

Peut-on estimer rapidement depuis le sol le volume de bois mort des houppiers de chênes adultes avec une précision acceptable ?

Laurent Burnel¹, Laurent Larrieu^{1,2}, Alain Cabanettes¹, Jérôme Willm¹

Résumé. Dans le cas d'études menées sur la biodiversité dans les peuplements forestiers, nous nous sommes interrogés sur la possibilité d'estimer rapidement et depuis le sol, le volume de bois mort des houppiers de chênes adultes avec une précision acceptable. Pour y répondre nous avons testé depuis le sol, trois méthodes d'estimation rapide du volume et du stade de décomposition du bois mort dans les houppiers sur un échantillon de 12 chênes de réserve. La première méthode «globale» consiste à évaluer visuellement dans son ensemble le pourcentage du volume de branches mortes. La deuxième méthode «branche par branche à l'œil» estime à l'œil le diamètre et la longueur de chaque branche morte. La troisième méthode «branche par branche appareillé» mesure le diamètre de chaque branche morte au pentaprisme de Weelher en estimant sa longueur à l'œil. Les deux dernières méthodes dites «branche par branche» ont été comparées entre elles et à des données de référence obtenues par mesure directe par un grimpeur. Les résultats montrent que la méthode «branche par branche à l'œil» est la plus adaptée à nos besoins, car elle est rapide et l'incertitude est de l'ordre de 20 % sur les volumes de bois morts et très faible sur les stades de décomposition.

Mots clés : bois mort, houppier, Chêne, dendrométrie, comparaison méthodologique, grimpe d'arbre, biodiversité

• Introduction

L'unité DYNAFOR (dynamiques et écologie des paysages agriforestiers) du centre Inra de Toulouse mène des études sur la biodiversité dans des peuplements forestiers. L'estimation du volume de bois mort dans les houppiers des arbres vivants semble être un enjeu important, notamment pour mieux comprendre les assemblages d'insectes saproxyliques³ observés dans les peuplements, ou pour diagnostiquer indirectement une capacité d'accueil pour ces insectes. Une étude récente dans une chênaie de plaine a ainsi montré que 21 % des espèces de coléoptères saproxyliques sont exclusivement rencontrées dans la canopée (Bouget *et al.*, 2010). Le stade de décomposition du bois mort est également déterminant pour les espèces saproxyliques (Heilmann-Clausen 2001 ; Dajoz, 2007 ; Bouget *et al.*, 2010).

Les forestiers ont coutume d'estimer le volume de bois à l'échelle de l'arbre ou du peuplement. Les méthodes d'évaluation sont nombreuses, le plus souvent basées sur des barèmes, des tarifs de cubage ou encore sur des tables de production ; elles sont surtout adaptées au calcul du volume de la partie à forte valeur ajoutée qui est le tronc de l'arbre.

Il est plus difficile de quantifier le volume du bois contenu dans les houppiers. Rondeux *et al.*, ont publié en 1987 une méthode pour calculer des volumes de bois dans les houppiers mais

¹ UMR 1201DYNAFOR -Dynamiques et écologie des paysages INRA - 31326 Castanet-Tolosan

☎ 05 61 28 54 98 Laurent.Burnel@toulouse.inra.fr;

² Centre régional de la propriété forestière de Midi Pyrénées 7, chemin de la Lacade, 31320 Auzeville Tolosane

³ Saproxyliques : organismes qui dépendent du bois mort pour tout ou partie de leur cycle de vie

elle ne permet de quantifier que le volume total (bois vivant + bois mort), en relation avec le volume des troncs. Un appareil existe (Field-Map⁴) pour mesurer les branches individuellement, mais il est coûteux et les mesures prennent beaucoup de temps.

Lors d'une étude pluridisciplinaire sur la biodiversité des espèces dans une hêtraie-chênaie sessiliflore collinéenne, nous avons préalablement testé plusieurs approches d'estimation rapide du volume et des stades de décomposition du bois mort dans les houppiers des chênes de réserve⁵.

L'objectif était de vérifier la faisabilité et d'évaluer la précision d'une estimation rapide du volume total de bois mort des houppiers de chênes adultes. Sachant que des estimations classiques de volumes de troncs sur pied réalisées par un expert ont une incertitude rarement inférieure à 15 % du volume réel, nous avons fixé comme satisfaisante, l'estimation des volumes de bois mort dans les houppiers à une incertitude inférieure à 30 %.

