



Comparaison des dendromètres Vertex III et Trupulse 200b pour la mesure de la hauteur totale des arbres

Sylvain Gaudin, Jean-Baptiste Richard

► To cite this version:

Sylvain Gaudin, Jean-Baptiste Richard. Comparaison des dendromètres Vertex III et Trupulse 200b pour la mesure de la hauteur totale des arbres. 2021. hal-03447616

HAL Id: hal-03447616

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03447616>

Preprint submitted on 24 Nov 2021

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.

COMPARAISON DES DENDROMÈTRES VERTEX III ET TRUPULSE 200B POUR LA MESURE DE LA HAUTEUR TOTALE DES ARBRES

SYLVAIN GAUDIN – JEAN-BAPTISTE RICHARD

Un constat singulier

Dans le cadre du suivi de parcelles expérimentales du CRPF de Champagne-Ardenne, des mesures d'arbres numérotés sont réalisées à intervalles réguliers. Après une période de deux années, une nouvelle série de mesures de hauteur a indiqué qu'un certain nombre d'arbres de plusieurs dispositifs voyaient leur hauteur totale « diminuer ». Comme les mesures initiales avaient été faites avec un dendromètre Vertex III (de la société Haglöf) et les secondes avec un TruPulse 200B (de la société Laser Technology), la question de la fiabilité des mesures obtenues avec ces appareils s'est posée. Au-delà de la recherche d'une explication de ce qui s'était passé, la préparation d'une étude nécessitant une grande campagne de mesures de hauteur pour laquelle l'obtention de résultats fiables est impérative a motivé les travaux présentés ci-après.

La hauteur des arbres, une donnée qu'il faut parfois mesurer avec précision

La mesure de la hauteur intervient dans beaucoup de domaines forestiers. Par exemple, la hauteur entre dans les formules de cubage des arbres sur pied ou dans le suivi de la ressource. La hauteur dominante (Pardé, 1956 ; Pardé et Bouchon, 1988) sert notamment au suivi sylvicole des peuplements réguliers. Elle est aussi utilisée comme indice de fertilité pour comparer la croissance d'une essence en fonction des stations (Franc et Houllier, 1989). Parfois, la hauteur dominante n'est calculée qu'avec la mesure de très peu d'arbres, par exemple 3 arbres sur une placette de 6 ares (Pardé et Bouchon, 1988 ; Duplat, 1989). Il convient donc dans ce cas de réaliser des mesures de bonne qualité afin de diminuer l'imprécision. Ceci est d'autant plus important qu'une différence de hauteur dominante moyenne de seulement 2 m peut suffire pour discriminer les productivités de deux types de stations (Gaudin *et al.*, 1999).

Quels sont les facteurs qui influent sur la précision des mesures de hauteur ?

Depuis de nombreuses années, les outils qui servent à mesurer la hauteur des arbres et leur précision intéressent les forestiers (Bouchon, 1967 ; Rennie, 1979). L'arrivée de nouveaux appareils suscite des articles de présentation et de prise en main ainsi que des tests de précision (Rondeux, 1978 ; Skovsgaard *et al.* 1998 ; Rondeux et Pauwels, 1998 ; Pauwels, 2001). Souvent, les qualités des appareils récents (précision des résultats, ergonomie, rapidité des mesures) sont évaluées en les comparant à celles des appareils déjà utilisés par les forestiers (Božić, 2005). Globalement, les outils mis à la disposition des forestiers sont de plus en plus précis et rapides à mettre en œuvre.

Les sources d'imprécision sur les mesures de hauteur sont assez nombreuses. Pardé et Bouchon (1988) distinguent :

- les erreurs dues à l'appareil ;
- les erreurs dues à l'opérateur ;
- les erreurs dues à l'objet visé.

Tous ces termes d'erreur peuvent être aléatoires ou systématiques. Rondeux (1999) décrit d'une part des erreurs instrumentales et d'autre part des erreurs de mesure. Les erreurs instrumentales sont liées uniquement à l'appareil. Il peut s'agir de biais ou d'un manque de précision lié à la conception de l'outil. Les erreurs de mesure sont subdivisées en :

- erreurs relatives à la configuration des arbres mesurés ;
- erreurs dues à l'opérateur ;
- erreurs de mise en station.

Le type de matériel utilisé apparaît d'emblée comme un facteur intervenant sur la précision des résultats. La présence d'éventuels biais liés au matériel est à surveiller, voire à corriger quand cela est possible (Bouchon, 1967). L'opérateur a un rôle central dans la mesure. De ses connaissances et de la qualité de son travail dépendent un grand nombre d'erreurs.

La pratique des mesures de hauteur montre rapidement que les caractéristiques du peuplement (densité des tiges, présence d'un sous-étage, essences à mesurer) influent fortement sur la difficulté de leur réalisation et vraisemblablement sur la précision des résultats.

FIGURE 1 **SCHÉMA PRÉSENTANT LES PRINCIPALES SOURCES D'ERREUR LORS D'UNE MESURE DE HAUTEUR**

Les numéros font référence à certaines parties du tableau I (p. 165).

