



**HAL**  
open science

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

Gwénaëlle Gibaud, Francis Colin, Alix Reisser, Roland Martin, Jean-Baptiste Morisset, Frédéric Mothe, Bruno Garnier, Jialin Song, James Wright, Matthieu Mauvezin, et al.

### ► To cite this version:

Gwénaëlle Gibaud, Francis Colin, Alix Reisser, Roland Martin, Jean-Baptiste Morisset, et al.. L'émondage-ébourgeonnage des chênes : bases botaniques, mode opératoire et calcul de rentabilité. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2015, 48-49, pp.3-16. hal-02630134

**HAL Id: hal-02630134**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02630134v1>**

Submitted on 27 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 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.

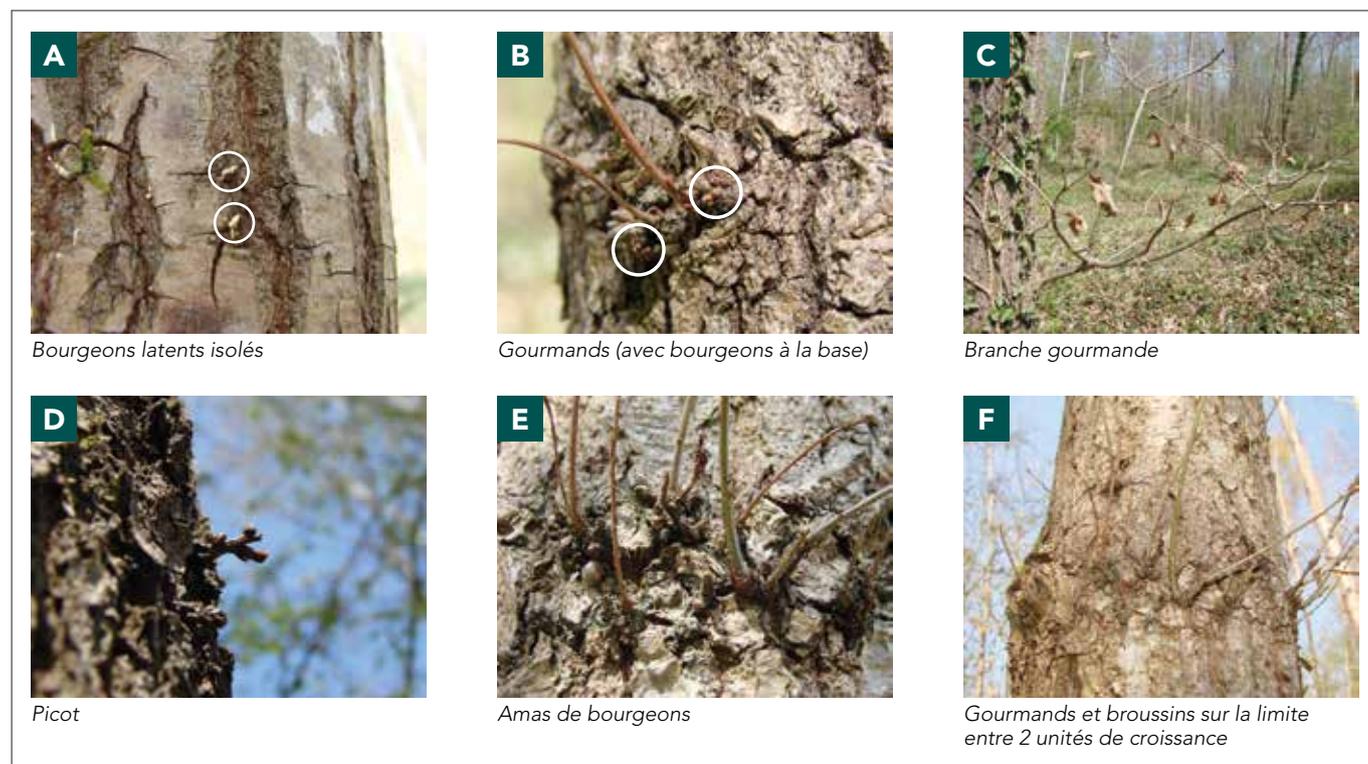


Fig. 1 : les types d'épïcormique observés à l'extérieur des grumes

→ 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 épicromiques que si les bourgeons portés à la base de ces branches épicromiques 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.

