

# FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION  
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

## Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes  
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

[foretnature.be](http://foretnature.be)

**Rédaction** : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. [info@foretnature.be](mailto:info@foretnature.be). T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :  
**[librairie.foretnature.be](http://librairie.foretnature.be)**

---

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :  
**[foretnature.be](http://foretnature.be)**

Retrouvez les anciens articles de la revue  
et d'autres ressources : **[foretnature.be](http://foretnature.be)**



F. Duboscq

GOURMANDS ET AUTRES ÉPICORMIQUES  
DU CHÊNE ET DU HÊTRE.  
PARTIE II : UNE NOUVELLE MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE :  
LA TOMOGRAPHIE À RAYONS X

JEAN-BAPTISTE MORISSET – FRANCIS COLIN  
FRÉDÉRIC MOTHE – FLAVIEN LAMICHE

*Dans la suite de l'article paru dans « Forêt Wallonne » n° 87 de 2007<sup>1</sup>, et après avoir complété le vocabulaire déjà introduit, nous présentons ici la tomographie à rayons X comme un moyen d'analyser l'impact de la sylviculture sur les épïcormiques et plus généralement sur les traces raméales à l'intérieur des grumes. Cette méthodologie est appliquée à deux exemples d'applications sylvicoles.*

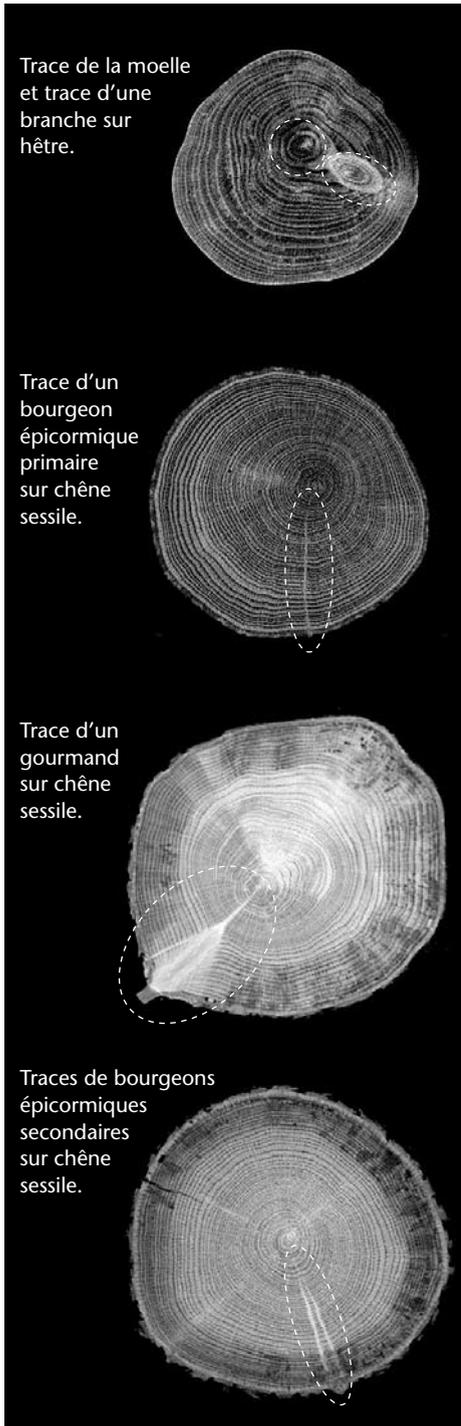
**L'un** des aspects majeurs du développement des arbres est la ramification de leur axe principal, le tronc. La ramification est le mécanisme par lequel un axe donne naissance à des axes latéraux (les rameaux). Dans cet article nous les avons classés en trois grands types.

Les *bourgeons*, tout d'abord, sont des rameaux miniaturisés protégés par des

écailles. On distingue les bourgeons axillaires et les bourgeons latents ou épïcormiques, primaires ou secondaires<sup>1</sup>. La trace dans le bois des bourgeons épïcormiques est constituée de parenchyme et de vestiges ligneux ; elle ne comporte pas de moelle.

Les *rameaux feuillés séquentiels*, ensuite, représentés par les branches et les brins de fourche, laissent dans le bois des nœuds,

Figure 1 – Traces raméales des axes latéraux.



directement insérés, avec leur moelle centrale, sur la moelle du tronc. Ces nœuds seront qualifiés de nœuds séquentiels.

Les *gourmands*, enfin, présentent des nœuds avec une moelle centrale, qui ne sont pas directement insérés sur la moelle du tronc. Entre celle-ci et le nœud du gourmand se trouve la trace du bourgeon latent qui lui a donné naissance. C'est ce que traduit le terme *épïcormique*<sup>1</sup>. Le gourmand est donc un rameau feuillé épïcormique dont le nœud sera qualifié de *nœud épïcormique*.

On qualifiera de *trace raméale*, la trace dans le bois de tout rameau, qu'il soit bourgeon branche ou gourmand. La figure 1 présente différentes traces raméales. La succession de traces raméales ayant comme origine un même bourgeon primaire ou une même branche séquentielle est appelée *séquence raméale*.

