les stations hydromorphes (effet de pompe).

Dans le cas de la fougère, le bâtonnage reste une solution solide mais pas généralisable en version manuelle (pénibilité, besoin de main-d'œuvre importante sur une fenêtre de temps réduite...). On attend donc beaucoup du bâtonneur mécanique en cours de développement et dont

les résultats sont prometteurs : un broyage à hauteur jusqu'à 50 cm de hauteur, puis 2 bâtonnages mécaniques devraient permettre d'assurer la régénération. Quant aux effets bénéfiques d'un amendement calcique, ils ne sont pas immédiats : d'après les résultats des essais d'Ecouves et Perseigne (entre autres), il faudrait avoir anticipé de quelque 25 ans. Force est de reconnaître que l'état actuel de notre savoir-faire ne permet pas encore de proposer d'ITTS suffisamment confirmés.

Par ailleurs, le bilan des nombreuses plantations de chêne sessile réalisées en stations acides au cours des dernières décennies est très décevant, avec de nombreux échecs (évolution vers une futaie de pin sylvestre ou un taillis de bouleau) ou des plantations à très faible croissance. Cela conforte les orientations du guide et de la directive régionale d'aménagement (DRA) du bassin ligérien visant à réserver les plantations de chêne sessile aux fertilités 1 et 2, et à préférer les pins en cas de doute.

## En conclusion

À l'issue de ce bilan, il y a peu de modifications à envisager pour le guide des sylvicultures de la chênaie atlantique, s'agissant de la futaie régulière :

- revoir le scénario sylvicole en fertilité 3, et y abandonner le dépressage ;
- en fertilités 1 et 2, ajuster la sylviculture juvénile en retardant le dépressage vers 7 à 9 m de hauteur dominante, avec en conséquence une densité de 3 200 à 2 400 tiges/ha (et en levant l'ambiguïté sur l'appréciation pratique de la hauteur d'intervention) ;
- préciser les scénarios de rattrapages, et notamment ne plus descendre les rotations à 6 ans ;
- réajuster les recommandations techniques relatives aux transformations de chêne pédonculé hors station.

Mais un effort important est à déployer en matière de management technique :

- pour une mise en œuvre plus pragmatique du guide de sylviculture ;
- pour remettre en pratique ou généraliser des recommandations « perdues de vue » ;
- pour s'adapter à un contexte sylvicole beaucoup plus complexe et diversifié que lors de l'élaboration du guide.

Les principaux acquis n'étant pas remis en cause, il n'y a pas lieu de réviser dans l'immédiat le guide des sylvicultures de la chênaie atlantique, mais il faut en faire rapidement un « mémento pratique » rappelant les fondamentaux et intégrant les modifications. Ce mémento sera concis mais suffisamment explicatif pour éviter le piège d'une application trop simpliste. Le cas de la futaie irrégulière et les itinéraires de travaux sylvicoles feront l'objet de fascicules distincts à moyen terme.

Mais la prescription papier ne suffit pas et doit faire l'objet, pour être bien appréhendée, d'un solide

accompagnement technique ; en l'occurrence, une formation généralisée et obligatoire de « mise à jour » des compétences et des pratiques. Ce n'est d'ailleurs pas une simple mise à jour, dans la mesure où on quitte la période des rattrapages généralisés pour entrer dans celle de la sylviculture « normale » avec des prélèvements de l'ordre de 3 m<sup>2</sup>/ha en amélioration : les sylviculteurs ont besoin de trouver de nouveaux repères.

La DT COAL a fait le choix stratégique et « historique » de se donner les moyens d'un haut niveau de technicité, à la hauteur des enjeux de la chênaie atlantique et dans un esprit de collaboration avec les territoires voisins : bassin nord-ouest et chênaie continentale. Le réseau d'appui technique et de développement (RATD) qu'elle met en place aujourd'hui poursuit la même exigence et assurera l'animation technique « de croisière » (avec martélosopes, terriéscopes, diagnostics, etc.) et le retour d'expérience en continu.

**Christine Micheneau**

**Quentin Girard**

ONF, Direction Forêts  
et Risques Naturels  
département RDI

## Remerciements

Merci à Pauline Delord (RATD pôle ligérien de la DT COAL) et Thierry Sardin (DFRN, expert national sylvicultures) pour leur relecture scrupuleuse. Merci aussi à Pascal Jarret, tout jeune retraité et néanmoins brillant animateur de ce bilan, et relecteur attentif également.

## Références

ONF, 1996 – Bulletin technique de l'Office national des forêts, n° 31 (spécial sylviculture) – 80 p.