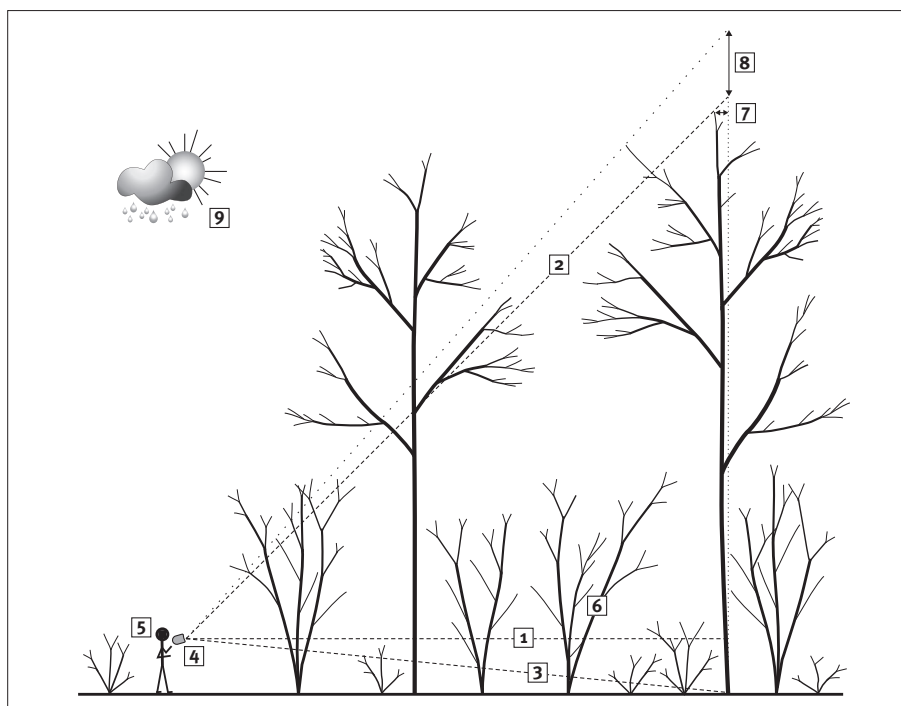


TABLEAU I Classement des principales sources d'erreur lors d'une mesure de hauteur

Les numéros font référence à une illustration en figure 1 (p. 164).

	Mise en station Positionnement par rapport à l'arbre [1]	Visée vers la cime de l'arbre [2]	Visée vers la base de l'arbre [3]
Matériel [4]	Précision intrinsèque du matériel. Existence d'éventuels biais. Vérification régulière du matériel et étalonnage quand celui-ci est possible.		
Opérateur [5]	Formation (connaissance du matériel, de son usage et lecture de la notice ; habitude de travail avec le matériel) Acuité visuelle (port de verres correcteurs) Application dans la réalisation des mesures et temps passé à la mesure. Vérification régulière de la cohérence des résultats obtenus. Erreur de lecture des résultats (lecture sur une mauvaise échelle de graduation, par exemple).		
Densité du peuplement	Les peuplements denses compliquent la mise en station (difficulté de voir le tronc pour se mettre en station).	Il est difficile de trouver un endroit permettant à la fois de se mettre en station et de viser la cime en peuplement dense.	Difficulté pour trouver un axe convenable pour viser le pied.
Présence d'un sous-étage [6] (arbustes ou taillis), de rémanents d'exploitation	Certaines méthodes pour se mettre à distance (utilisation d'une perche, d'une mire ou d'un rayon laser) sont fortement perturbées par un sous-étage dense.	Le taillis rend difficile la visualisation de la cime.	Difficulté pour visualiser le pied des arbres.
Essence		La visualisation de la cime et l'identification du bourgeon terminal sont plus ou moins faciles selon l'essence.	
Forme des arbres	Les arbres penchés ou courbés n'ont pas la cime à l'aplomb du tronc. Cela crée des biais [7]. Les branches basses (à hauteur d'homme) compliquent la mise à distance.	Difficulté pour définir la cime de l'arbre (feuillus et pins âgés). Risque de surestimation de la hauteur [8].	
Conditions météorologiques [9]	Augmentation de la difficulté pour viser à travers la végétation par temps très couvert. Certains matériels (à ultrasons) sont perturbés par une pluie forte et leur mise à distance dépend de la température (étalonnage nécessaire).	Le soleil peut gêner pour viser la cime (contre-jour). Les temps hivernaux très couverts rendent plus difficile la visualisation du sommet de l'arbre. Le vent en faisant bouger les cimes aide parfois à les repérer, mais complique aussi les mesures.	La présence d'une fine couche de neige au sol aide à bien repérer le pied des arbres. Une couche épaisse induit un risque de biais.
Saison	La présence des feuilles chez les essences caducifoliées réduit la visibilité.		Le développement de la végétation du sous-bois limite la visibilité du pied de l'arbre en saison de végétation.

Une forte densité complique les mesures tout comme un sous-étage dense (Rondeux, 1999). Certaines essences comme les conifères à cime pointue (Épicéa, Douglas) sont plutôt faciles à mesurer. En revanche, les larges houppiers globuleux des feuillus ou des pins peuvent introduire des biais assez conséquents (surestimation de l'ordre de 10 %, Loetsch *et al.*, 1973 *in* Rondeux, 1999). Dans ce cas, ce sont des branches partant en direction de l'opérateur qui sont visées et non la cime.

Bien entendu, la saison intervient lors de la mesure des essences caducifoliées. Le houppier est nettement plus facile à visualiser et la cime à identifier en l'absence de feuilles. De manière plus générale, les arbres sont des êtres vivants possédant un certain nombre de particularités (port, tronc penché ou courbe, cime pointue ou aplatie...) qui rendent difficile la mesure de leur hauteur depuis le sol.

Même si les conditions météorologiques sont nettement moins citées, l'expérience montre que les temps hivernaux peu lumineux avec un ciel couvert compliquent le travail et rendent difficile la visualisation des arbres et les visées. Pour bon nombre des critères rassemblés dans le tableau I (p. 165) et illustrés en figure 1 (p. 164), il n'est pas facile de déterminer lesquels sont prépondérants.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les dendromètres testés

Les deux dendromètres étudiés dans cet article sont des modèles assez récents qui se caractérisent par une mesure numérique de la distance à l'arbre à l'aide d'ultrasons (Vertex) ou d'un rayon laser (TruPulse). Ils sont de plus en plus souvent utilisés par les gestionnaires ou les expérimentateurs, au détriment de modèles plus anciens comme le Blume-Leiss ou le Suunto (mise à distance optique selon des valeurs imposées : 15 m, 20 m, 30 m...).



Photo 1 Les deux dendromètres photographiés lors d'un des tests réalisés en Argonne. De gauche à droite : le TruPulse 200B, le Vertex III et son transpondeur.