La qualité d'une grume est influencée par les nœuds séquentiels ou épïcormiques, mais également par tous les points et taches noirs apparaissant à la suite du dessèchement des pousses épïcormiques constituant les broussins. Les traces laissées par les bourgeons n'ont pas d'impact sur la qualité du bois.

Au niveau de la grume, les nœuds séquentiels sont circonscrits à une zone centrée autour de la moelle appelée *noyau branchu*, plus ou moins étendue en fonction de la vitesse d'élagage des branches. Le bois formé au-delà de cette enveloppe est classiquement dit net de nœuds et est réservé aux utilisations les plus nobles. Cependant, par la capacité qu'ils conservent de se développer en gourmands, les bourgeons latents peuvent déposer des nœuds à l'extérieur de

ce noyau branchu et réduire la zone nette de nœuds. Comprendre les phénomènes de mise en place et de développement des rameaux épicorniques, afin de limiter au maximum leur importance, est donc un objectif primordial de la sylviculture des essences cultivées pour leur bois d'œuvre.

Jusqu'à très récemment les méthodes d'étude de la ramification consistaient à décrire :

- les rameaux présents extérieurement, en termes de diamètre et angle d'insertion, longueur, état vivant ou mort, effectif par pousse annuelle... ;
- les nœuds dans le bois, essentiellement séquentiels, par dissection manuelle.

La dissection manuelle est une méthode coûteuse en temps et délicate car il est difficile d'obtenir une coupe longitudinale radiale passant à la fois par la moelle du tronc et par celle de la branche étudiée. Elle présente néanmoins l'avantage de bien caractériser les phases de croissance de la branche (phase de croissance active, phase de déclin, phase de branche morte) et la zone d'élagage avec ses éventuelles colorations foncées. En revanche, elle ne permet pas de quantifier sur toute une grume les caractéristiques des nœuds et leur relation structurale avec les branches visibles extérieurement. La dissection devient encore plus délicate dans le cas des rameaux épicorniques, quoique la trajectoire dans un plan strictement transversal de leurs traces de bourgeons facilite l'obtention de coupes bien interprétables<sup>4</sup>.

Ainsi apparaît aujourd'hui la nécessité de disposer d'une méthode rétrospective permettant de quantifier la géométrie et le développement passé de nombreux défauts à la fois, et pas nécessairement

encore visibles extérieurement. Cette méthode pourrait répondre à de nombreuses questions des forestiers comme par exemple : depuis combien de temps une grume de chêne actuellement de bonne qualité extérieure présente-elle cet aspect ? Si la grume ne présente pas d'épicorniques actuellement, peut-on en déduire que l'arbre n'en n'avait que très peu dans son jeune âge ? Pouvait-on repérer à coup sûr une telle grume ? Les bourgeons présents actuellement étaient-ils là depuis la mise en place de la tige ou bien sont-ils apparus plus tardivement, à la base des branches notamment ?

La tomographie à rayons X permet d'obtenir de façon rapide et non destructive des séries de coupes sur un billon. Les premières analyses effectuées avec le scanner de type médical acquis en 2007 par l'INRA de Nancy ont montré que les images obtenues permettent de bien repérer tous les types de traces raméales.

Il est à noter que d'autres types de scanner existent notamment dans des contextes et pour des objectifs souvent plus industriels. Ils ont permis des avancées importantes en ce qui concerne la quantification de l'aubier et des nœuds, d'essences résineuses surtout, et essentiellement de manière automatique. Ils ont été très rarement mis à profit pour caractériser l'effet de sylvicultures.

---

### LA TOMOGRAPHIE À RAYONS X<sup>3, 5</sup>

---

La tomographie à rayons X appliquée à l'étude des traces raméales comporte cinq étapes<sup>5</sup> (figure 2) :