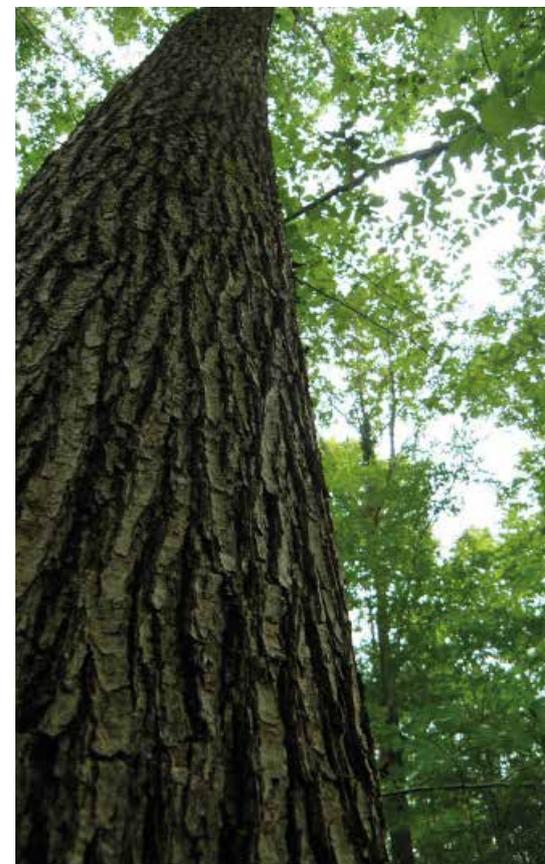
Duplat P., Tran-Ha M., 1997. Modélisation de la croissance en hauteur dominante du chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl) en France.

Variabilité inter-régionale et effet de la période récente (1959-1993). Annales des sciences forestières, vol. 54 (7), pp.611-634.

Charru M., 2012. Diagnostic et origine environnementale des évolutions récentes de la productivité forestière en France à partir des données de l'Inventaire Forestier National (IFN). Thèse AgroParisTech. UMR LERFOB.

Bontemps J.-D., 2006. Évolution de la productivité des peuplements réguliers et monospécifiques de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et de chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) dans la moitié Nord de la France au cours du XXe siècle. Thèse de doctorat. ENGREF, 407 p. + annexes

Morisset J.B., 2012. Tomographie à rayons X; analyse et modélisation de l'ontogénèse des épicomiques du chêne sessile (*Quercus petraea* (L.) Matt.). Thèse de doctorat. AgroParisTech (LERFoB), 143p. + annexes



# Polémique autour du « carbone neutre » : quels leviers à la disposition des gestionnaires forestiers pour l'atténuation du changement climatique ?

*Une note de 4 pages pour tirer les conclusions, en matière de gestion forestière, d'une étourdissante polémique sur le « carbone neutre », c'est une gageure. Le résultat est forcément imparfait, mais il permet de donner des repères pour comprendre la controverse.*

**D**ans son plan de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la France fait la part belle au développement des énergies renouvelables. L'objectif est de satisfaire 23 % des besoins par les énergies renouvelables à l'horizon 2020, et la biomasse devrait représenter la moitié de cet objectif. Cette forte mise à contribution de la biomasse, notamment du bois, repose essentiellement sur le principe, considéré comme une évidence, de la « neutralité carbone » du bois énergie. Le CO<sub>2</sub> émis par sa combustion avait initialement été capté par photosynthèse et il est immédiatement recyclé dans l'accroissement biologique des peuplements forestiers : le bilan est donc neutre pour l'atmosphère... Sauf que ce n'est pas si simple !

Depuis 2008, on a assisté à un déferlement d'articles critiques et à d'intenses controverses sur ce sujet. En tant qu'établissement public forestier, l'ONF est forcément interpellé (au propre comme au figuré) par cette polémique. Il a besoin d'y voir clair sur ce qui peut améliorer ou dégrader le bilan carbone forêt-bois et d'identifier les leviers d'action possibles pour asseoir la gestion à venir sur des raisonnements solides. D'où la demande d'une analyse bibliographique approfondie.

Confiée à un groupe de veille animé par Christine Deleuze et composé essentiellement (mais pas seulement) de chercheurs du département Recherche, Développement et Innovation, l'analyse a d'abord consisté en un long travail de repérage et décortiquage des articles publiés sur cette question en Europe et ailleurs : plus de 400 références ont été passées au crible, avant de pouvoir donner lieu à une synthèse organisée.

Ce travail fera l'objet d'un rapport détaillé mais, en vue de la COP 21<sup>1</sup> qui se tiendra à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015, il était important de tirer rapidement les principales conclusions pour pouvoir les partager avec les interlocuteurs impliqués dans le processus de préparation. D'où la commande d'une note de synthèse claire et succincte de 4 pages.