Photo S. Gaudin

- *Méthode pour la mesure des hauteurs*

La figure 2 (ci-dessous) montre les opérations à réaliser pour obtenir la hauteur d'un arbre. Pour le Vertex, la première visée doit se faire vers le transpondeur qui est fixé sur l'arbre à une hauteur déterminée (par défaut, à 1,30 m). Cette visée donne à la fois un résultat angulaire et une distance. La seconde visée est uniquement angulaire. Le Vertex ne nécessite pas de visée au pied de l'arbre. Des calculs trigonométriques simples permettent ensuite d'obtenir la hauteur de l'arbre (Pauwels, 2001).

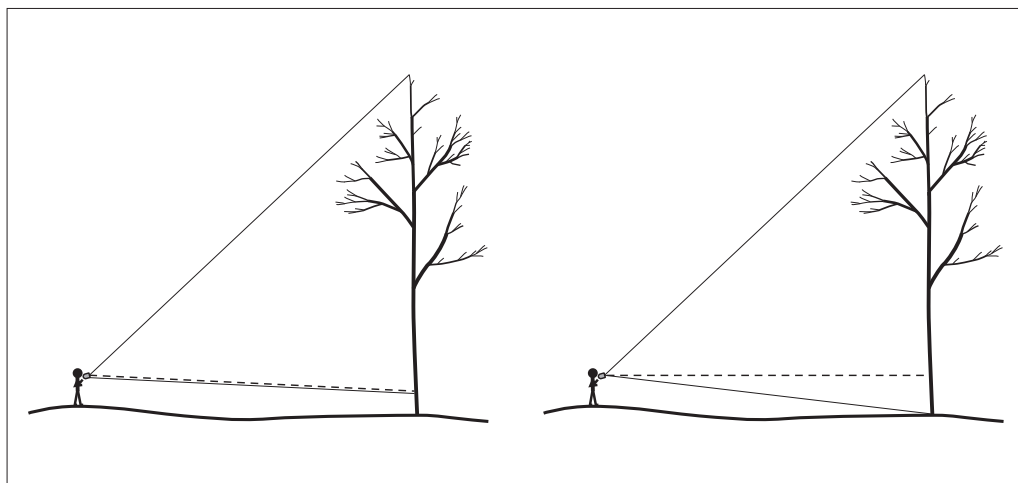
La vitesse de déplacement des ultrasons utilisés par le Vertex pour calculer la distance dépend de l'humidité, de la pression atmosphérique et de la température. Cette dernière pouvant modifier de façon notable les résultats (2 cm par degré d'écart entre la température extérieure et celle du Vertex), il est conseillé d'attendre que l'appareil soit à température ambiante avant de commencer les mesures. Par ailleurs, il est recommandé de calibrer régulièrement le Vertex à l'aide d'un décamètre pour garantir les mesures les plus précises, une fois l'appareil en équilibre avec la température extérieure. Le bruit ambiant (tronçonneuse, bruit de pas sur une litière sèche ou de la neige gelée, pluie, proximité d'un ruisseau...) peut perturber les mesures. Il ne faut pas non plus travailler avec des Vertex proches l'un de l'autre (obtenions de mesures erronées).

La mesure d'une hauteur au TruPulse se déroule en trois étapes. Il faut d'abord viser l'arbre horizontalement pour que le laser mesure la distance horizontale. Le rayon laser est arrêté par la première cible qu'il touche. Cela pose donc problème en milieu forestier dès qu'un sous-étage assez dense est présent⁽¹⁾. C'est pour cela que le fabricant propose en option l'utilisation d'un réflecteur à fixer sur l'arbre et d'un filtre à installer sur l'appareil pour ne recueillir que les réponses en provenance de la cible.

La distance ayant été mesurée, il reste alors à effectuer une visée vers la cime de l'arbre et une vers sa base (peu importe l'ordre) pour que le TruPulse calcule et affiche la hauteur.

FIGURE 2 **OPÉRATIONS À RÉALISER POUR MESURER LA HAUTEUR D'UN ARBRE À L'AIDE D'UN VERTEX (à gauche) ET D'UN TRUPULSE (à droite)**

Les traits pointillés désignent une mesure de distance (ultrasons ou laser), les traits pleins une mesure angulaire.



(1) Il existe sur ce dendromètre un mode « Farthest » qui permet de ne tenir compte que de la cible la plus éloignée lorsque le laser en rencontre plusieurs, mais il faut au moins 20 m de distance entre les deux cibles, ce qui ne résout pas notre problème.

• *Quelle précision attendre de ces dendromètres ?*

Les constructeurs indiquent dans leur notice quelle est la précision de leurs appareils. En ce qui concerne le Vertex, il mesure les distances avec une précision centimétrique jusqu'à 20 m et décimétrique au-delà (Pauwels, 2001). Pour les angles, la précision est du dixième de degré et pour la hauteur, du décimètre (Haglöf Sweden AB, 2005).

Pour ce qui est du TruPulse, la lecture de la notice (Laser Technology, Inc., 2005) indique que les distances sont données avec une précision de ± 30 cm sur une cible de bonne qualité (c'est-à-dire réfléchissant bien le rayon laser) et de ± 1 m sur une cible de mauvaise qualité⁽²⁾. La précision pour les mesures angulaires est de $\pm 0,25$ degré. La notice n'indique pas de précision sur la mesure des hauteurs. Un calcul d'incertitude pour un arbre de 20 m de haut et un opérateur situé à 20 m donne une précision de $\pm 0,35$ m avec une cible de bonne qualité et de $\pm 1,02$ m avec une cible de mauvaise qualité. Pour un arbre de 40 m situé à 40 m, ces deux valeurs passent à 0,48 m et 1,07 m.