1. Les billons que l'on souhaite analyser sont prélevés en forêt. Les caractéris-

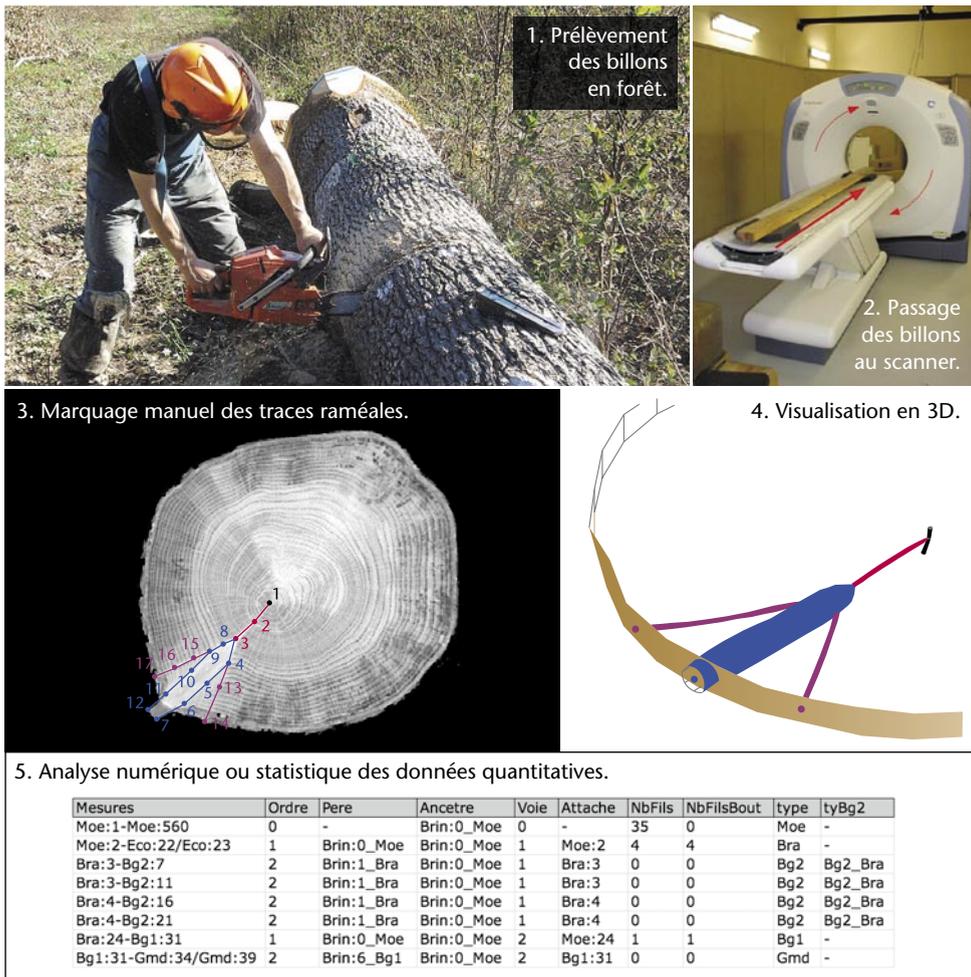


Figure 2 – Les cinq premières étapes de l'étude tomographique des traces raméales.

tiques techniques du scanner limitent leur diamètre, longueur et poids à 45 cm, 1,5 mètre et 200 kg respectivement.

2. Les billons sont passés au scanner, la « coupe » c'est-à-dire l'épaisseur de bois dans laquelle vont être envoyés les rayons X peut être réglée entre 0,6 et 1,5 mm. Une épaisseur de 1,25 mm a été

jugé suffisante pour observer les traces raméales dans le bois, tout en nécessitant un temps d'acquisition des données relativement faible (environ 5 minutes par billon de 1 mètre).

3. L'étape la plus importante de cette méthodologie est le repérage et le marquage manuel des différentes traces raméales observées sur les images

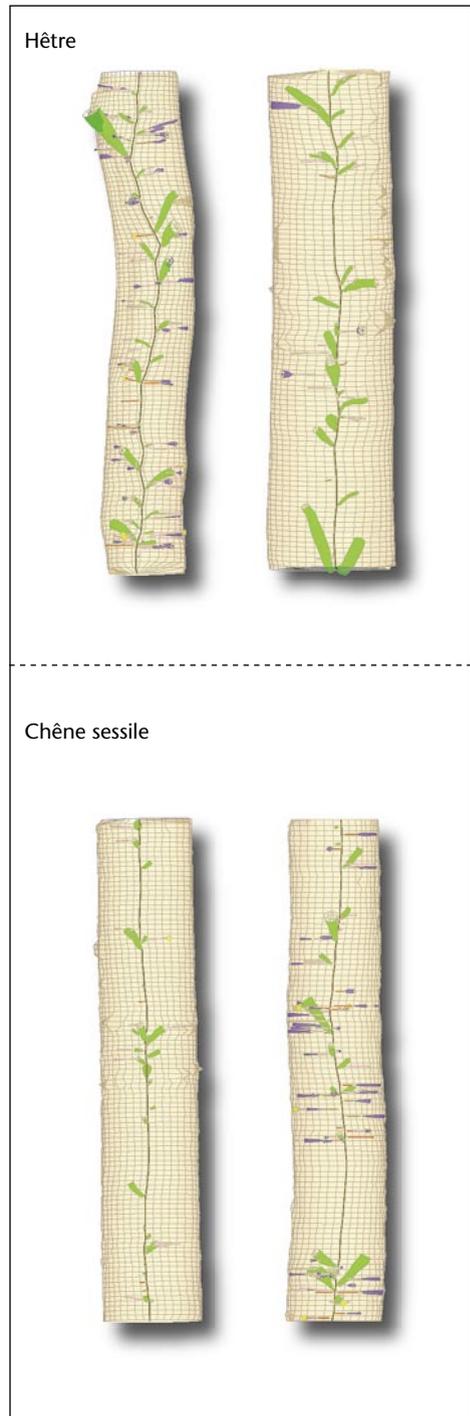
scanner. Un plugin du logiciel libre *ImageJ*, nommé « gourmand » a été créé et permet de notifier l'ensemble des rameaux existants (nœud de branche, trace de bourgeon, nœud de gourmand...) ainsi que la moelle. Le plugin « gourmand » permet aussi de convertir ce repérage tridimensionnel des traces raméales en de nombreuses données quantitatives et qualitatives (type de trace, longueur, angle d'insertion, filiation, diamètre...).