Compte tenu du format imposé, l'ambition de cette note n'est évidemment pas de rendre compte de toutes les subtilités développées dans une littérature foisonnante et très diverse dans les approches. Il s'agit seulement de poser aussi clairement que possible les termes de la discussion, en ce qui concerne la gestion des forêts.

Cela donne un texte compact et parfois un peu abrupt. Cependant il expose des éléments de discussion et de réflexion qui, au-delà du cercle initial des destinataires prévus, intéressent l'ensemble des forestiers : c'est pourquoi il est reproduit ici, tel quel. Dans la même veine, on peut aussi consulter l'avis que l'Ademe a publié en juin dernier sous le titre « Forêt et atténuation du changement climatique »<sup>2</sup>.

**Christine Deleuze,  
Christine Micheneau**  
ONF, département RDI

## Le groupe de veille

Pour le département RDI : Christine Deleuze, Hanitra Rakotoarison, Vincent Boulanger, Jean-François Dhôte (désormais à l'INRA), Gwénaëlle Gibaud (désormais chef d'UT à Modane, Savoie), Noémie Pousse, Yves Rousselle, Bruno Chopard (désormais à l'agence Bourgogne Est), Didier François, Myriam Legay, Claudine Richter, François Morneau (désormais à l'IGN), Hervé Le Bouler... avec l'appui logistique de Sophie Cornu, responsable de la documentation.

Autres ONF : Marianne Rubio (DCBS ; responsable nationale études), Joël Conche (DFRN, chargé de mission graines et plants).

Et sous convention : Marc Peaucelle (Doctorant conseil, Université Paris VI).

<sup>1</sup> 21<sup>e</sup> Conférence des parties (COP) de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC ; UNFCCC en anglais)

<sup>2</sup> [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avis\\_ademe\\_foret-attenuation-cgnt-clim\\_vdef.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avis_ademe_foret-attenuation-cgnt-clim_vdef.pdf)

## Polémique autour du « carbone neutre » : quels leviers à la disposition des gestionnaires forestiers pour l'atténuation du changement climatique ?

La présente note tire les conclusions d'une **veille bibliographique de plus de 400** articles couvrant la période 2008-2014 sur le concept de « neutralité carbone » et ses implications dans la dimension physique et environnementale. Notre synthèse concerne toute la littérature européenne et mondiale pouvant éclairer le **devenir des forêts françaises** de métropole ; bien que leur surface ait augmenté de 60 % au siècle précédent, nous faisons l'hypothèse qu'une certaine tension pour l'usage des terres limitera désormais l'extension forestière et les réflexions qui suivent supposent une stabilité de cette surface.

### Le concept de « neutralité carbone »

Le concept de « neutralité carbone » vient du choix initial de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques de séparer les comptabilités carbone entre émissions de carbone fossile et séquestration (Kyoto, 1997). Pour la forêt, le carbone est comptabilisé sur la base de la variation annuelle **des stocks aérien et souterrain** et, pour **éviter un « double compte »**, le carbone relâché ensuite par les produits bois n'est pas comptabilisé (émissions issues de la combustion de bois, par exemple). Dans le même esprit de simplification, cette comptabilité réglementaire est associée à un principe de « neutralité » pour l'atmosphère : la molécule de CO<sub>2</sub> relâchée avait été initialement captée par photosynthèse, donc le bilan est neutre. Du moins dans le cadre d'une gestion forestière durable qui assure le renouvellement du potentiel photosynthétique. Ce principe est à l'origine du fort développement du **bois énergie comme levier majeur de l'atténuation**.

### La remise en cause de l'hypothèse de neutralité carbone

#### *La neutralité carbone ne prend pas en compte le temps et conduit à une « dette carbone »*

La polémique principale autour du concept de « neutralité carbone » apparaît surtout avec la prise en compte de la temporalité des processus. Si le carbone biogénique est potentiellement réabsorbé par photosynthèse sur le long terme, la coupe d'un arbre ou d'un peuplement se traduit d'abord par une **diminution instantanée (i) du stock de carbone** sur pied et **(ii) de la capacité d'absorption** du carbone (« pompe ») : ces stock et pompe mettront quelques dizaines d'années à se reconstituer. Ce décalage temporel entre émission et réabsorption complète du carbone crée ce qui a été appelé une **« dette carbone »**.