1. Matériel et méthodes

La forêt support du test est située dans les Hautes-Pyrénées, à 5 km à l'est de Tarbes. Le peuplement étudié est composé d'un taillis de châtaignier et d'arbres de réserve, principalement sous forme de chêne sessile et de quelques hêtres disséminés. Après le carottage des arbres, nous avons déterminé l'âge moyen du taillis à 53 ans et celui des réserves à 100 ans. Le sous-étage essentiellement composé de houx, est parfois très dense.

1.1 Choix des arbres

L'échantillon comprenait 12 arbres, uniquement des chênes de la réserve. Ces chênes ont été retenus selon deux critères de choix, l'un portant sur la dimension de leur houppier, l'autre sur le volume apparent de bois mort dans leur houppier (**photos 1 et 2**). Ces deux critères ont été combinés selon les quatre modalités suivantes :

- 3 arbres à houppier «volumineux» ayant un volume apparemment faible de bois mort
- 3 arbres à houppier «volumineux» ayant un volume apparemment fort de bois mort
- 3 arbres à «petit» houppier ayant un volume apparemment faible de bois mort
- 3 arbres à «petit» houppier ayant un volume apparemment fort de bois mort

Seules les branches mortes d'un diamètre médian supérieur à 5 cm et de longueur minimale de 0,5 m ont été prises en compte. Le test a été réalisé hors feuillaison.

⁴ Site web : www.field-map.com

⁵ Arbre de réserve : arbre conservé lors d'une coupe de taillis et destiné à produire du bois d'œuvre



Photo 1. *Arbre à houppier «volumineux»*



Photo 2. *Arbre à «petit» houppier*

1.2 Calcul du volume des houppiers

Afin de valider les deux catégories de houppiers estimés «petit» ou «volumineux», le volume de houppier de chaque arbre est calculé en utilisant la formule du volume d'encombrement suivante (Caillez, 1980) :

$$\boxed{V = 1/3(\pi d^2/4) \times h}$$

V = volume
d = diamètre moyen du houppier
h = hauteur du houppier

La hauteur du houppier est obtenue par la différence entre la hauteur totale de l'arbre et la hauteur de la base du houppier. Cette base est ici définie par le point d'insertion de la première grosse branche, c'est-à-dire la plus basse, vivante ou morte, issue du tronc et contribuant fortement à façonner le houppier.

Le diamètre moyen du houppier est calculé par projection horizontale de 2 diamètres orthogonaux (**schéma 1**) à l'aide d'un appareil à miroir, le Kronenspiegel (**photo 3**).

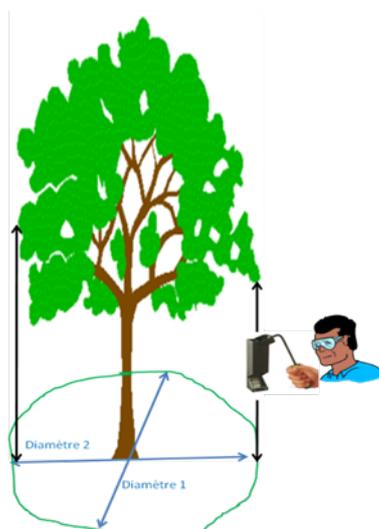


Schéma 1. *Mesure des diamètres orthogonaux d'un houppier*



Photo 3. *Le Kronenspiegel*

1.3 Méthodes d'estimation et de mesure des volumes de bois morts (ou nécrovolumes)

Trois méthodes d'estimation ont été testées : une dite «globale», une autre «branche par branche à l'œil», et enfin une troisième «branche par branche appareillée». Elles sont toutes réalisées depuis le sol, par le même opérateur dans le but de réduire l'effet observateur. Les estimations effectuées sont comparées à des mesures et des observations des branches mortes réalisées directement dans les houppiers par un *grimpeur*⁶.

Les méthodes ont été mises en œuvre en un seul passage pour chaque arbre selon la description qui suit.

1.3.1 Méthode d'estimation globale

Elle consiste à évaluer un coefficient de houppier qui est le rapport entre le volume total de bois du houppier (mort et vivant), exprimé en stères (st) et le volume «bois d'œuvre»⁷ du tronc exprimé en m³. Ce coefficient est généralement compris entre 1 et 5 st/m³ (Chaudé, 1991) dans le cas de chênes de réserve. Puis on évalue visuellement le pourcentage du volume de branches mortes.