4. La visualisation en 3D du billon et de son intérieur peut être effectuée avec le logiciel libre *Bil3D* à partir de l'un des fichiers de données enregistré à l'étape précédente.
5. L'étape finale est l'analyse numérique ou statistique des données quantitatives telles que : effectif de séquences raméales par mètre de tronc, proportion de séquences avec nœud épïcormique, angle des différentes traces par rapport à l'horizontale, diamètre maximal atteint par les nœuds séquentiels ou épïcormiques...

La figure 3 présente la reconstruction en 3D de quelques billons scannés de chêne et de hêtre de diverses qualités. On y retrouve les différentes traces raméales observables. Par convention, la moelle apparaît en noir, les nœuds des branches séquentielles en vert, les traces des bourgeons épïcormiques primaires en rouge, les traces des bourgeons épïcormiques secondaires en rose, les traces des éventuels bourgeons adventifs en brun, les nœuds des gourmands en bleu.

La tomographie à rayons X permet donc de recenser toutes les traces raméales, les organiser en séquences raméales et mettre en évidence les relations structurales entre

Figure 3 – Représentations 3D de billons scannés.



types raméaux. La méthodologie nécessite un temps d'acquisition relativement faible, environ 1 heure par billon de 1 mètre, (passage au scanner et marquage manuel des traces raméales).

---

APPLICATION À L'ÉTUDE  
DE L'EFFET D'UNE VÉGÉTATION  
D'ACCOMPAGNEMENT  
SUR LES ÉMISSIONS DE GOURMANDS<sup>8</sup>

---

L'objectif de cette étude était de quantifier l'impact d'une végétation d'accompagnement sur les gourmands du chêne sessile. Dans un peuplement pur et équienne de chêne sessile situé en forêt domaniale de Champenoux près de Nancy, deux placettes ont été délimitées, une première dans laquelle la végétation d'accompagnement a été maintenue (AVA) et une autre dans laquelle elle a été retirée (SVA) durant l'hiver 1988-1989. Près de 20 ans plus tard, nous avons prélevé cinq billons de 1 mètre à différentes hauteurs dans trois arbres de la modalité AVA et trois arbres de la modalité SVA (tableau 1).

L'utilisation de la tomographie à rayons X nous a permis, d'une part, de comptabiliser l'ensemble des gourmands présents dans un billon (gourmands non élagués, élagués ou englobés) et, d'autre part, de savoir si le gourmand avait été mis en place avant ou après la suppression de la végétation d'accompagnement. La méthodologie scanner ne nous permet pas encore de repérer les cernes d'accroissement radial. Pour évaluer l'effet de l'enlèvement de la végétation d'accompagnement, nous avons mesuré, à l'aide d'un dispositif optique, la distance entre la moelle et le cerne formé en 1989. La mesure a été effectuée sur huit rayons à chaque extrémité du billon. L'analyse scanner nous permettant de connaître pour chaque gourmand la distance entre le début de son nœud et la moelle, sa hauteur dans le billon et sa direction, il a été alors possible de déterminer si l'apparition du gourmand était antérieure ou postérieure à la suppression de la végétation d'accompagnement.

La figure 4A présente la proportion de séquences raméales comprenant au moins

Tableau 1 – Caractéristiques des arbres et billons du dispositif de Champenoux.

Modalité	Arbre	Hauteur totale (m)*	Base du houppier (m)*	C130 (cm)*	Hauteur du milieu du billon (m)				
					Billon B2	Billon B4	Billon B6	Billon BS**	Billon BH***
AVA	C10	20,2	12,3	59,3	2	4	6	10,0	14,6
	C16	20,2	12,3	59,3	2	4	6	10,0	14,0
	C25	20,2	12,3	59,3	2	4	6	12,2	15,0
SVA	34	19,9	11,2	59,3	2	4	6	10,9	15,5
	70	19,9	11,2	59,3	2	4	6	13,3	16,5
	194	19,9	11,2	59,3	2	4	6	11,2	15,2

\* Valeur moyenne des arbres de la modalité. \*\* Billon situé juste en dessous du houppier. \*\*\* Billon situé au milieu du houppier.