Ce concept ne concerne pas une forêt à l'équilibre, où les différents stades de développement sont répartis de manière à assurer un renouvellement permanent, si bien que les volumes coupés correspondent aux accroissements, avec un stock sur pied stabilisé. Il apparaît cependant dès qu'on envisage de changer de système de production, avec de nouveaux produits objectifs, associés à des stocks et des flux différents. Selon le nouvel équilibre carbone du système obtenu, on pourra parler de dette si le stock moyen revenu à l'équilibre est plus faible, et cette dette devra être compensée dans le temps par un effet de substitution plus fort des produits bois. Inversement il faudra parler **« d'investissement carbone »** si, malgré un stock transitoirement plus faible, le nouvel équilibre du système permet d'élever le niveau moyen de stock et flux de carbone.

Autrement dit, l'avantage d'atténuation dans le moyen ou long terme nécessite souvent un **« coût carbone »** à court terme, qui cristallise les débats. Car pour l'atmosphère, le carbone relâché aujourd'hui n'a pas le même impact que celui qui sera relâché dans 50 ans : il faut donc **considérer toutes ces échelles de temps** pour mesurer l'intérêt d'une solution.

#### *L'ambition biomasse – énergie renouvelable nécessite des récoltes supplémentaires en forêt*

La seconde source de vifs débats concerne la montée en puissance de la biomasse pour répondre à l'ambition affichée sur les énergies renouvelables (ENR) : 23 % d'ENR en 2020, dont 50 % assurés par la biomasse, une bonne part étant supposée disponible en forêt. Le bilan carbone des forêts doit tenir compte des émissions de carbone d'origine fossile liées à l'exploitation de cette biomasse et du fait que, pour une même énergie libérée, les combustibles fossiles sont souvent moins émetteurs de carbone que le bois. Ces deux restrictions ont cependant peu d'impact puisque le bois permet encore d'éviter l'émission de carbone fossile par substitution. Mais l'effet d'atténuation attendu de la récolte supplémentaire de biomasse souffre à court terme d'une dette carbone puisque le bilan d'une récolte supplémentaire ne devient positif qu'après 20 à 100 ans selon les scénarios et les dynamiques de production. Selon les hypothèses concernant l'évolution de la demande énergétique, l'évolution du taux de prélèvement en forêt (voire l'introduction de cultures dédiées ou semi-dédiées), et enfin d'efficacité énergétique du bois, certaines perspectives montrent même une pression importante sur la forêt, avec réaction négative à court terme sur les émissions de GES et une compétition accrue pour les autres usages du bois. Sans entrer dans cette polémique, l'analyse qui suit ne considère que les solutions assurant **une gestion durable de la forêt**.

## Les scénarios pour l'atténuation doivent adopter le point de vue de l'atmosphère

Si la neutralité carbone du bois énergie est remise en cause, il faut, pour aller plus loin dans l'analyse, considérer le bilan de carbone non seulement de la forêt mais aussi des usages du bois : produits bois, recyclage et produits en fin de vie (décharge ou déchetterie). Bien plus, l'utilisation du bois permet d'éviter des rejets de carbone en remplaçant des matériaux plus énergivores : c'est l'effet de **substitution**. Au-delà de la comptabilité carbone internationale pour le secteur forestier, qui pousserait plutôt le forestier vers le **stockage en forêt**, l'objectif d'atténuation doit prendre en compte **le carbone total revenu à l'atmosphère**, pour lequel le forestier peut jouer à la fois sur **le stock en forêt et sur l'ensemble des flux jusqu'à la substitution**.

### Agir sur la séquestration de carbone en maximisant les stocks en forêt ?

Une première approche est de **maximiser la biomasse forestière sur pied**. Cette option est **intéressante à court terme** car la ressource française est globalement jeune et le carbone peut encore s'accumuler fortement. Sur le long terme, le gain diminue avec le vieillissement de la forêt, de plus en plus soumise à des **risques biotiques et abiotiques** qui augmentent la probabilité de « relargage » massif de carbone à l'occasion d'un accident (dépérissements, feux, attaques d'insectes, tempêtes...) : le stockage en forêt peut donc être temporaire. Les **changements climatiques** obligent à prendre en compte l'augmentation de ces risques : élargir la zone de prévention des incendies, limiter la hauteur des peuplements sur les zones exposées aux vents, adapter les essences aux températures et pluviométries à venir.

Ces éléments pris en compte, le stockage en forêt peut être maximisé mais, en contrepartie, la baisse de la récolte réduit le stockage de carbone dans les produits bois et promeut l'usage d'autres matériaux non renouvelables et plus énergivores. Cette solution de séquestration en forêt a donc un effet positif limité sur le court terme mais conduit ultérieurement à un résultat inverse : **l'absorption de carbone par les forêts devient faible voire nulle ou même négative** (émission) sur le long terme, le stock carbone des **produits bois diminue** sur le moyen terme et surtout le **bénéfice de substitution** des produits non récoltés **est perdu immédiatement**.