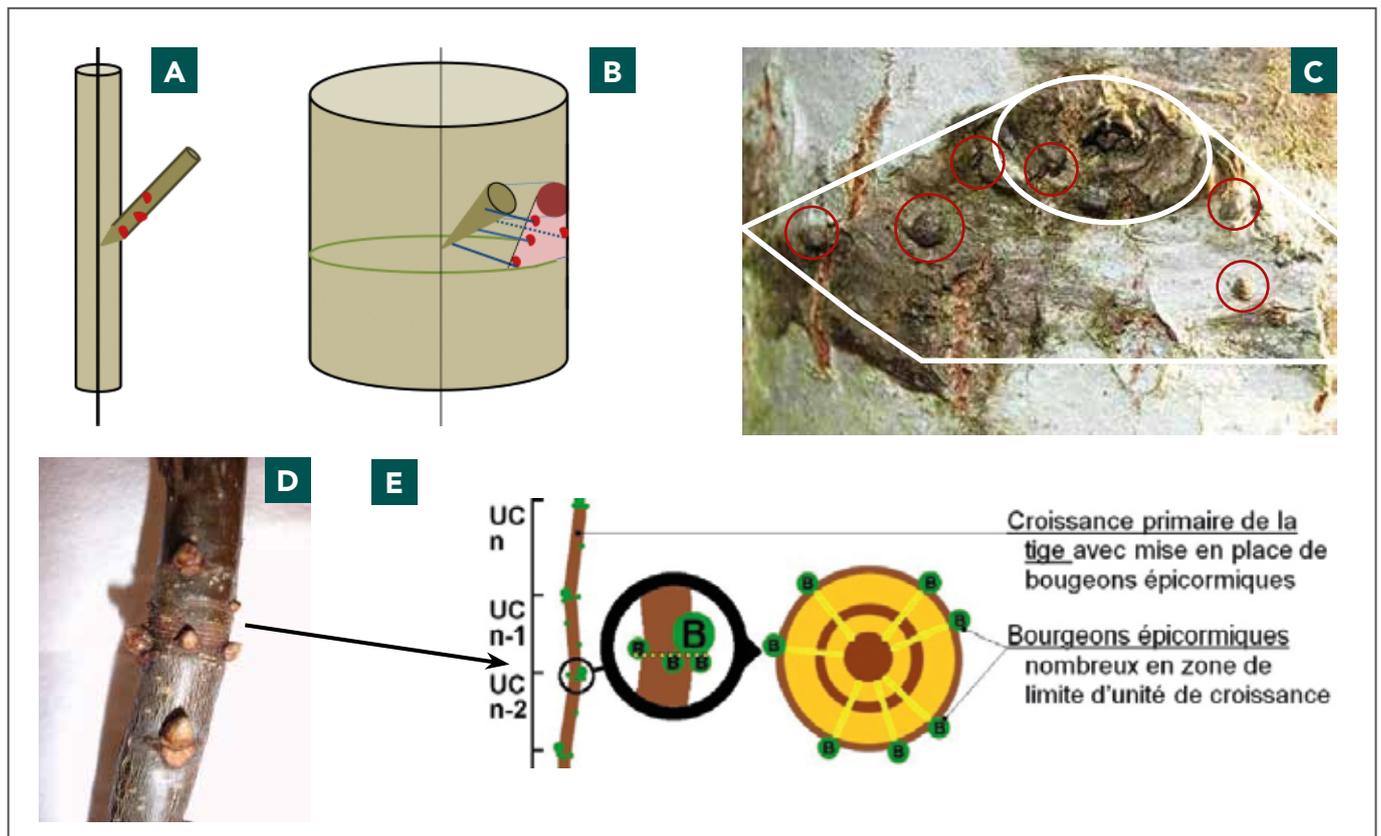


Fig. 2 : schéma des deux zones préférentielles de mise en place des épicromiques

- 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 écailles, tombées, ayant protégé le bourgeon terminal. E. Bourgeons épicromiques 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).

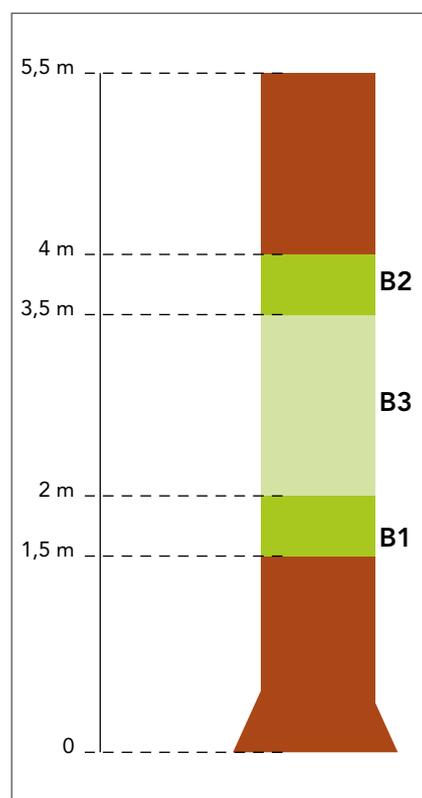


Fig. 3 : bandes de comptage des épïcormiques de 1988 à 2008

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.