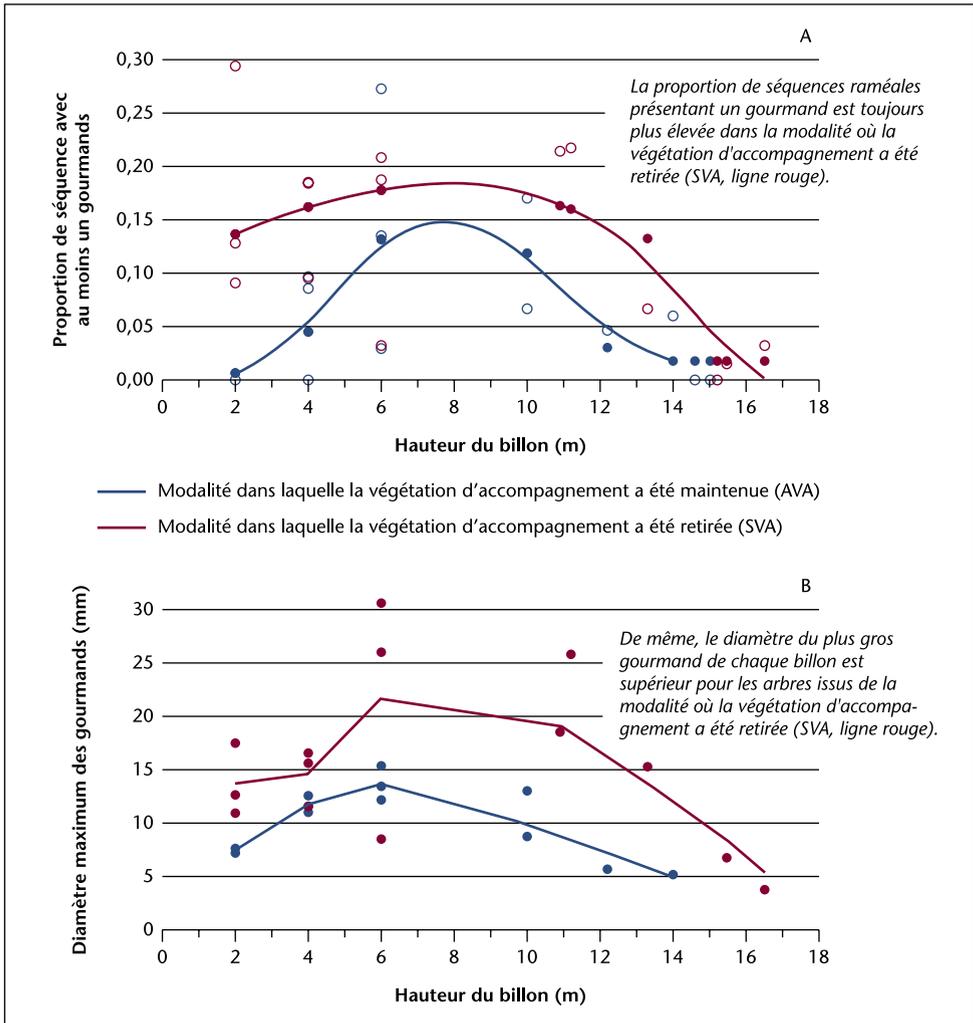


Figure 4 – Effet du sous étage sur les émissions de gourmands : (A) prédiction du nombre de gourmands en fonction du nombre de séquences raméales (le modèle ajusté est un modèle de Poisson mixte avec trois effets fixes : le nombre de séquences raméales, la hauteur du billon et la modalité) ; (B) diamètre prédit du plus gros gourmand du billon en fonction de la hauteur du billon (le modèle ajusté est un modèle linéaire mixte avec deux effets fixes : la hauteur du billon et la modalité).

un gourmand mis en place après la suppression de la végétation d'accompagnement, en fonction de la hauteur du billon dans l'arbre. On observe que la proportion de séquences raméales présentant un gourmand est plus forte, quelle que soit la hauteur du billon, dans la modalité SVA.

La figure 4B montre que le diamètre du plus gros gourmand de chaque billon est supérieur pour les arbres issus de la modalité SVA. Cette relation est vraie quelle que soit la hauteur dans l'arbre. Néanmoins, la hauteur dans l'arbre joue aussi un rôle sur la dimension des gourmands : les gourmands

sont de plus en plus gros lorsqu'on remonte sur la grume ; une fois la base du houppier atteinte, la tendance est inversée.

La suppression de la végétation d'accompagnement a donc favorisé d'une part l'émission des gourmands et d'autre part leur développement. Cela étant, on remarque dans le même temps que le nombre de gourmands mis en place est fortement lié au nombre de séquences raméales. Ainsi, il est clair que la capacité qu'ont les arbres à mettre en place des gourmands leur est propre et dépend du potentiel épïcormique (nombre de bourgeons épïcormiques primaires et secondaires sur une portion de tige à un instant donné). La suppression de la végétation d'accompagnement a permis

au potentiel épïcormique des arbres de s'exprimer en faisant passer une partie de leurs bourgeons latents en gourmands.

---

APPLICATION À L'ÉTUDE  
DE L'EFFET DES EXPLOSIONS  
DE GOURMANDS PASSÉES  
SUR LES ÉPICORMIQUES ACTUELS<sup>9</sup>

---

Après avoir mis en évidence l'un des facteurs contrôlant la mise en place des gourmands, nous avons formulé les hypothèses suivantes. (1) Les gourmands apparus peuvent mettre en place des bourgeons épïcormiques secondaires comme le font les branches séquentielles. (2) Les explosions de gourmands passées influent sur le cortège épïcormique actuel. Ces hypo-

Tableau 2 – Caractéristiques des arbres et de quelques billons de Longchamp.