Cette méthode ne permet pas la notation des stades de décomposition du bois mort.

1.3.2 Méthode d'estimation branche par branche à l'œil

L'observateur repère les branches mortes du houppier depuis le sol et évalue à l'œil leur longueur respective arrondie au mètre près et leur diamètre médian par classe⁸ de 10 cm.

Cette méthode demande plus de temps que la précédente. Elle nécessite de la concentration pour ne pas oublier une branche, ou au contraire la comptabiliser deux fois.

1.3.3 Méthode d'estimation branche par branche appareillée

Cette méthode est proche de la précédente : l'observateur repère les branches mortes du houppier, évalue leur longueur arrondie au mètre près et mesure leur diamètre médian au centimètre arrondi, à l'aide du pentaprisme de Weelher⁹ (**photo 4**).



Photo 4. *Mesure au pentaprisme de Weelher*

⁶ Grimpeur : personne pratiquant la grimpe d'arbre, technique développée à l'origine par les élagueurs permettant d'accéder à la couronne des arbres au moyen de cordes de rappel.

⁷ Le bois d'œuvre est la partie du tronc destiné au sciage, au déroulage ou au tranchage.

⁸ La classe 10 comprend les branches dont le diamètre médian est compris entre 5 et 15cm, la classe 20 entre 16 et 25cm, etc.

⁹ Le pentaprisme permet de mesurer des diamètres à partir du sol, à différentes hauteurs dans l'arbre et à partir de n'importe quelle distance d'éloignement de l'arbre. Il est formé d'un tube métallique à section carrée portant un prisme fixe et un prisme coulissant.

1.3.4 Méthode de référence par grimpe d'arbre

Le *grimpeur* a mesuré chaque arbre échantillonné (**photo 5**) : pour cela il a réalisé et annoncé ses mesures et ses observations seulement sur les branches accessibles et après que l'observateur au sol ait réalisé l'estimation, ce qui a permis de comparer les données de chaque branche.

Les branches accessibles par le *grimpeur* ont fait l'objet d'une mesure de longueur au mètre ruban (au cm arrondi) et d'une mesure de leur diamètre, au milieu de la branche, à l'aide d'un pied à coulisse (au mm). Le stade de décomposition a été également observé «au plus près». Le temps de séjour du *grimpeur* dans le houppier était de deux heures en moyenne par arbre.

Nous considérerons ces données obtenues par la grimpe d'arbre comme valeurs de référence, car ce sont les valeurs les plus proches de la réalité, pour les comparer avec les deux méthodes d'estimation «branche par branche». La méthode globale a été également comparée avec la méthode d'estimation «branche par branche à l'œil».



Photo 5. *Mesure par grimpe d'arbre*

1.4 Estimation du degré de décomposition du bois mort (ou saproxylation)

Dans les deux méthodes d'estimation «branche par branche», nous avons distingué les stades de décomposition du bois mort, en reprenant l'échelle de notation utilisée en routine pour les arbres au sol et les chandelles (adapté de Sippola, 1998) :

- **stade 1** : branche morte dans l'année avec présence d'une partie de la ramification fine ou bien branche cassée dans l'année ; écorce adhérente sur toute la surface de la branche ;
- **stade 2** : branche morte récemment mais depuis plus d'un an ; perte récente de la ramification fine mais présence de la ramification plus grossière ; écorce adhérente sur la majorité de la branche ;
- **stade 3** : branche morte depuis plusieurs années, majoritairement sans écorce, mais ayant conservé une résistance mécanique certaine et l'intégralité de sa grosseur initiale avant sa mort ; les ramifications sont absentes ;
- **stade 4** : branche dans un état de décomposition avancée ; le plus souvent absence totale d'écorce ; seule une faible longueur d'origine persiste et la résistance mécanique très faible ; perte partielle de matière et de diamètre.

2. Résultats

2.1 Caractéristiques des échantillons

Le **tableau 1** présente les caractéristiques dendrométriques des chênes échantillonnés. Leurs volumes d'encombrement de houppier varient de 526 à 2 609 m³. Les houppiers estimés «petits» sont compris entre 526 et 1 179 m³ et sont bien inférieurs aux volumes des houppiers «volumineux» estimés, qui sont eux compris entre 1 405 et 2 609 m³.