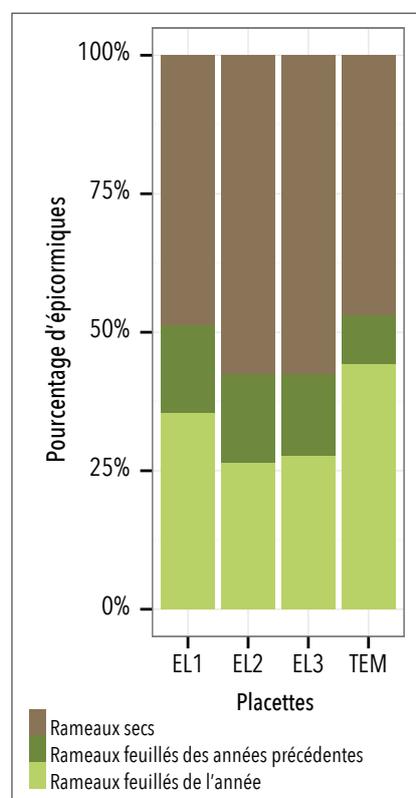


Fig. 4 : pourcentage d'épïcormiques par type en 1988

### 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 %.

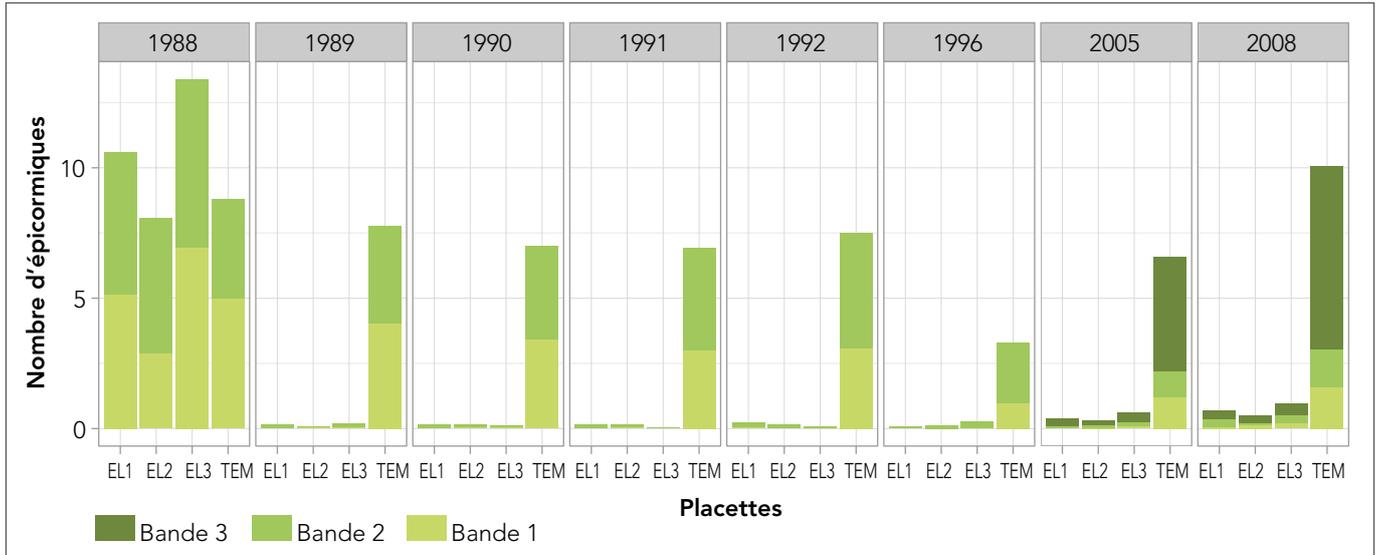


Fig. 5 : nombre moyen d'épicormiques (tiges feuillées + tiges sèches) par arbre de 1988 à 2008 (comptages sur B1+B2 de 1988 à 1996 et sur B1+B2+B3 en 2005 et 2008)