Modalité	N98			N70			N42		
Arbre	16	15	9	18	28	42	19	55	43
C130 (cm)	76,2	99	73	96	86,4	105,4	97,2	87,8	90,5
Hauteur (m)	22,8	21,3	21,5	21,5	21,4	23,0	20,9	22,8	19,8
Qualité externe	haute	moy.	faible	haute	moy.	faible	haute	moy.	faible
Billon	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4
Nombre de séquences raméales	29	44	57	34	29	27	24	29	29
Nombre de sections avec gourmand	2	9	23	2	6	3	0	6	7
Nombre de gourmands	2	14	34	3	6	3	0	8	10
Nombre d'amas	1	0	4	0	0	1	0	1	0
Nombre de bourgeons issus de gourmand	0	0	6	0	0	0	0	3	8
Nombre d'amas issus de gourmand	0	0	3	0	0	0	0	1	0
Nombre de gourmands issus de gourmand	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Proportion de gourmand donnant zéro, un ou plusieurs bourgeons	100,0 0,0 0,0	100,0 0,0 0,0	76,5 14,7 8,8	100,0 0,0 0,0	100,0 0,0 0,0	100,0 0,0 0,0	-	62,5 0,0 37,5	50,0 30,0 20,0

thèses ont été testées dans une futaie de chêne sessile de la forêt domaniale de Longchamp (près de Dijon). Le dispositif est composé de quatre placettes aux scénarios sylvicoles très différents :

- *Témoin* : absence d'interventions ;
- *N70* : sylviculture dynamique (objectif de 70 tiges à l'hectare au moment de l'exploitation selon la norme N70 de PARDÉ (1978)) ;
- *N42* : sylviculture hyper-dynamique (norme N70 minorée de 30 %) ;
- *N98* : sylviculture classique (norme N70 majorée de 30 %).

Comme sur le dispositif de Champenoux, nous avons prélevé cinq billons de 1 mètre de long sur trois arbres de chacune des modalités N70, N42 et N98, selon : un arbre d'aspect extérieur propre du point de vue des épïcormiques, un arbre d'aspect extérieur sale et un arbre d'aspect intermédiaire.

Le tableau 2 reprend les caractéristiques des arbres et quelques résultats sur les gourmands des différents billons scannés.

Afin de répondre à la première hypothèse il nous a suffi d'observer précisément la proportion de gourmands donnant naissance à zéro, un ou plusieurs bourgeons. Il est alors évident que les gourmands ont la capacité de mettre en place des bourgeons épïcormiques secondaires. La figure 5 présente quelques représentations 3D de séquences raméales comportant un gourmand.

On remarque, de plus, que la production de bourgeons isolés ou d'amas (ensembles d'au plus cinq bourgeons) par les gourmands est très variable d'un arbre à l'autre (tableau 2 et figure 5). Ainsi, certains arbres (et notamment ceux qui ont été repé-

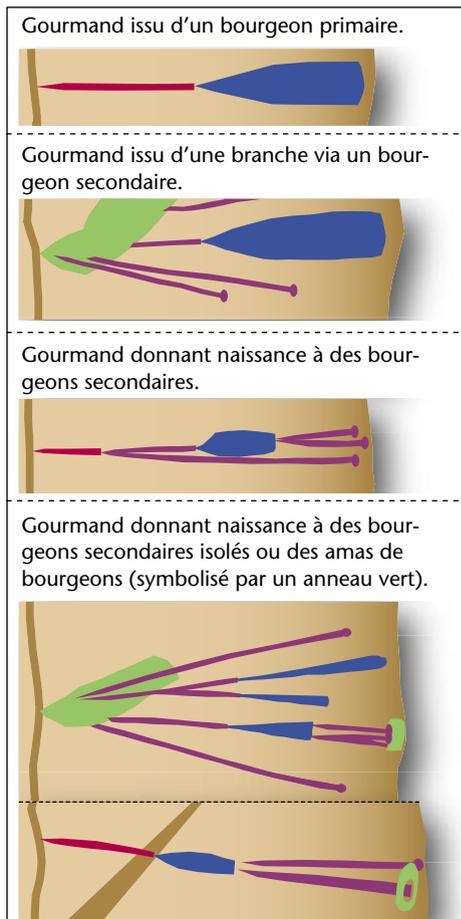


Figure 5 – Différentes séquences raméales comprenant un gourmand.

rés comme sales du point de vue des formations épïcormiques actuelles) mettent en place davantage de bourgeons (et par conséquent davantage d'amas en périphérie du tronc) voire d'autres formations épïcormiques (broussins, picots...) que les autres arbres. On est donc en mesure de valider la deuxième hypothèse qui stipulait que les explosions de gourmands passées affectent le cortège épïcormique actuel. Mais nous modulons cette assertion en précisant que cela est le fait de certains arbres seulement.

Ainsi, la tomographie à rayons X a permis de montrer que les gourmands mis en place peuvent laisser des bourgeons épïcormiques secondaires. Ces derniers peuvent eux même évoluer vers d'autres formations épïcormiques plus préjudiciables à la qualité. Cependant, nous avons remarqué que cette réaction est plus ou moins intense selon les arbres, certains ayant une forte capacité à mettre en place des bourgeons secondaires (arbres 9, 43 et 55) d'autres ne l'ayant pas (arbres 19, 18...).