La comparaison avec un autre dendromètre laser de la même société (Criterion 400 : précision sur les distances : 0,1 m, sur les angles : 0,17 degré et sur les hauteurs : 0,15 m ; Skovsgaard *et al.*, 1998) montre que les caractéristiques annoncées pour le TruPulse sont plutôt moyennes. Il ne s'agit cependant pas de produits du même prix.

La précision intrinsèque des appareils place le Vertex en tête, mais comme cela a été détaillé ci-dessus (tableau I, p. 165 et figure 1, p. 164), bien d'autres facteurs que le matériel utilisé interviennent dans la précision d'une mesure de hauteur. Il existe quelques synthèses sur la qualité des mesures. Pour le Vertex (Rondeux et Pauwels, 1998), le résultat obtenu pour la mesure d'un arbre de 20 m de haut est dans 66 % des cas compris entre 19,8 et 20,3 m. Cela correspond à une erreur relative de 1 à 1,6 %. Le Vertex qu'ils ont testé ne présente pas de biais.

Le Vertex a également été testé par Wing *et al.* (2004). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau II (ci-dessous). Ils diffèrent assez fortement de ceux énoncés ci-dessus (biais important sur une moyenne de 10 mesures ; écart type faible, c'est-à-dire peu de dispersion des mesures). Dans la mesure où il s'agit quatre fois sur cinq d'une surestimation et que les auteurs ne précisent pas si le Vertex a été calibré avant les mesures, il subsiste un doute sur ces résultats.

TABLEAU II

Résultat de tests sur cinq douglas

Le Vertex III étant positionné sur un trépied

Arbre	Hauteur réelle (théodolite)	Écart moyen issu de 10 mesures au Vertex III	Écart type sur 10 mesures au Vertex III
1	22,01	1,21	0,20
2	22,03	1,14	0,08
3	25,71	– 0,08	0,05
4	26,42	1,29	0,09
5	27,58	1,00	0,10

La fiabilité des mesures de distance au TruPulse a été étudiée en même temps que celle d'autres télémètres laser (Farve, 2010). En terrain découvert, pour une distance de 21,33 m mesurée au

(2) Quand la cible est de mauvaise qualité, l'appareil donne le résultat sans décimale alors qu'il est habituellement affiché avec une décimale quand la cible est bien réfléchissante.

décamètre⁽³⁾, 36 mesures réalisées par trois opérateurs donnent une moyenne de 21,17 m. Il existe dans ce cas un biais, l'intervalle de confiance de la moyenne obtenue au seuil de 5 % n'englobant pas la valeur réelle.

Avec un arbre dont le tronc est masqué à 80 % par la végétation, situé à 18,29 m, une série de mesures (24 mesures par deux utilisateurs) conduit à des résultats sous-estimant tous la distance réelle (avec une sous-estimation moyenne de 85 cm, soit – 4,6 %). Le même arbre a été visé à une distance réelle mesurée au décamètre de 24,38 m, mais en utilisant une cible réfléchissante et un filtre pour minimiser l'effet de la végétation masquant en grande partie le tronc. Dans ce cas, la sous-estimation n'est pas systématique, même si la moyenne résultant de 36 observations faites par trois utilisateurs donne une moyenne de 24,14 m (soit une sous-estimation moyenne de 24 cm, c'est-à-dire moins de 1 %).

Ces derniers résultats montrent que ce dendromètre calculant les distances à l'aide d'un laser est gêné par la végétation, ce qui conduit à une sous-estimation des distances. L'utilisation d'un dispositif adapté (cible réfléchissante et filtre sur l'appareil) permet d'améliorer très nettement les résultats.

En ce qui concerne les mesures de hauteur effectuées au TruPulse, Bragg (2008) estime que l'erreur est comprise entre ± 1 et ± 3 m. Une partie de cette erreur estimée semble liée au fait qu'il s'agit dans le cas traité de la mesure de pins dont le houppier globuleux favorise les erreurs de visée⁽⁴⁾.

La synthèse des données bibliographiques montre qu'il existe vraisemblablement des différences de précision dans les mesures de hauteur avec ces deux instruments sans qu'il soit pour autant possible de statuer définitivement. Une étude supplémentaire a donc été conduite. Elle avait pour finalité de répondre aux deux questions suivantes :

- quelle est la précision intrinsèque des deux appareils utilisés pour la mesure des hauteurs ?
- existe-t-il des différences significatives dans les mesures de hauteur totale réalisées en forêt en fonction du dendromètre utilisé ?

Les mesures à réaliser

• Estimation de la précision des deux dendromètres en milieu urbain

Le constructeur indique une précision pour ses appareils, mais il peut exister des différences de précision entre appareils du même modèle et certains peuvent donner des mesures entachées de biais (Bouchon, 1967). La mise en évidence de la fiabilité des mesures d'un dendromètre ne peut se faire qu'en milieu contrôlé (Skovsgaard *et al.*, 1998). C'est pour cela que ces outils ont d'abord été testés en milieu urbain et non en forêt.

La hauteur réelle d'immeubles a été mesurée au décamètre, ce qui permet ensuite de comparer les résultats obtenus par les dendromètres avec la réalité. Afin d'obtenir des résultats précis, les immeubles retenus devaient présenter une façade verticale sans redents. La mesure de la hauteur à l'aide d'un ruban se faisait depuis un endroit facilement identifiable depuis le sol (rambarde, rebord de fenêtre). Les appareils posés sur trépied étaient positionnés à une distance de l'immeuble comparable à la hauteur à mesurer. Les plus grandes précautions ont été prises pour obtenir les mesures les plus précises (pour le TruPulse, visée sur une cible bien réfléchissante, horizontalité de la mesure de la distance contrôlée au niveau à bulle ; pour le Vertex, positionnement précis du transpondeur à 1,30 m de hauteur, mise en température et calibration avant chaque série de mesures). Le trépied permet non seulement de réaliser les mesures du même endroit, mais aussi

(3) Les valeurs ne sont pas des nombres ronds car ces résultats proviennent d'une synthèse américaine dans laquelle le système métrique n'est pas utilisé (résultats initiaux en pieds).