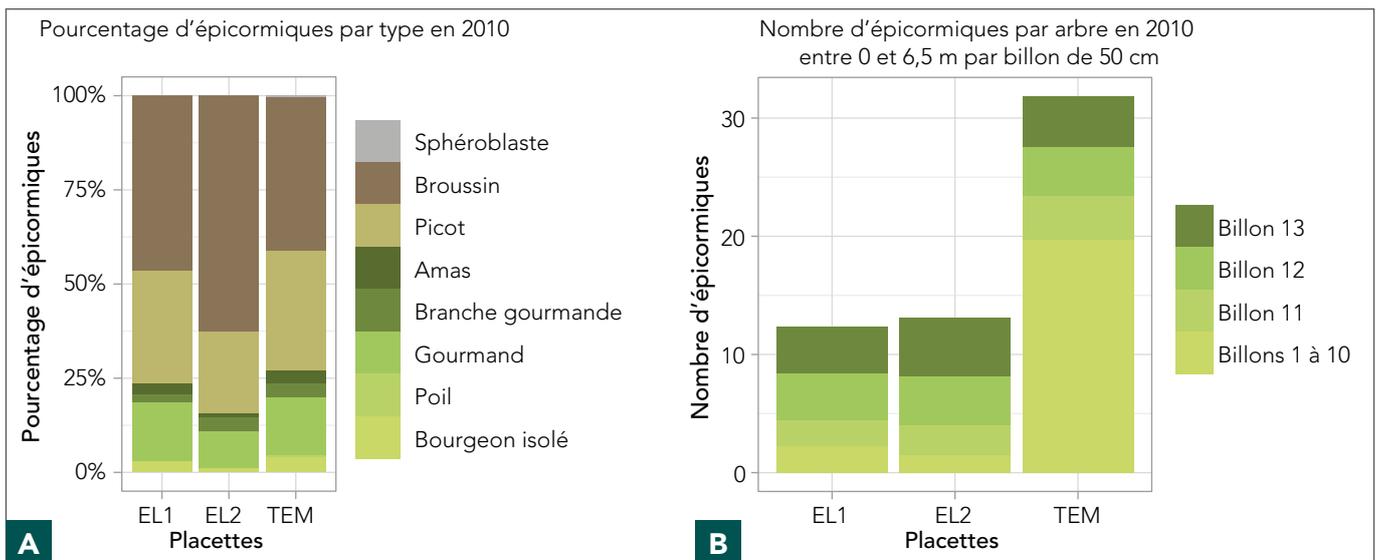


Fig. 6 : A. pourcentage d'épicormiques par type en 2010 et B. nombre moyen d'épicormiques par arbre en 2010 entre 0 et 6,5 m par billon de 50 cm

	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 épïcormiques 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