### Agir sur la séquestration de carbone dans les produits bois ?

Le **stockage de carbone dans les produits** est difficile à estimer mais reste de plus faible niveau que celui dans le stock forestier (actuellement autour de 350 MtCO<sub>2</sub> contre 2,5 milliards tCO<sub>2</sub>). En France, la proportion de constructions en bois est faible (4 % ≈ 2000) par rapport à d'autres pays (10 % en Allemagne, 20 % UK et >80 % aux Canada et USA). L'amélioration de l'utilisation du bois (français) **pour la construction** recèle donc un **fort potentiel de stockage carbone supplémentaire**. Cependant les différents travaux convergent pour dire que la séquestration qui pourrait résulter d'une augmentation des stocks dans les produits bois resterait limitée, en particulier par rapport à la séquestration en forêt.

### Prendre en compte l'effet cumulatif de la substitution et la hiérarchie des usages

En revanche l'utilisation de produits bois **en substitution d'autres matériaux** énergivores réduit de manière **cumulative et définitive** les émissions de carbone « fossile » associées. L'amplitude de cette réduction dépend du produit substitué : le coefficient de substitution est de l'ordre de 0,3 à 0,4 tCO<sub>2eq</sub> évité par m<sup>3</sup> produit pour du bois énergie contre 1 à 1,5 tCO<sub>2eq</sub> pour des produits bois d'œuvre. Il dépend principalement de la durée de vie des produits, de l'efficacité des processus dans la filière bois (efficacité technologique et énergétique) comme dans les filières des produits substitués, des traitements en fin de vie (recyclage, décharge ou déchetterie), mais aussi du coût énergétique du produit substitué. La mise en œuvre du matériau bois, souvent plus léger et maniable (chantiers plus rapides et moins énergivores), peut aussi contribuer à l'effet de substitution.

Cependant l'efficacité de la substitution est sujette à une forte **incertitude** liée aux **méthodes de mesure et de comparaison**. Ces méthodes comparent du carbone physiquement séquestré dans un stock à des émissions de carbone potentiellement évitées. Pour le bois énergie, on sait que l'effet substitution est plus fort vis-à-vis du charbon que vis-à-vis du fuel ou enfin du gaz ; mais le mix énergétique de référence de la France est particulièrement peu émetteur de carbone avec la part de nucléaire. Par ailleurs les processus de production des produits non renouvelables deviennent plus efficaces, ce qui diminue quelque peu l'effet de la substitution.

Autrement dit, si la **hiérarchie BO>BI>BE** des usages du bois ne fait pas de doute, les **données sur les valeurs de substitution sont encore trop lacunaires** pour permettre d'orienter les itinéraires forestiers vers les produits à plus fort bénéfice carbone. Mais il reste que le bois a un énorme atout : sa **polyvalence**. Une grande part des « déchets » résultant des processus de transformation (produits connexes) peuvent être valorisés (panneaux, énergie), tandis qu'après un premier **usage matériau**, il peut être **recyclé** (papier, bois déchiqueté) et terminer son cycle en **fournisseur d'énergie**. L'**utilisation en cascade des produits** bois contribue à une économie de carbone par **substitutions cumulées pour la même matière utilisée**.

## Optimiser les stocks et les flux en même temps ?

La grande difficulté de l'exercice est que la maximisation du stock en forêt entraîne une diminution de la récolte, tandis que celle des flux oblige à une diminution des stocks. L'optimisation simultanée des deux pose la question d'une **métrique commune**, les stocks étant évalués assez directement alors que la substitution est évaluée indirectement par les économies potentielles d'émissions. Cet optimum est donc difficile à établir mais, une fois obtenu, le cycle du carbone serait dans un état quasi-stationnaire, où les stocks en forêt et dans les produits seraient constants ; le seul bénéfice carbone qui perdurerait serait celui de la **substitution**, qui est toujours **cumulatif**.