(4) Se rapporter à ce sujet au cas n° 8 présenté dans le tableau I (p. 165) et en figure 1 (p. 164).

de faire des visées très précises, en particulier avec des outils comme le TruPulse qui ont un viseur grossissant (x 7).

Différents bâtiments ont été retenus en fonction de leur accès et de la diversité des hauteurs. L'idée était de balayer une grande plage de hauteur (de 10 à 40 m), correspondant à la hauteur des arbres usuellement mesurés en forêt. Les mesures étaient répétées dix fois avec chaque appareil, le même opérateur réalisant toutes les mesures. Trois appareils ont été testés : un Vertex III et deux TruPulse 200B.

- *Comparaison des deux dendromètres en forêt*

Quand il s'agit de connaître la précision d'une mesure dendrométrique, le mieux est de se référer à une valeur exacte et de comparer ensuite le résultat des mesures à cette référence. En ce qui concerne la hauteur des arbres, la mesure d'arbres martelés permet après une série de mesures sur pied, d'évaluer avec précision la longueur totale une fois l'arbre au sol (Dagnelie, 1975). La mesure à l'aide d'un ruban et de perches en grimpant dans l'arbre est également possible (Williams *et al.*, 1994), mais rare. Sinon, une mesure réalisée avec un appareil ayant une précision bien supérieure aux dendromètres à tester — par exemple, un théodolite (Bouchon, 1967 ; Wing *et al.*, 2004) ou un Criterion 400 monté sur trépied (Skovsgaard *et al.*, 1998) — peut produire une bonne référence (précision centimétrique au théodolite, par exemple ; Bouchon, 1967). La dernière solution est de réaliser sur chaque arbre une série de mesures et de considérer la moyenne obtenue comme la référence. Cela suppose notamment que l'appareil utilisé ne présente pas de biais.

Les arbres testés faisant partie d'un réseau d'expérimentation dans lequel aucune éclaircie n'était prévue cette saison, la mesure après abattage était exclue. Nous n'avions pas en notre possession d'appareil permettant d'obtenir une précision importante. Le nombre d'arbres à mesurer et le temps imparti ne permettaient pas de multiplier les mesures.

Ainsi, il a été retenu de réaliser pour chaque arbre un couple de mesures, l'une avec le Vertex et l'autre avec le TruPulse, comme ce sont essentiellement les différences obtenues avec ces deux dendromètres qui nous intéressent. Étant donné que la fiabilité d'une mesure de hauteur dépend de nombreux paramètres et que nous cherchions surtout à tester les deux dendromètres, nous avons essayé de bloquer au maximum les autres causes de variabilité.

Les deux mesures sur chaque arbre ont été réalisées :

- à la suite l'une de l'autre (ce qui permet d'avoir la même saison et les mêmes conditions météorologiques) ;
- du même endroit et en visant la même cime (comme cela, même si ce n'est pas la vraie hauteur totale qui est mesurée, à cause d'une mauvaise détermination de la cime, les deux dendromètres sont mis à contribution sur la même hauteur) ;
- par le même opérateur pour l'ensemble des mesures (cela ne fait pas disparaître l'effet opérateur, mais assure une certaine cohérence dans la façon de mesurer les arbres et de se servir des dendromètres). Un autre opérateur notait les résultats.

L'organigramme présenté en figure 3 (p. 171) détaille la procédure suivie. Le positionnement se faisait de manière à assurer une bonne visibilité de la base de l'arbre et de la cime. Les résultats étant meilleurs avec une visée haute à 45 degrés (Rondeux, 1999), l'opérateur a cherché à se positionner d'emblée à une distance de l'arbre équivalente à sa hauteur.

La mesure de hauteur au Vertex réalisée, la cohérence entre la hauteur mesurée et la distance à l'arbre a été vérifiée. S'il existait une trop grande différence (plus de 20 % d'écart entre hauteur et distance), une seconde mesure était réalisée en se positionnant mieux.

Venait ensuite la mesure au TruPulse. Dans de rares cas, il était impossible de mesurer la distance à l'arbre (visée laser) en raison de la densité du peuplement ou du sous-étage. Alors, l'opérateur se

décalait de quelques mètres (en vérifiant qu'il allait se trouver en position de voir la cime sous le même angle et en visant le même bourgeon).

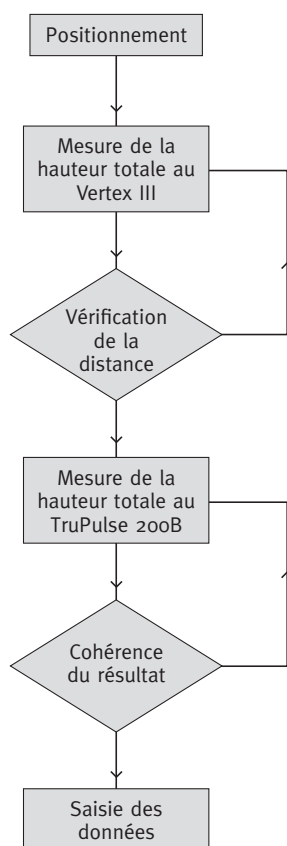
Une fois la mesure au TruPulse effectuée, un contrôle de la qualité de la mesure était réalisé. Il ne s'agissait pas de comparer la hauteur obtenue à celle annoncée par le Vertex, mais de vérifier qu'il n'y avait pas d'incohérence (par exemple, une hauteur annoncée de 13 m alors que tous les autres arbres mesurés autour ont une hauteur comprise entre 18 et 20 m). L'utilisation par le passé de ce dendromètre a montré que ce type d'erreur se produit dans les peuplements à sous-étage dense. En cas d'erreur manifeste, une seconde mesure était effectuée.