Tableau 1. *Caractéristiques des arbres échantillonnés*

* Arbre présentant beaucoup de petites branches mortes de diamètre inférieur à 5 cm

n° arbre noté sur le terrain	Volume estimé du houppier (m ³)	Volume estimé de bois mort (m ³)	Hauteur de houppier (m)	Diamètre moyen de houppier (m)	Volume du houppier (m ³)	Coefficient de houppier (stères/m ³)	% de branches mortes (méthode globale)	Nombre total de branches mortes	Nombre de branches mesurables
G2	volumineux	fort	22,5	15,4	1405	2,5	15	23	21
G8	volumineux	fort	20,5	16,3	1564	3	25	23	23
G5	volumineux	fort	22,8	16,4	1593	4	15	23	19
G7	volumineux	faible	20,5	16,3	1564	3	5	12	12
G6	volumineux	faible	18,3	19,5	2239	5	2	8	7
G1	volumineux	faible	22,9	21,0	2609	3	5	13	9
G4	petit	fort	16,2	10,1	601	1,5	10	12	9
G10	petit	fort	11,3	9,4	526	1,5	20	9	9
G12	petit	fort	11,3	10,1	607	1	20	5*	5
G3	petit	faible	13	14,1	1179	1,5	5	9	8
G9	petit	faible	18,2	12,1	862	2	0,5	9	9
G11	petit	faible	10,7	12,4	913	2	0,5	2	2

2.2 Nécrovolume des houppiers

2.2.1 Comparaison au niveau arbre

La première comparaison porte sur deux modalités d'estimation effectuées depuis le sol sur les 12 arbres de l'échantillon : la méthode «globale» (le pourcentage du volume de branches mortes par rapport au volume total de branches) sans observer individuellement les branches, et la méthode «branche par branche à l'œil» en estimant les diamètres et les longueurs de chaque branche morte et en additionnant les volumes individuels ainsi obtenus à l'échelle de l'arbre.

Les données sont représentées dans la **figure 1**, où elles sont comparées à une ligne-bissectrice qui correspond à l'égalité des deux valeurs obtenues pour chaque arbre. L'écart relatif moyen entre les données est de 32 %, ce qui indique une forte variabilité. De plus, nous remarquons que la catégorie d'arbres volumineux à fort pourcentage de bois mort montre un «biais»: une estimation systématiquement plus élevée avec la méthode globale.

Néanmoins, la comparaison des deux séries de «volumes arbres» des deux méthodes à l'aide d'un test «t» sur données appariées indique que les deux séries de volumes ne sont pas statistiquement différentes ($p = 0,15$).

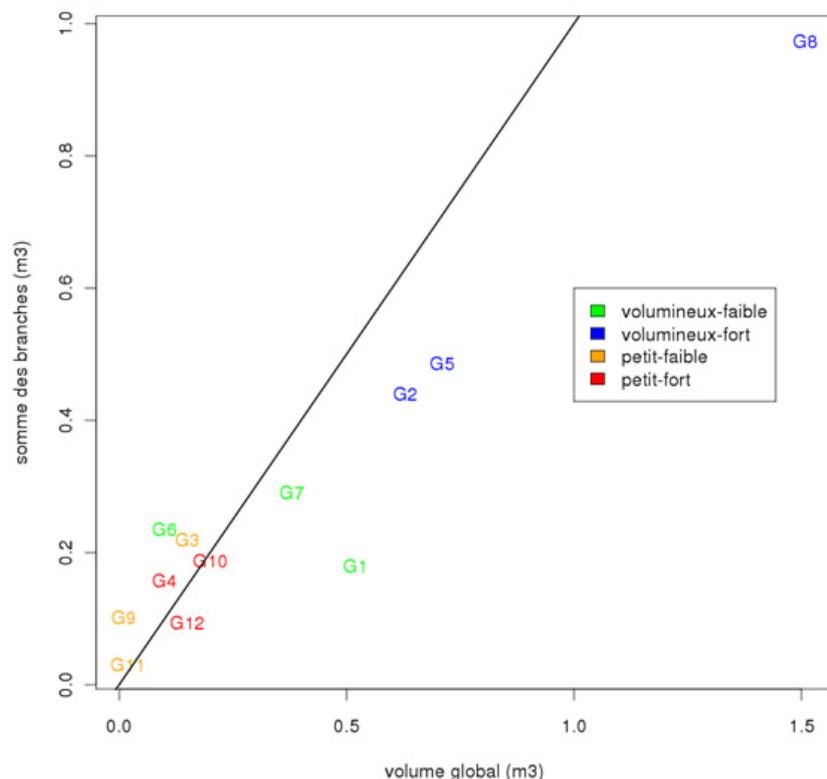


Figure 1. Comparaison des volumes de bois mort estimés globalement à partir du sol (en abscisses) et par sommation des volumes de branches (en ordonnées), à l'échelle de l'arbre, pour 12 arbres échantillons différent par le volume du houppier et la proportion de branches mortes. La droite représente la bissectrice.