## Le stockage de carbone du sol : un potentiel énorme mais peu connu

En plus de la biomasse racinaire déjà prise en compte dans le stockage forestier, le sol renferme des quantités importantes de carbone (l'ensemble est du même ordre de grandeur que la biomasse aérienne), mais de grosses incertitudes pèsent sur la capacité des sols à **stocker davantage de carbone de façon stable** sur le long terme. Les résultats diffèrent fortement selon les profondeurs de sol analysées. Plus les couches sont **superficielles**, plus elles sont **sensibles aux perturbations naturelles ou anthropiques** et susceptibles de libérer rapidement des quantités importantes de carbone dans l'atmosphère. Il faut ensuite des décennies pour retrouver un état d'équilibre, lui-même lié à la production de litière (donc à la biomasse aérienne) et à l'activité biologique du sol (donc à la fertilité du sol). **En profondeur**, les valeurs à l'équilibre semblent principalement **dépendre des propriétés intrinsèques des sols** (en particulier la quantité d'argile) et de l'enracinement du peuplement plutôt que de l'historique (spécificité des écosystèmes forestiers, où les sols sont peu voire pas travaillés ni fertilisés). Ainsi, une baisse de la fertilité chimique ou une dégradation de la fertilité physique en lien avec une récolte accrue de biomasse pourrait modifier la capacité de stockage de carbone des sols. La dynamique du carbone du sol fait encore l'objet de nombreuses recherches, avec de fortes inconnues concernant les drivers de la stabilisation du carbone et ceux de la respiration des organismes vivants, qui pourrait augmenter avec les changements climatiques, même si cet effet est actuellement compensé par une augmentation de la productivité.

Les opérations de **fertilisation ou amendement** sont en général **propices à la séquestration** et devraient être reconsidérées, en fonction des zones où elles auraient le meilleur impact, tout en veillant à limiter les éventuels effets indésirables.

## La forêt ne peut pas à elle seule répondre aux attentes d'énergie renouvelable mais peut contribuer à l'atténuation du changement climatique

### Quel scénario de référence pour comparer les choix d'atténuation ?

Pour pouvoir faire des choix en ce qui concerne la contribution de la forêt à l'atténuation, il faut préciser d'où on part (l'état initial de la ressource) et à quel scénario de référence on compare les perspectives possibles de climat et de gestion.

En France métropolitaine, l'état initial (≈ 2000) correspond à **une forêt jeune et productive**, où la productivité augmente alors que la récolte reste très en deçà de la production, ce qui conduit à une augmentation mécanique du stock. Le scénario de référence en tendancieriel est la poursuite de cette **capitalisation**. Les perspectives envisagées sont le plus souvent à **climat constant**, malgré l'apparition de premiers « symptômes » : zones dépérissantes dans le Sud, augmentation d'événements rares (tempêtes, sécheresses), diminution de productivité de certaines essences même si d'autres continuent à pousser plus vite, attaques d'insectes inédites, régénérations de plus en plus difficiles à obtenir avec l'alternance d'hiver engorgés et de sécheresses estivales... **Aucun des changements annoncés n'est actuellement pris** en compte dans les analyses prospectives pour la France. La France est à l'interface de différents climats : méditerranéen, continental, océanique... Selon les zones, les évolutions seront différentes et incertaines : déficits hydriques accentués au Sud, risques d'incendies à l'Ouest, augmentation des températures au Nord.

### Le premier levier de l'atténuation est l'adaptation

La forêt ne jouera pleinement son rôle que si elle peut s'adapter sans périlcliter. Cette **adaptation** passe dans certaines zones par l'introduction d'essences ou provenances plus appropriées, ailleurs par des changements d'itinéraires pour **limiter les risques** (sécheresses, tempêtes, insectes). La priorité, sur les zones exposées, est de **diminuer la vulnérabilité** des peuplements (essences/provenances plus adaptées, amendements des sols, baisse de la densité et du capital sur pied, réduction des durées de révolution pour limiter les hauteurs, réussite des renouvellements). Dans tous les cas le **renouvellement des peuplements** sera crucial et passera pour une bonne part par des plantations.

Mais il faut aussi **limiter le coût carbone** qui pourrait résulter de choix anticipés d'adaptation de ces peuplements vulnérables : agir **prioritairement** dans les **zones les plus vulnérables**, intervenir au plus près possible de l'âge habituel de renouvellement (limiter les sacrifices d'exploitabilité amplifiés par l'effet de substitution) et **arbitrer** chaque cas par rapport au **risque** pris à laisser le peuplement en gestion classique.

Pour les zones *a priori* peu menacées et qui pourraient bénéficier d'une **augmentation de productivité** (à l'exemple de la Scandinavie), le potentiel d'atténuation réside dans des peuplements conduits **plus denses**, en visant des **produits à plus fort effet de substitution**. La productivité peut aussi être renforcée en adaptant l'**essence/provenance** et en **améliorant les sols** trop fragiles par amendement.