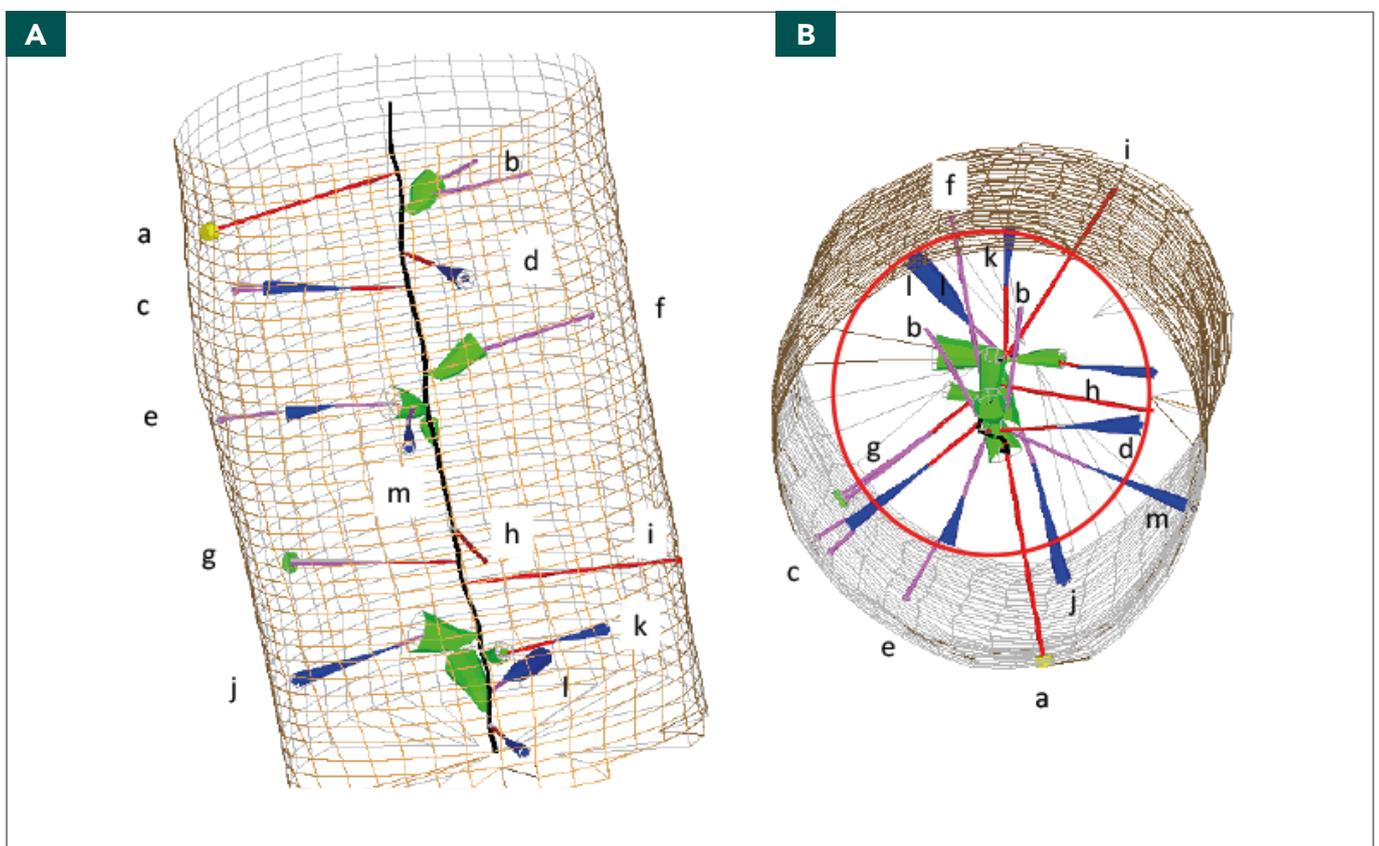


Fig. 7 : reconstitution de quelques successions d'épicormiques dans le cadre de l'expérimentation d'émondage ; A. vue latérale. B. vue du dessus

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

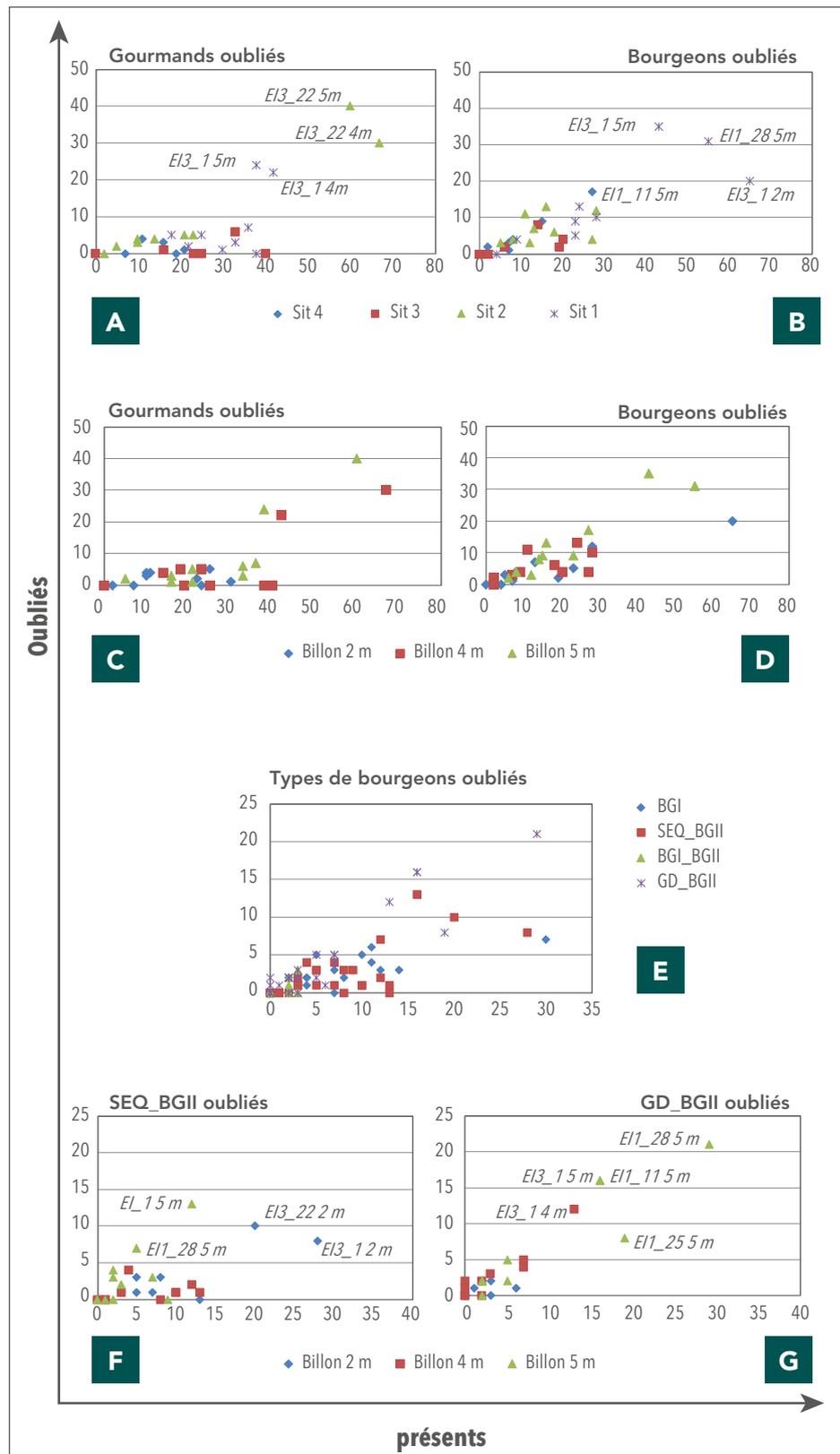


Fig. 8 : nombre d'épicormiques oubliés au regard des effectifs présents au moment de l'émondage, pour chaque billon analysé

- 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.