2.2.2 Comparaisons au niveau branche

On compare ici deux des trois méthodes utilisées (méthode «branche par branche à l'œil» et «branche par branche appareillée» pour cuber les 90 branches de l'échantillon aux données de référence obtenues par la grimpe d'arbre.

Les principaux résultats sont résumés dans le **tableau 2**, où la méthode de mesure dans l'arbre est considérée comme la référence la plus proche de la réalité.

Tableau 2. Résultats des comparaisons (test «t») de 3 méthodes d'estimation du volume de branches mortes

Comparaison	Erreur relative	Valeur p du test t
Branche par branche à l'œil – grimpé	19 %	0,025 (*)
Branche par branche appareillée- grimpé	20 %	0,020 (*)
Branche par branche appareillée - branche par Branche à l'œil	0,7 %	0,882 (NS)

(*) Signifie que les différences sont statistiquement significatives au seuil de 5 % et (NS) qu'elles ne le sont pas.

L'erreur relative commise par rapport aux mesures grimpées est de l'ordre de 19 à 20 %. En revanche, les estimations «branche par branche» sont identiques que l'on procède visuellement ou à l'aide de l'appareil de mesure. L'erreur relative des méthodes «branche par branche» par rapport aux données de référence obtenues par la grimpe d'arbre est bien inférieure au niveau «branche» qu'au niveau arbre (32 %). De plus, la **figure 2**, qui montre graphiquement les résultats de la première comparaison du tableau, fait apparaître l'absence de biais dans les estimations réalisées à partir du sol.