L'utilisation d'une cible réfléchissante et d'un filtre pour s'affranchir de la végétation ne s'est pas faite. En effet :

- le CRPF ne possède pas ce matériel ;
- parmi les utilisateurs de ce dendromètre qui ont été rencontrés, aucun ne possède ce matériel additionnel et nos tests ne les auraient pas intéressés ;
- l'un des intérêts de ce dendromètre est qu'il ne nécessite pas d'aller au pied de l'arbre pour poser une mire ou un transpondeur. Cet intérêt disparaît dans le cas où il faut utiliser une cible réfléchissante.

FIGURE 3

PRÉSENTATION DE L'ORGANISATION DES MESURES POUR COMPARER LES DEUX DENDROMÈTRES



- *Les peuplements mesurés*

Afin de limiter les mesures spécifiques pour cette étude et de valoriser la campagne de mesures, il a été décidé de n'effectuer des relevés que dans le cadre du réseau d'expérimentation du CRPF. Ainsi le seul surcoût en temps était la réalisation d'une série de mesures doubles au lieu de mesures uniques.

Les peuplements devaient être choisis de manière à diversifier les essences (feuillus et résineux), les âges et les hauteurs ainsi que les conditions de mesure (présence ou absence d'un sous-étage, voir photos 2 et 3, ci-dessous). Toutes les placettes devant être retenues étant en situation plane, il n'y a pas à se soucier d'une éventuelle correction de pente pour les résultats obtenus. Tous les feuillus ont été mesurés hors période feuillée.



Photo 2 Vieille futaie de Douglas (placette 51R001a) peu dense avec absence de sous-étage. Ce sont de très bonnes conditions pour réaliser des mesures, quel que soit l'outil.



Photo 3 Jeune merisier entouré de taillis (placette 52Fo76). La mesure des hauteurs dans un tel peuplement est délicate.

Photos S. Gaudin

RÉSULTATS

La précision intrinsèque des dendromètres utilisés

Les premiers résultats concernent les mesures réalisées en milieu contrôlé destinées à connaître la précision des outils utilisés. Le tableau III (p. 173) synthétise les résultats obtenus.

En règle générale, il y a peu de variabilité dans les mesures (les écarts types sont faibles, les coefficients de variation sont toujours inférieurs à 1 %). Les deux dendromètres TruPulse donnent des

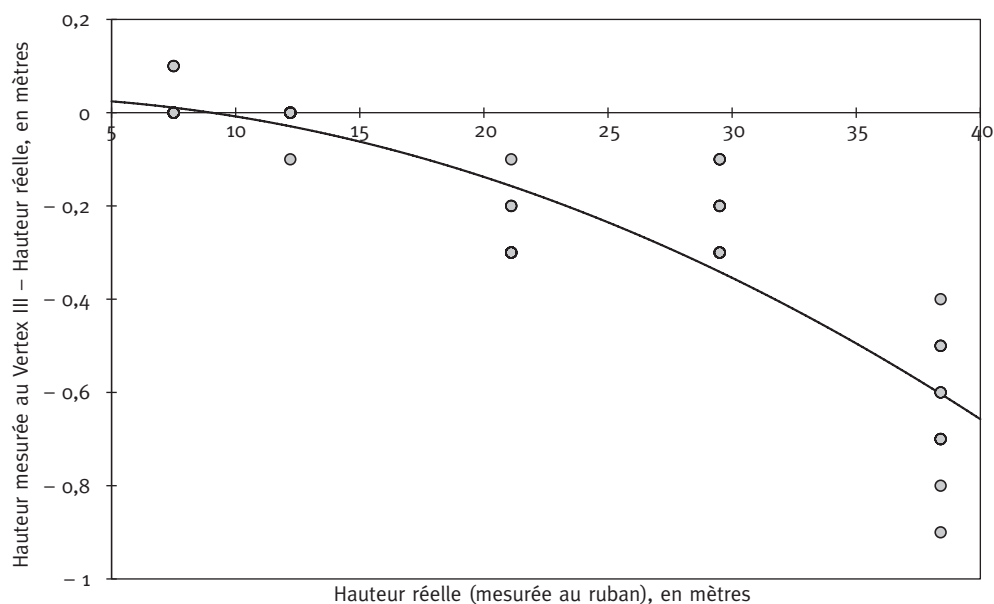
mesures moyennes pas trop éloignées de la réalité. Le TP1 a une tendance à sous-estimer légèrement la hauteur quand celle-ci est importante. Le TP2 la surestime légèrement quand elle est faible et la sous-estime légèrement quand elle est importante. Ces données montrent que deux appareils de même modèle peuvent présenter de légères différences de mesures.

TABLEAU III
Résultats obtenus en conditions contrôlées
(toutes les valeurs sont exprimées en mètres)

Instrument	Hauteur réelle	7,5	12,2	21,1	29,5	38,4
TP1	Moyenne	7,50	12,20	21,09	29,26	38,21
	Écart type	0,00	0,00	0,03	0,08	0,12
	Biais	0,00	0,00	- 0,01	- 0,24*	- 0,19*
TP2	Moyenne	7,56	12,26	21,17	29,39	38,32
	Écart type	0,05	0,05	0,05	0,07	0,09
	Biais	0,06*	0,06*	0,07*	- 0,11*	- 0,08*
V	Moyenne	7,52	12,19	20,84	29,27	37,66
	Écart type	0,04	0,03	0,07	0,08	0,15
	Biais	0,02	- 0,01*	- 0,26*	- 0,23*	- 0,74*

TP1 et TP2 désignent les deux dendromètres TruPulse 200B et V le Vertex III. Les moyennes et écarts types proviennent dans chaque cas d'une série de 10 mesures. La hauteur réelle est mesurée directement au décimètre (ruban de 50 m). Le symbole * signifie que le biais obtenu est significatif au seuil de 5 %.