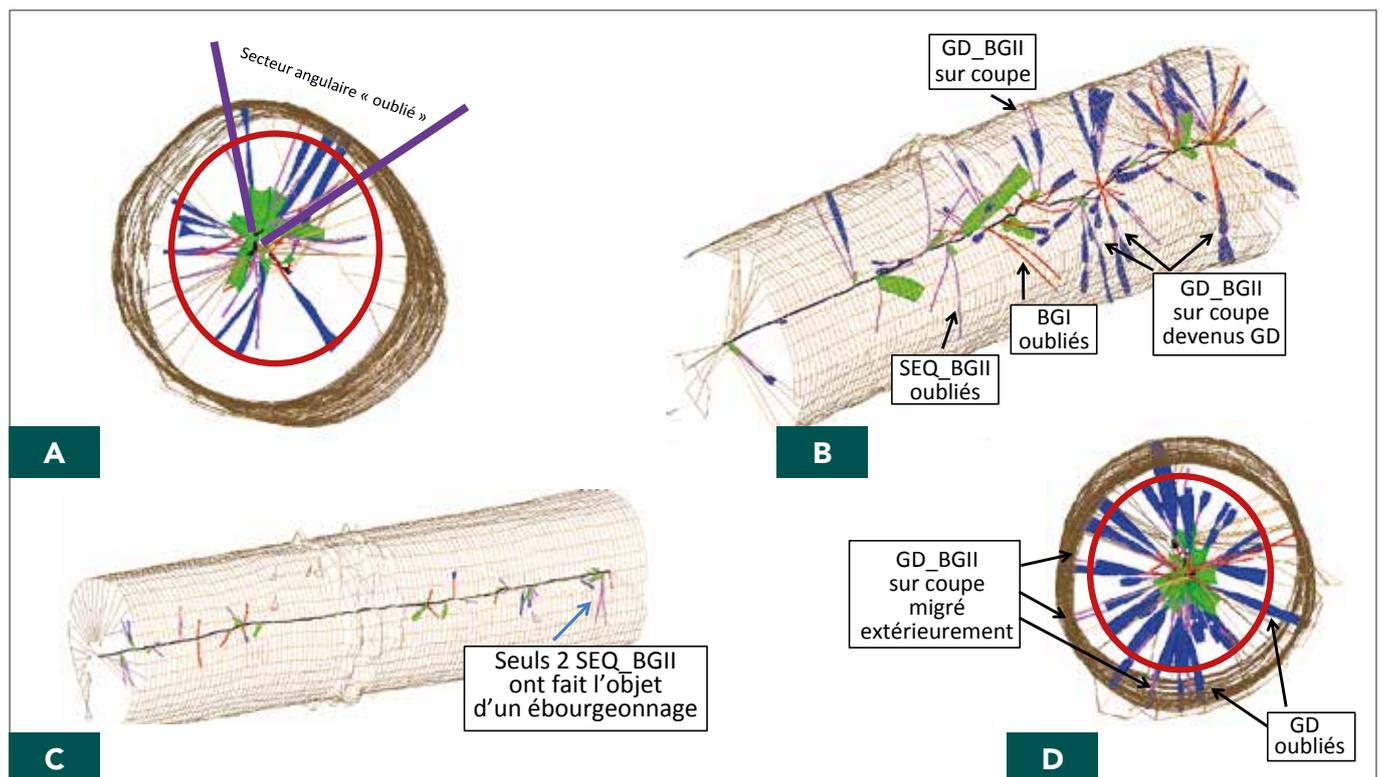


Fig. 9 : différentes vues des traces raméales reconstituées dans les billons scannés

- 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.