## Une récolte actuellement de 50 % de la production : un potentiel et des limites

En France métropolitaine, le **prélèvement** est important mais correspond actuellement à **peine à la moitié de la production observée**, avec toutefois de grandes disparités par zones et propriétés. Certaines zones difficiles d'accès, comme en montagne, nécessitent des méthodes de récolte spécifiques avec de lourds investissements (meilleure desserte, exploitation par câble) et le développement d'une filière locale. D'autres zones connaissent des difficultés structurelles de morcellement pour lesquelles des plans de mobilisation essaient de proposer des solutions. Pour la forêt publique et surtout domaniale, la possibilité de récolte supplémentaire concerne essentiellement les **menus bois** inexploités jusque là : récolte d'arbres entiers dans des premières éclaircies que la mécanisation rend possibles (au lieu de les différer), ou récolte de houppiers entiers en coupe finale.

Selon certaines études, cette récolte supplémentaire de « **résidus** » de faible diamètre en bois énergie a un effet d'atténuation assez rapide : la « dette carbone » est compensée en moins de 10 ans compte tenu de ce que serait leur vitesse de décomposition naturelle en forêt. Toutefois ce potentiel reste limité en quantité totale et doit prendre en compte la sensibilité locale des sols à supporter des exportations supplémentaires d'éléments minéraux. L'utilisation des **souches et racines** a un potentiel d'atténuation sur le beaucoup plus long terme dans la mesure où les perturbations du sol qui en résultent sont source d'émissions supplémentaires (à moins que le sol ne soit travaillé de toute façon en gestion ordinaire). Par ailleurs les récoltes supplémentaires de ces « rémanents » doivent tenir compte des contraintes de la gestion multifonctionnelle, non seulement le maintien de la fertilité des sols et de leur capacité à stocker du carbone mais aussi la préservation de la biodiversité (notamment pour les milieux protégés spécifiquement).

Globalement, l'Ademe suppose dans ses prospectives que le niveau de récolte du seul bois fort tige pourrait atteindre 75 % de la production correspondante (le niveau actuel en forêts domaniales étant déjà de 70 %), soit une progression de près de 50 %, tandis que le gain supplémentaire attendu dans les « rémanents » sera limité.

## Transformer la ressource pour augmenter la production ?

Au-delà de l'augmentation de production à laquelle on s'attend dans certaines zones avec les changements climatiques, la gestion peut actionner un autre levier important de l'atténuation, qui consiste à **augmenter la production pour maximiser les stocks et/ou l'effet de substitution** : choisir des essences ou provenances non seulement adaptées mais aussi plus productives, amender les sols.

Pour des cultures dédiées au bois énergie installées sur des terrains en déprise agricole, le bilan carbone est positif, tandis qu'il devient plus discuté pour la transformation de peuplements forestiers en cultures à courte rotation : la perte de stock en forêt n'est que très lentement compensée par l'effet de substitution du bois énergie et peut impacter les autres fonctionnalités de la forêt. Le bilan est nettement moins contesté lorsque les produits visés sont principalement du bois d'œuvre, toujours associé à une récolte de bois industrie et bois énergie. Par ailleurs, la productivité des peuplements est rarement à l'optimum et l'atteinte de cet optimum (par ajustement de la sylviculture) a souvent un impact positif sur le bilan carbone, au moins à moyen terme. Enfin, l'effet substitution peut être optimisé en tenant compte de la **cascade des usages**. Le **choix des essences et des itinéraires** associés aux produits ayant le **plus fort effet de substitution** permettrait d'améliorer le bilan de substitution. La France aurait par exemple avantage à enrichir des peuplements pauvres de type taillis ou taillis-sous-futaie vieillissants à vocation de bois de feu ou trituration avec des résineux à vocation de construction.

## Quels leviers finalement pour les forestiers ?

Même si la biomasse énergie n'est parfois « carbone neutre » qu'à moyen terme, **la forêt, au sens plus large que la biomasse**, doit contribuer à l'atténuation et possède pour cela plusieurs atouts. Toute la difficulté réside dans l'optimisation simultanée des stocks de carbone sur pied et des flux, c'est-à-dire de **la production forestière**, en la **focalisant sur des produits à plus haute valeur de substitution**.