FIGURE 4
ÉVOLUTION DES ÉCARTS DE MESURE DU VERTEX
TESTÉ EN FONCTION DE LA HAUTEUR MESURÉE



Le tableau semble indiquer que le Vertex testé sous-estime la hauteur quand celle-ci est importante (le phénomène s'accroissant d'autant plus que la hauteur augmente et pouvant atteindre des valeurs non négligeables). Ceci a conduit à réaliser la figure 4 et à rechercher un modèle mettant en relation écart de mesure (Hauteur Vertex – Hauteur réelle) et hauteur réelle. Un modèle linéaire ne convenait pas, une régression polynomiale de degré 2 a donné de bons résultats :

$$H_{\text{Vertex}} - H_{\text{réelle}} = 0,0349 + 3,5514 \cdot 10^{-5} \times H_{\text{réelle}} - 0,000433 \times H_{\text{réelle}}^2 ; R^2 = 0,81$$

H en mètres

Ce dendromètre présente donc un biais de mesure. Nous avons constaté que deux exemplaires du dendromètre TruPulse peuvent avoir une précision intrinsèque différente. Il est donc possible que le biais observé sur la figure 4 (p. 173), pour le Vertex III testé, ne soit présent que sur l'exemplaire dont nous disposons.

Caractéristiques des peuplements mesurés et conditions de mesure

Deux dendromètres [Vertex et TruPulse (le TP1)] ont été testés en forêt. Le tableau IV (p. 175) présente les peuplements qui ont été concernés par cette étude et donne leurs principales caractéristiques pouvant interférer dans la précision des mesures de hauteur. La densité indiquée est celle des arbres mesurés. La densité totale est bien supérieure dans les jeunes peuplements.

Même si la densité du sous-étage est un paramètre important pour la qualité des mesures, celle-ci n'a pas pu être quantifiée étant donné la complexité que cela engendre. Seules trois classes ont été retenues (Abondant, Peu abondant et Absent).

Les peuplements retenus ont été choisis notamment en fonction de la facilité à définir la cime des arbres. Il s'agit soit de jeunes peuplements feuillus dans lesquels l'axe principal est bien marqué et le houppier peu développé latéralement, soit de résineux à cime pointue.

Le nombre d'arbres mesurés varie sur chaque dispositif, il est fonction :

- du nombre d'arbres numérotés et suivis sur la placette ;
- du tri effectué lors des mesures [certains arbres difficiles à mesurer en raison de leur forme (fourchaison, rectitude, asymétrie du houppier...) n'ont pas été retenus] ;
- du temps imparti pour les mesures.

Le nombre d'arbres mesurés par placette est compris entre 15 et 39. Cela apparaît suffisant pour apporter des conclusions. En ce qui concerne les hauteurs des arbres mesurés, elles s'échelonnent entre 10 et 40 m. Il existe cependant une lacune entre 20 et 25 m.

Les conditions météorologiques étaient dans tous les cas favorables à l'obtention de résultats peu entachés d'imprécisions. La luminosité favorisait des visées de qualité. La pluie n'a pas compliqué les mesures.

L'analyse des écarts entre les deux dendromètres

Pour chaque arbre, la différence entre les deux mesures (Vertex et TruPulse) a été calculée. La figure 5 (p. 176) présente la synthèse des résultats obtenus par placette.

La figure 5 montre qu'il existe pour certaines placettes des écarts importants entre les deux dendromètres (points sortant de la « boîte à moustaches »). À trois exceptions près, il s'agit d'arbres pour lesquels le TruPulse a donné une mesure nettement plus faible que celle obtenue avec le Vertex. Ces écarts, notamment les plus marqués, semblent liés aux placettes ayant un sous-étage abondant. Ils apparaissent malgré un protocole qui visait à les limiter (réalisation d'une nouvelle mesure en cas de résultat litigieux avec le TruPulse).

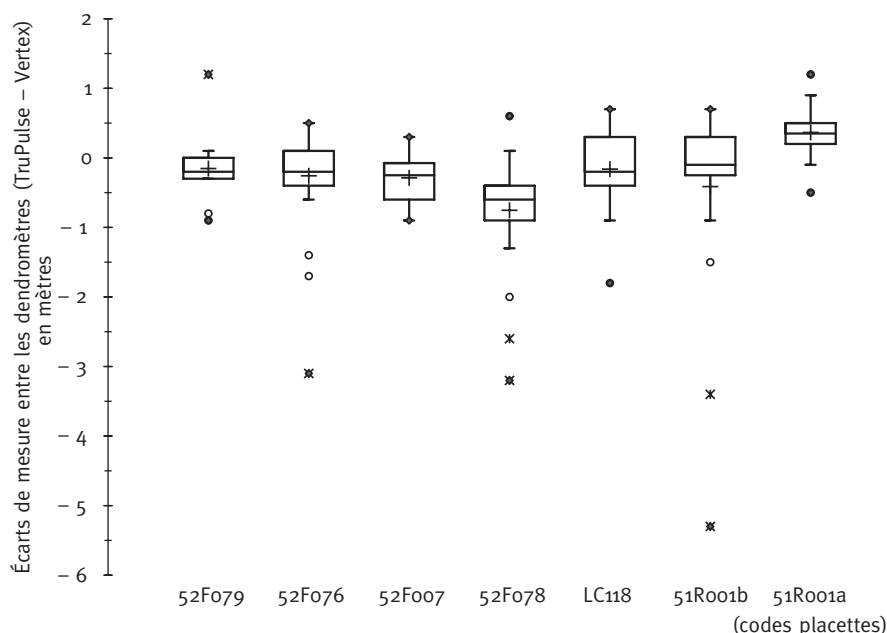
TABLEAU IV Principales caractéristiques des peuplements visités et résultats des mesures