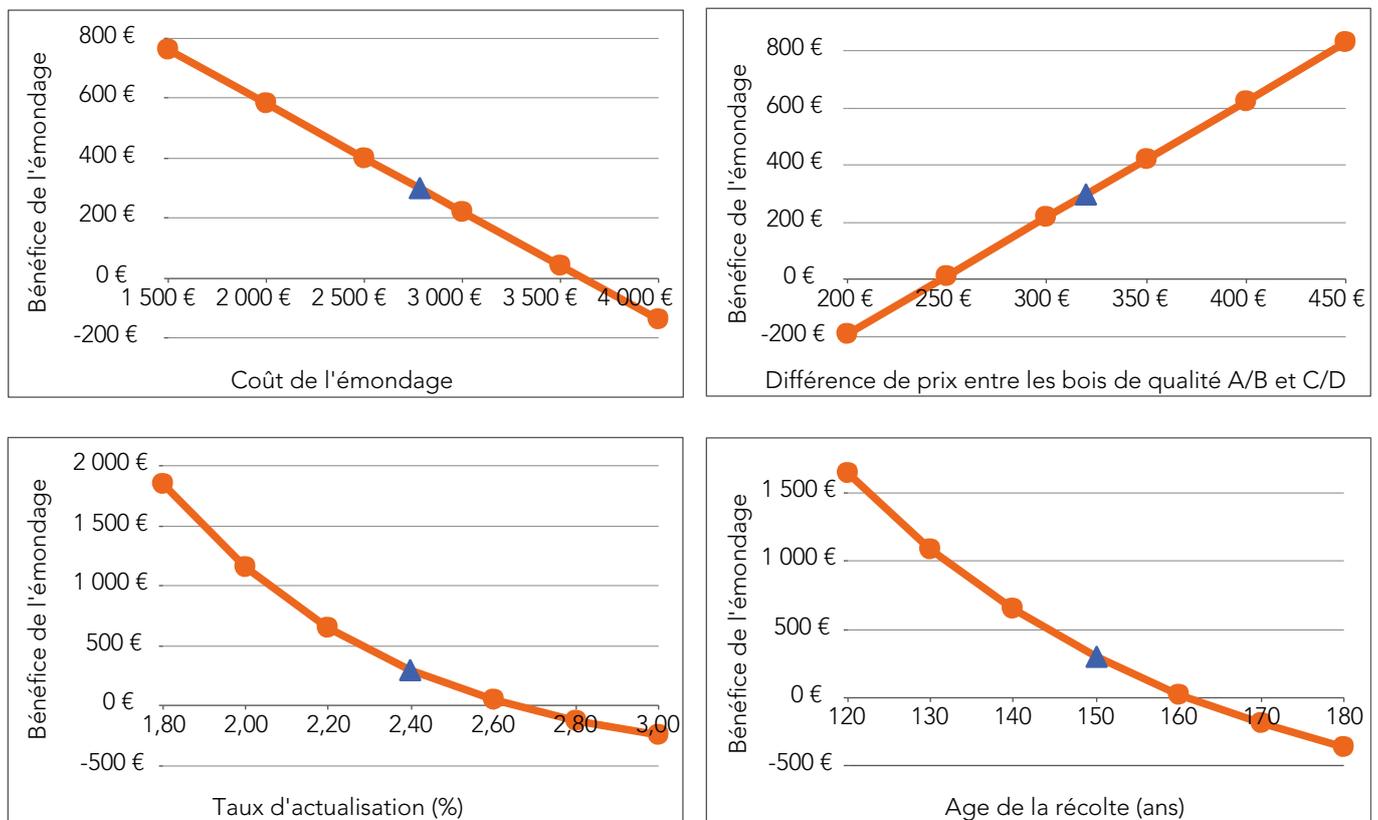


Fig. 10 : variation du bénéfice de l'opération d'émondage en fonction des hypothèses de coût de l'émondage, différence de prix entre les bois émondés ou non, taux d'actualisation et âge de la récolte

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

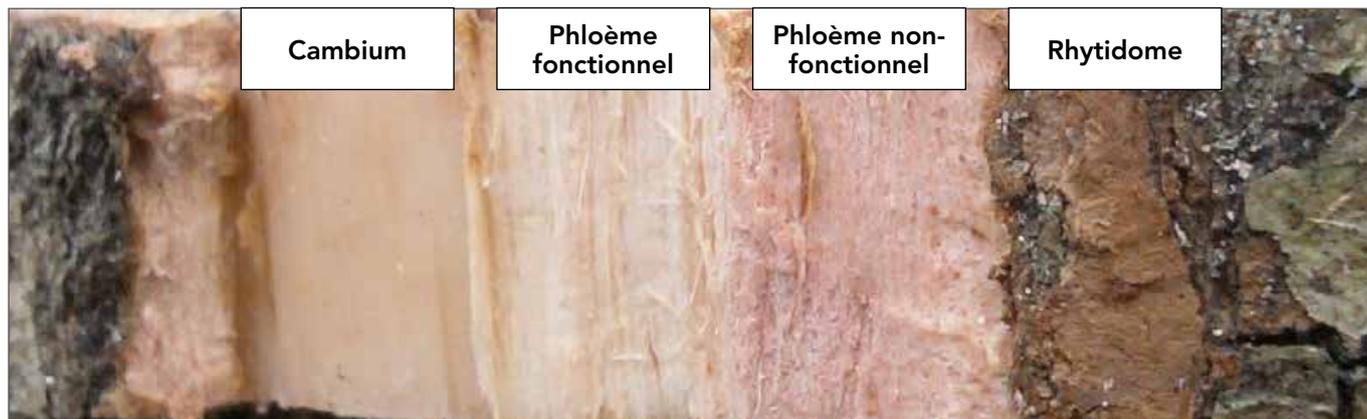


Fig. 11 : aspect des différentes couches de l'écorce et du cambium chez le chêne sessile