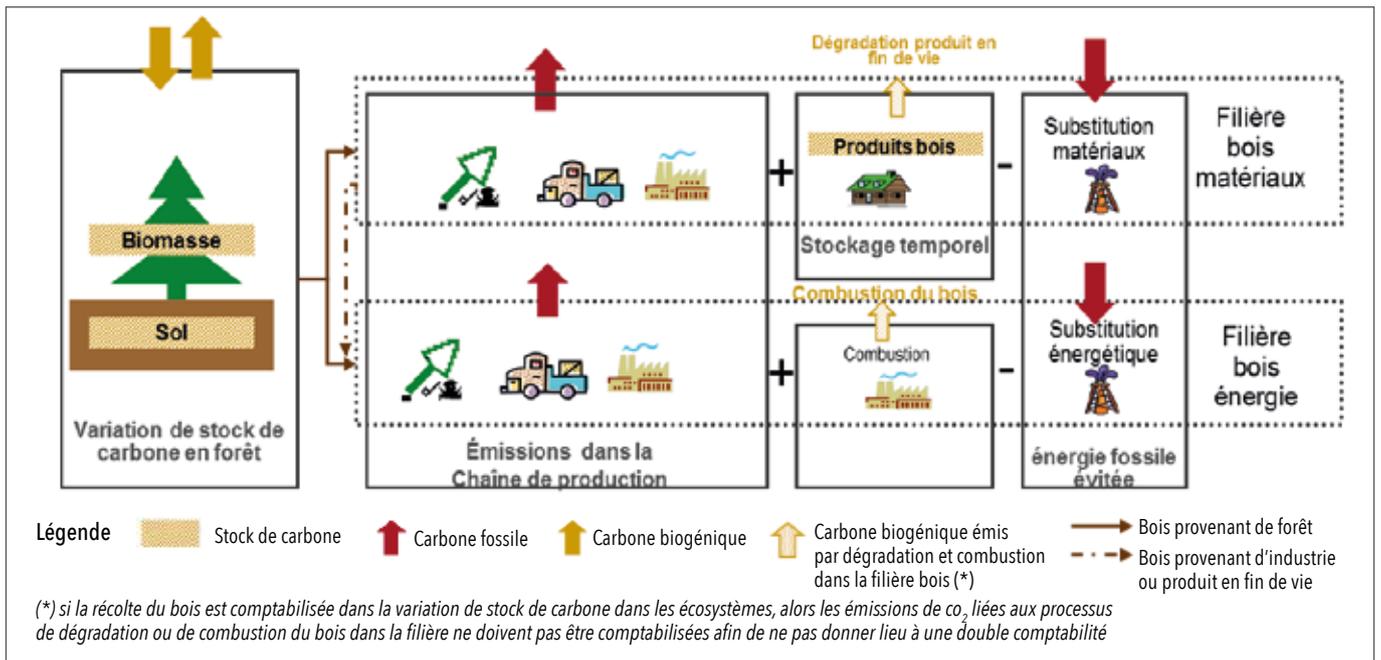
L'ensemble de l'analyse montre que la solution unique n'existe pas mais qu'on devra **raisonner localement**, d'abord en fonction de l'évolution attendue des conditions pédoclimatiques, des contraintes environnementales, des risques possibles mais aussi des opportunités, et des autres services éco-systémiques à conserver à l'échelle du massif forestier. Cependant les pistes proposées reposent pour beaucoup sur **une évolution des peuplements**, qui passera souvent par des plantations (notamment changement d'essence ou provenance) et parfois par des amendements (voirX fertilisations), ce qui nécessitera des **investissements**. Les outils quantitatifs manquent actuellement pour démontrer les gains escomptés (carbone et économie) par rapport aux effets attendus des changements climatiques et aux différences de production de différentes essences ou provenances sur une même station.

Reste enfin que, si fondamental soit-il, le carbone n'est pas le seul critère de gestion, et que le coût d'investissement des options d'atténuation obligera à **prioriser les actions** en fonction des risques et des opportunités.



Nathalie Pétreil, ONF

Bois énergie : la France a des objectifs ambitieux fondés sur le principe de neutralité carbone.



Représentation des émissions et absorptions de carbone de la filière forêt-bois.

(Source : « Forêt et atténuation du changement climatique » - Les avis de l'Ademe - juin 2015).



Pierre Cadiran, ONF

FCBA

Atténuation : une forêt globalement jeune peut encore stocker du carbone... sous réserve des risques biotiques ou abiotiques, mais surtout on peut orienter la production forestière vers des produits bois à fort effet de substitution.



---

## à suivre

---

### Prochain numéro :

Pas de dossier particulier, mais un ensemble éclectique d'articles de consistance et tonalités variées.

### Retrouvez RenDez-Vous techniques en ligne

**Sur intraforêt :** depuis toutes les pages d'intraforêt, cliquer sur le lien « Centres de documentation » du pavé « Ressources » en colonne de gauche (ou noter, dans la barre d'adresse : <http://biblio.onf.fr>) pour aller dans l'espace « Centres de documentation » ; en choisissant « Rendez-vous techniques » dans les collections ONF, on accède à tous les articles et dossiers au format pdf.

**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 développement et innovation  
Christine Micheneau  
Tél. : 01 60 74 92 47  
Courriel : [rdvt@onf.fr](mailto:rdvt@onf.fr)