Lors de cette étude, si nous avons mis en avant un fort effet de l'individu (de l'arbre), nous n'avons pas pu mettre en évidence d'effet de la sylviculture sur les émissions de gourmands. Il semblerait que les émissions de gourmands ne soient influencées par la sylviculture que quand celle-ci induit des diminutions très fortes de densités d'arbres<sup>2</sup>. Des dispositifs présentant des sylvicultures « extrêmes » devraient confirmer ou infirmer cette hypothèse lors de prochaines études.

---

## PERSPECTIVES

---

La méthodologie scanner que nous avons mise au point est adaptée non seulement à l'étude des épïcormiques mais plus généralement à toutes les formes de ramification. Ces dernières peuvent être abordées simultanément et permettre de révéler les relations structurales entre elles, comme par exemple entre branches séquentielles, bourgeons latents secondaires et épïcormiques affiliés.

L'analyse scanner de quelques billons de chêne sessile nous a d'ores et déjà permis de bien caractériser les filiations entre rameaux, la variabilité entre arbres et certai-

nes composantes de la plasticité raméale vis-à-vis des opérations sylvicoles. Ceci ouvre des perspectives importantes en termes d'amélioration sylvicole (repérage et élimination précoces des arbres à forte propension épïcormique, application de sylvicultures comprises dans des gammes ayant très peu d'effet sur l'ontogénèse épïcormique) et d'amélioration génétique (sélection et mise à disposition de génotypes à faible potentiel épïcormique).

Des améliorations doivent encore être apportées à la méthode de mesure sur les images tomographiques, notamment en ce qui concerne l'automatisation de la prise de données, telles que la moelle ou la limite aubier/duramen, pour lesquelles des algorithmes sont déjà disponibles<sup>7</sup>. La prise en compte d'autres caractéristiques comme les limites de cernes ou de pousses annuelles, qui donneront accès aux courbes de croissance radiale et en hauteur, nécessiteront des développements complémentaires.

Le chêne sessile, essence majeure de la foresterie européenne, a pour l'instant été privilégié, notamment car il est réputé être à forte propension épïcormique. Dans le cadre du projet européen Interreg CoForKO d'autres essences ont été abordées<sup>6</sup>. La méthodologie scanner a la capacité de bien différencier les essences sur des bases botaniques rigoureuses : arrangement des bourgeons axillaires, maintien des bourgeons épïcormiques, ramification séquentielle... Elle permet également d'expliquer le déterminisme de la plasticité épïcormique vis-à-vis des opérations sylvicoles. La figure 6 présente des représentations 3D de tremble, de bouleau et d'aulne. On y retrouve en effet l'arrangement des bourgeons axillaires, ou phyllotaxie. On peut observer la présence éventuelle de

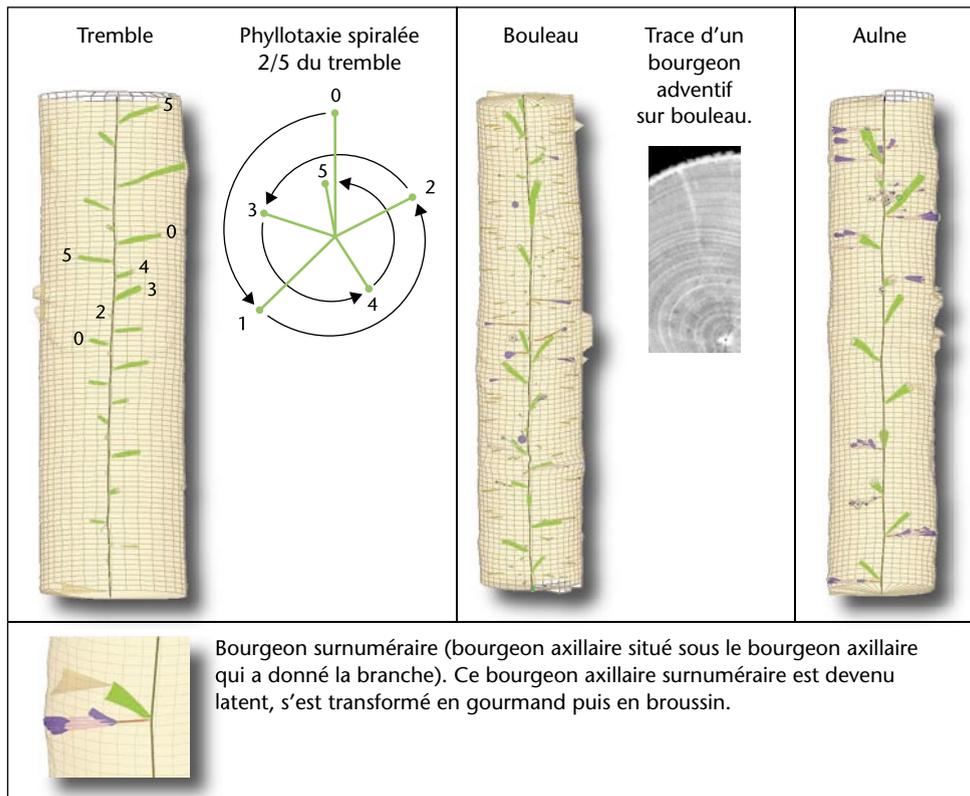


Figure 6 – Représentations 3D de billons.

bourgeons axillaires surnuméraires devenus latents, mis en place en dessous du bourgeon axillaire développé en branche séquentielle, et également de bourgeons adventifs, qui sont des bourgeons dont la trace n'est pas reliée à la moelle du tronc.