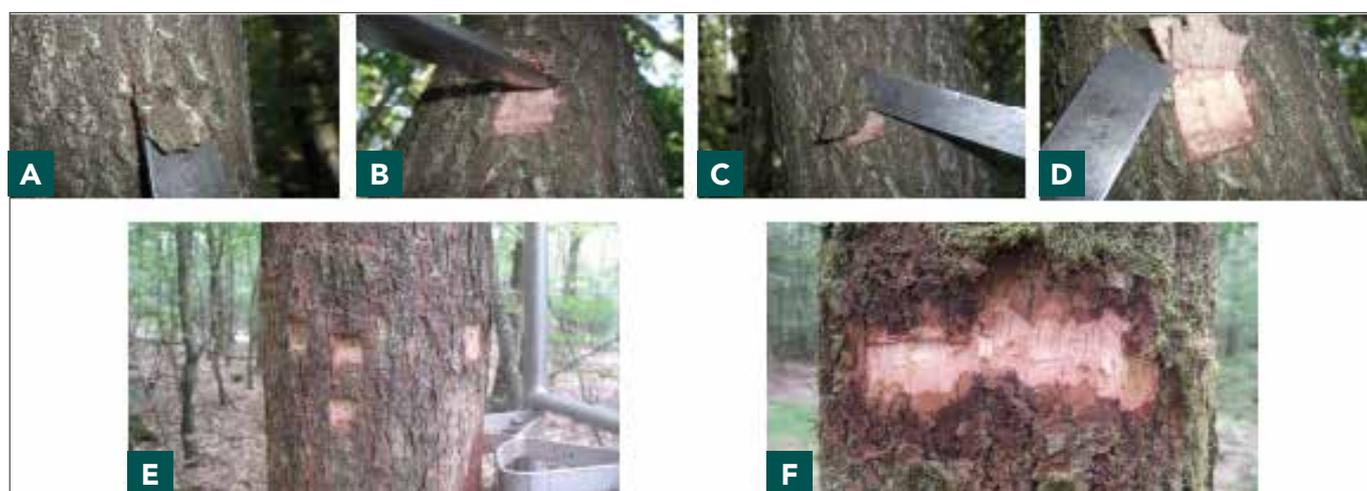


Fig. 12 : les gestes d'émondage et le résultat

- 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.

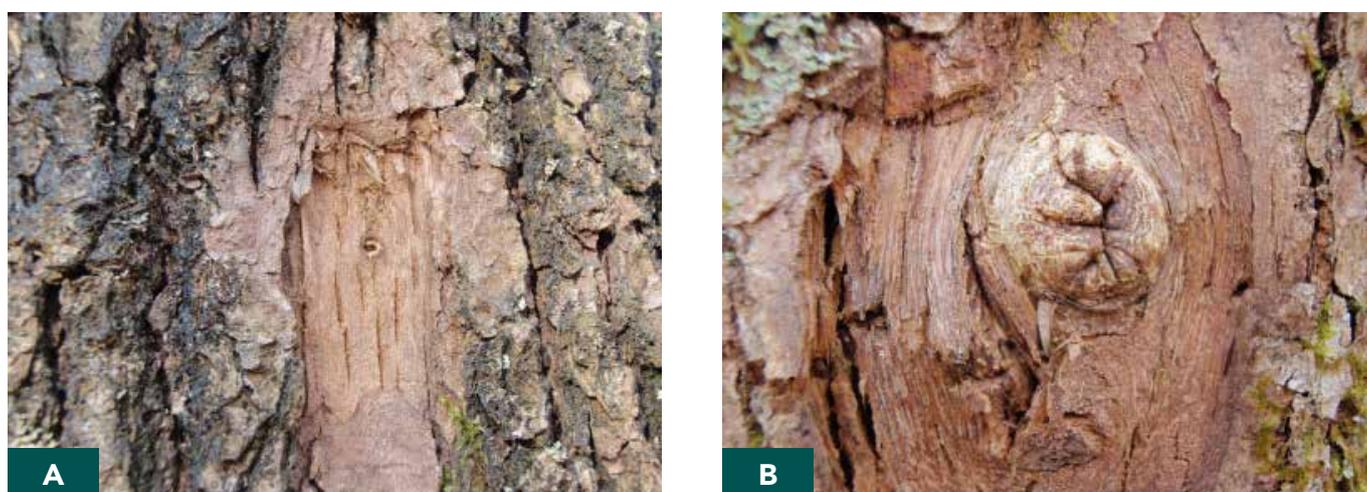


Fig. 13 : résultat de l'émondage après une saison de végétation : A. épïcormique émondé avec bonne cicatrization ; B. boursoufflure suite à un émondage réalisé trop profondément ayant endommagé le cambium

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].