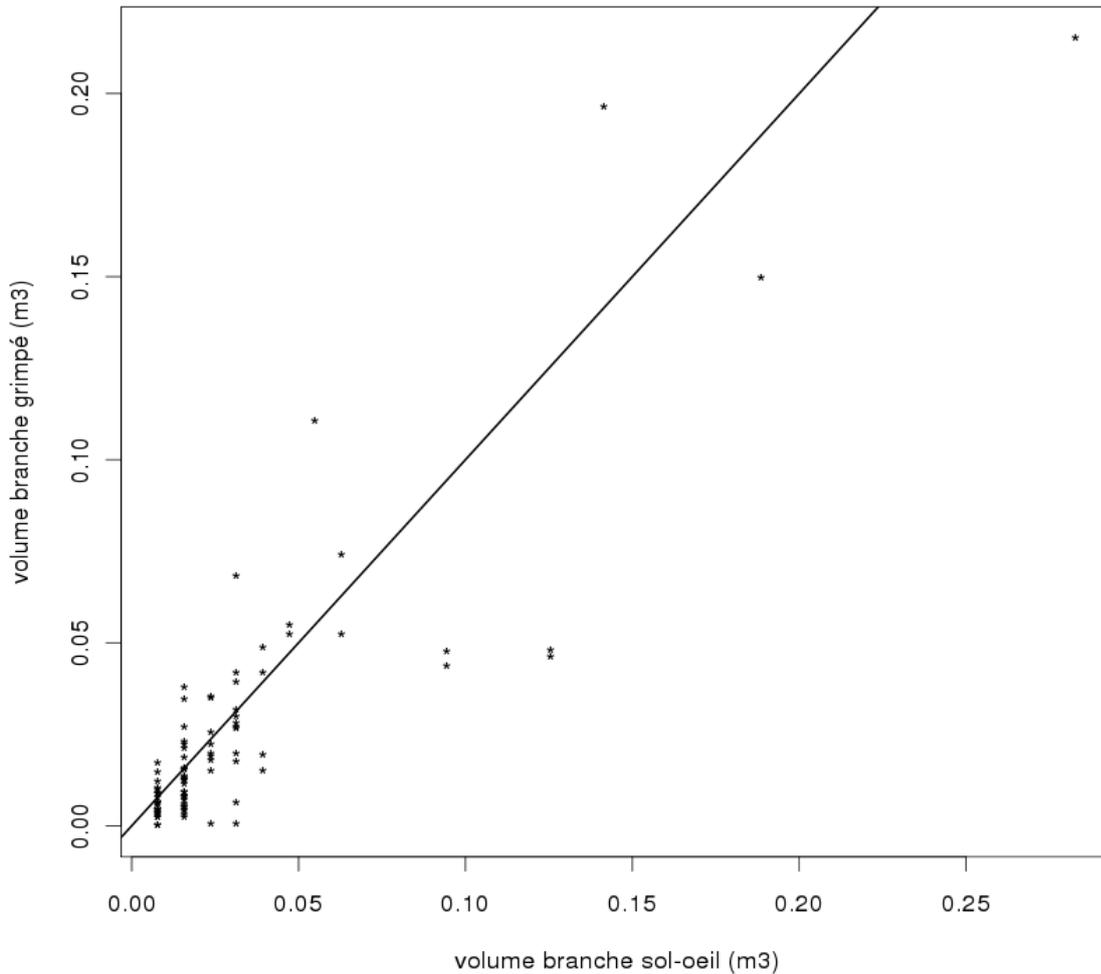


Figure 2. Comparaison des volumes individuels de branches mortes calculés à partir des longueurs et des diamètres des branches estimés à l'œil depuis le sol et mesurés directement après grimpe d'arbre.

Si l'erreur commise depuis le sol est acceptable en valeur relative et en stabilité selon la grosseur des branches, il reste qu'elle est en moyenne positive, indiquant une tendance à la surestimation depuis le sol (**figure 2**).

Cette surestimation concerne-t-elle plutôt l'estimation du diamètre ou celle de la longueur ou les deux ? Nous avons essayé de répondre à cette question en comparant séparément les deux estimations «branche par branche à l'œil - grimpé» du diamètre et de la longueur des 90 branches échantillon.

Tableau 3. Comparaison des erreurs commises depuis le sol par rapport aux données de référence obtenues par la grimpe dans l'arbre sur la longueur et le diamètre des branches mortes

Grandeurs comparées	Erreur relative	Valeur p du test t
Longueur de branche	-1,0 %	0,643 (NS)
Diamètre de branche	16,4 %	< 0,000 (***)

(*) Signifie que les différences sont statistiquement significatives au seuil de 5 % et (NS) qu'elles ne le sont pas.

On voit que si les longueurs de branches sont légèrement sous-estimées au sol par rapport aux données grimpées, la différence n'est pas statistiquement significative ; en revanche, les diamètres sont significativement surestimés à partir du sol (**tableau 3**). L'erreur d'estimation sur le diamètre est donc la principale origine de la surestimation des volumes de branches mortes à partir du sol.

2.3 Stades de décomposition

La comparaison des stades de décomposition des branches estimés au sol avec ceux estimés dans l'arbre sur les 90 branches échantillons, donne les résultats suivants :

- l'erreur relative moyenne commise au sol est de : $(3,629-3,618)/3,618 = 0,3 \%$;
- l'application du test statistique de comparaison de Mann-Whitney donne une réponse négative ($p = 0,84$, non-significatif) sur la différence entre les deux séries de données, indiquant donc que les deux séries ne diffèrent pas significativement l'une de l'autre ;
- l'observation des différences par branche et par valeur montre que les écarts les plus fréquents concernent les stades 3 et 4, mais que ces écarts ont lieu de manière équilibrée dans un sens et dans l'autre : 7 branches ont été notées stade 3 au sol et stade 4 dans l'arbre, et 7 branches notées stade 4 au sol et stade 3 dans l'arbre, sur un total de 83 branches notées 3 ou 4 par les deux méthodes.

Discussion

Concernant les nécrovolumes, nous n'avons pas pu comparer directement la méthode «globale» avec les mesures et les observations faites par la grimpe à l'arbre. En effet, la grimpe à l'arbre ne permet de caractériser qu'une partie des branches des houppiers, alors que la méthode globale prend en compte l'ensemble des branches, ce qui rend les deux méthodes non comparables.

La méthode «globale» est certes la plus rapide à mettre en œuvre. Bien que réalisée par une personne expérimentée, elle présente un écart relatif important (32%) avec la méthode «branche par branche à l'œil» elle-même ayant un écart relatif de 19% avec la méthode de référence par grimpe. L'écart s'accroîtrait d'autant plus que les arbres présenteraient un houppier volumineux avec du bois mort abondant.