## CONCLUSION

Le tomographe à rayons X est un outil particulièrement prometteur pour l'étude rétrospective de la ramification des arbres. Il permet un accès relativement rapide à de nombreuses informations qualitatives et quantitatives sur les rameaux et leur évolution.

L'utilisation de cette méthodologie a des retombées pratiques immédiates. Nous l'avons montré en quantifiant l'effet du sous-étage sur le contrôle des gourmands et l'effet des émissions de gourmands sur le cortège épïcormique ultérieur. Des retombées cognitives importantes sont également envisageables à moyen terme en ce qui concerne notamment la quantification des différentes formes de ramification, leurs relations structurales et la comparaison des essences.

Il n'en reste pas moins vrai que cette méthodologie simple mais relativement coûteuse doit être mise en œuvre en complément des autres méthodes d'étude de la

ramification : soit description extérieure, soit dissection manuelle. ■

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- <sup>1</sup> COLIN F., FONTAINE F., NINGRE F. [2007]. Gourmands et autres épïcormiques du chêne et du hêtre. Partie I : Un renouvellement des concepts pour une réactivation des recherches. *Forêt Wallonne* **87**: 36-48.
- <sup>2</sup> COLIN F., FONTAINE F., VERGER S., FRANÇOIS D. [2010]. Gourmands et autres épïcormiques du chêne sessile. Mise en place sur les troncs, dynamique et contrôle sylvicole. *RDV techniques ONF*, hors-série 5 : 45-55.
- <sup>3</sup> COLIN F., MOTHE F., FREYBURGER C., MORISSET J.-B., LEBAN J.-M., FONTAINE F. [2010]. Tracking rameal traces in sessile oak trunks with X-ray computer tomography : biological bases preliminary results and perspectives. *Trees Structure and Function* **24**: 953-967.
- <sup>4</sup> FONTAINE F., MOTHE F., COLIN F., DUPLAT P. [2004]. Structural relationship between the epicormic formations on the trunk surface and defects induced in the wood of *Quercus petraea*. *Trees* **18** : 294-306.
- <sup>5</sup> <https://www2.nancy.inra.fr/unites/lerfob/plateforme/equipements/scanner.html#resultats>
- <sup>6</sup> LAMICHE F. [2010]. *Comparaisons des traces raméales de différentes essences forestières observées au moyen du scanner à rayons X*. Rapport de Master 1 de l'Université Henri Poincaré de Nancy. 16 pages.
- <sup>7</sup> 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* **58** : 100-111.
- <sup>8</sup> MORISSET J.-B., MOTHE F., BOCK J., BRÉDA N., COLIN F. [2011]. Ontogenic constraints on epicormic sprouting. (*Annals of Botany*, submitted).

- <sup>9</sup> MORISSET J.-B., MOTHE F., CHOPARD B., FRANÇOIS D., FONTAINE F., COLIN F. [2011]. Does trunk sprouting result in reducing or increasing epicormic composition ? Oak epicormic ontogeny continued, including the impact of sprouting. (*Annals of Forest Science*, submitted).

*Nous tenons à remercier Charline Freyburger et Bruno Garnier, techniciens de recherche à l'INRA, Florence Fontaine et Jean-Louis Druelle enseignants à l'Université de Reims, Bruno Chopard et Didier François gestionnaires du dispositif de Longchamp à l'ONF, Nathalie Bréda, gestionnaire du dispositif de Champenoux à l'INRA. Les études présentées ont été financées par l'ONF et par l'Europe dans le cadre du projet interreg CoForKo. Jean-Baptiste Morisset a bénéficié d'un financement de thèse INRA.*

*Projet cofinancé par le Fonds européen de développement régional dans le cadre du programme INTERREG IV-A Grande Région. « L'Union européenne investit dans votre avenir. »*



JEAN-BAPTISTE MORISSET

[morisset@nancy.inra.fr](mailto:morisset@nancy.inra.fr)

FRANCIS COLIN

[colin@nancy.inra.fr](mailto:colin@nancy.inra.fr)

FRÉDÉRIC MOTHE

[mothe@nancy.inra.fr](mailto:mothe@nancy.inra.fr)

FLAVIEN LAMICHE

Laboratoire d'étude des ressources  
forêt-bois (LERFoB),

UMR 1092 INRA/AgroParisTech

INRA Centre de Nancy

F-54280 Champenoux