Si l'on souhaite une estimation plus affinée, il est nécessaire de passer du niveau «arbre» au niveau «branche» où l'erreur relative commise par la méthode visuelle est inférieure à 20% avec la grimpe à l'arbre. Cet écart est du même ordre de grandeur que l'incertitude d'un cubage de tronc sur pied réalisé par des opérateurs expérimentés en mesurant le diamètre à 1,3 m et en estimant la hauteur de découpe marchande à l'œil.

On relève également une tendance à la surestimation de la méthode «branche par branche à l'œil» principalement due à l'exagération des diamètres. Cela s'explique par le fait que suivant le niveau de dégradation des branches, le diamètre n'est pas régulièrement décroissant : il peut beaucoup varier sur la longueur de la branche. L'observateur a alors tendance à faire une moyenne du diamètre autour du milieu de cette branche alors que le grimpeur mesure précisément le diamètre au milieu de la branche.

Si les observations doivent être réalisées par une personne peu expérimentée, on notera l'utilité du pentaprisme qui n'apporte pas une meilleure fiabilité mais qui sera utile pour se calibrer en début d'opération ou au commencement de chaque journée. L'utilisation du pentaprisme est à la longue peu confortable pour les cervicales, il oblige de faire passer alternativement le regard entre l'appareil et le houppier pour rechercher la branche suivante, ce qui augmente le risque d'oubli de branches.

En ce qui concerne les stades de décomposition, l'erreur visuelle est faible. Le maximum de confusion est rencontré entre les stades 3 et 4. Ceci peut s'expliquer par la difficulté à estimer depuis le sol s'il y a encore une résistance mécanique, mais aussi par la non visibilité de la partie supérieure des branches qui est souvent à un niveau de dégradation supérieure à celui de la partie inférieure. Peut-être serait-il judicieux de regrouper les stades 3 et 4 lors des estimations de routine. Les branches au stade 1 sont plus faciles à repérer au moment du débourement.

Pour ne pas oublier de branches, nous recommandons l'aide d'une deuxième personne (par exemple la personne qui enregistre les valeurs annoncées par l'observateur) qui observera les branches sous un autre angle par rapport à l'arbre, au moins décalé de 90° avec l'observateur. L'utilisation d'un pointeur laser peut être utile pour désigner chaque branche observée.

Conclusion

Après comparaison de trois méthodes d'estimation qualitative et quantitative du bois mort dans les houppiers, la méthode consistant à décrire branche par branche, à l'œil, depuis le sol répond à notre besoin en termes de faisabilité et de fiabilité : l'erreur relative avec une méthode de référence par grimpe à l'arbre est de 20 % pour le volume estimé et proche de 0 pour le niveau de décomposition des branches. Pour cette opération il faut compter entre 5 et 20 minutes par arbre, le temps augmentant avec la taille croissante des houppiers et/ou le nombre de branches mortes à décrire.

Bibliographie

- Burnel L, Willm J (2008) Utilisation du Kronenspiegel, projection de houppier au sol. Instruction codifiée INS-MAT-TER-01. Document qualité interne UMR DYNAFOR.
- Bouget C, *et al* (2010) Exploring the “last biotic frontier”: Are temperate forest canopies special for saproxylic beetles? *Forest Ecology and Management* 261 (2011) 211–220.
- Caillez F (1980) *Estimation des volumes et accroissements des peuplements forestiers*. Vol. 1 : *Estimation des volumes*. CTFT, FAO ; 98 p.

- Chaude P (1991) *Tarif de cubage à décroissances variables pour les arbres sur pied*. Edition 2008, La varenne-St Hilaire.
- Dajoz R (2007) *Les insectes des forêts. Rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier*. 2^e édition. Tec. et Doc. Lavoisier, Paris.
- Heilmann-Clausen J (2003) A gradient analysis of communities of macrofungi and slime moulds on decaying beech logs. *Mycology Research* (5): 575-596.
- Parde J, Bouchon J (1988) *Dendrométrie* ; 2^e édition. École nationale du génie rural, des eaux et forêts.
- Rondeux J, Laurent C, Toussaint A (1987) Méthode d'estimation du volume des branches et des houppiers en peuplements de chênes. *Revue Forestière Française* XXXIX (2), 125-129.
- Sippola AL, Siitonen J, KallioALLIO R (1998) Amount and quality of coarse woody debris in natural and managed coniferous forests near the timberline in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 204-214.