Placette	52F079	52F076	52F007	52F078	LC118	51R001b	51R001a
Essence mesurée	Chêne sessile	Merisier	Chêne sessile	Frêne commun	Peuplier	Mélèze	Douglas
Nombre d'arbres mesurés	15	39	16	26	21	23	26
Âge des arbres (années)	23	23	33	26	19	54	56
Densité des arbres mesurés (tiges par hectare)	120	97	320	70	180	250	200
Type de peuplement	Bas perchis	Perchis	Perchis	Perchis	Vieille peupleraie	Futaie adulte	Futaie adulte
Sous-étage	Peu abondant	Abondant	Peu abondant	Abondant	Peu abondant (rémanents et semis sur la ligne)	Abondant	Absent
Essences du sous-étage	Chêne, Saule, Tremble, Bouleau	Noisetier, Érable sycomore, Merisiers	Chêne sessile, bois blancs	Noisetier, Charme, Frêne, Aulne glutineux, Aubépine	Frêne	Noisetier, Charme	—
Conditions météorologiques	Temps clair (soleil)	Ciel nuageux, mais temps clair	Ciel nuageux, mais temps clair	Temps clair (soleil voilé)	Soleil	Soleil et neige au sol	Soleil et neige au sol
Hauteur moyenne au Vertex (mètres)	11,38	14,45	16,60	17,96	27,54	29,81	35,12
Hauteur moyenne au Trupulse (mètres)	11,23	14,19	16,31	17,21	27,38	29,40	35,49
Test <i>t</i> (échantillons appariés)	—	—	**	—	N.S.	—	***
Test de Wilcoxon signé	*	**	*	***	N.S.	N.S.	***

— test non réalisé ; N.S. : pas de différence significative au seuil de 5 % ; * : différence significative au seuil de 5 % ; ** : différence significative au seuil de 1 % ; *** : différence significative au seuil de 0,1 %.

FIGURE 5 DISTRIBUTION DES ÉCARTS ENTRE LES DEUX DENDROMÈTRES PAR PLACETTE

Les placettes sont classées par hauteur moyenne croissante. La moyenne correspond à la croix, la médiane au trait horizontal dans la boîte.



Si l'on fait abstraction de ces écarts importants évoqués ci-dessus, la figure 5 montre que les différences entre les deux dendromètres restent le plus souvent acceptables. Dès les mesures sur le terrain, il a semblé aux auteurs que les hauteurs annoncées par le Vertex étaient généralement plus élevées que celles données par le TruPulse pour les peuplements de hauteur faible à moyenne. Cela est moins net pour les hauteurs les plus importantes. Quelle que soit la placette, la moyenne ou la médiane des écarts ne sont pas égales à zéro (à l'exception de la placette 51R001a, elles sont négatives⁽⁵⁾). Une comparaison des moyennes par appareil sur chaque placette a donc été réalisée. Un test non paramétrique de Wilcoxon signé a été effectué à chaque fois. Quand l'hypothèse de normalité était vérifiée, un test *t* a également été réalisé. Dans les deux cas, il s'agit de tests sur échantillons appariés (le même arbre est mesuré par deux méthodes différentes). Les résultats sont consignés dans le tableau IV (p. 175). Les tests paramétriques et non paramétriques sont cohérents sur chaque placette où ils ont pu être calculés conjointement.

DISCUSSION

Deux dendromètres n'ayant pas la même précision intrinsèque

Les données fournies par le constructeur indiquent *a priori* une meilleure précision pour le Vertex que pour le TruPulse. Les tests réalisés en environnement urbain nous montrent cependant que les erreurs instrumentales sont pour le TruPulse inférieures aux valeurs théoriques, alors que pour

(5) En corrigeant les mesures réalisées au Vertex grâce au modèle présenté en figure 4 (p. 173), pour tenir compte de son biais lors des mesures de hauteurs importantes, ces résultats sont amplifiés. Ainsi, non seulement toutes les moyennes et les médianes deviennent négatives, mais pour toutes les placettes, au moins 75 % des écarts entre les deux dendromètres sont négatifs ($TP - V < 0$ signifie que le TruPulse donne une mesure inférieure à celle du Vertex).

les grandes valeurs de hauteur, celles du Vertex (figure 4, p. 173) sont nettement supérieures à la précision annoncée par le constructeur ($\pm 0,1$ m) et surtout systématiques. Par exemple, le biais moyen est de -23 cm pour 25 m, de -35 cm pour 30 m et de -49 cm pour 35 m. Des biais de même ordre de grandeur et de même forme (augmentation parabolique de l'erreur systématique avec la hauteur mesurée) peuvent être retrouvés avec d'autres dendromètres récents (Skovsgaard *et al.*, 1998) ou anciens (Bouchon, 1967). L'erreur relative, comprise entre $-2,3$ et $1,3$ % sur nos mesures, est supérieure à ce qui est annoncé par d'autres testeurs de Vertex : de $0,7$ à $1,6$ % en valeur absolue, pour des arbres allant de 20 à 30 m, selon Rondeux et Pauwels (1998).

À ce titre, c'est plutôt le TruPulse qui tire son épingle du jeu avec un biais très faible sur les deux appareils testés (l'erreur relative dépasse rarement 1 %). Il est du même niveau que celui du Criterion 400 du même fabricant (Skovsgaard *et al.*, 1998).

Comme un seul exemplaire de Vertex a été testé, il n'est pas possible de conclure de manière générale sur la précision de ce matériel. Il faudrait vérifier d'autres exemplaires en situation contrôlée sur des hauteurs connues avec précision, pour savoir s'il s'agit d'un problème isolé ne concernant que cet appareil, ou d'une tendance générale touchant tous les Vertex III. En règle générale, il semble souhaitable de tester après achat les nouveaux dendromètres pour se familiariser avec leur manipulation et vérifier la précision de leurs mesures.

Notre appareil n'ayant pas été vérifié lors de sa réception et les tests présentés ci-dessus s'étant déroulés après de nombreuses années d'utilisation, il est possible que le biais mis en évidence soit dû à son utilisation passée (s'il a subi un choc, par exemple). Le modèle présenté en figure 4 (p. 173) peut être utilisé pour corriger les mesures. Cela est utile quand des résultats précis sont souhaités et seulement quand les hauteurs mesurées sont supérieures à 20 m.

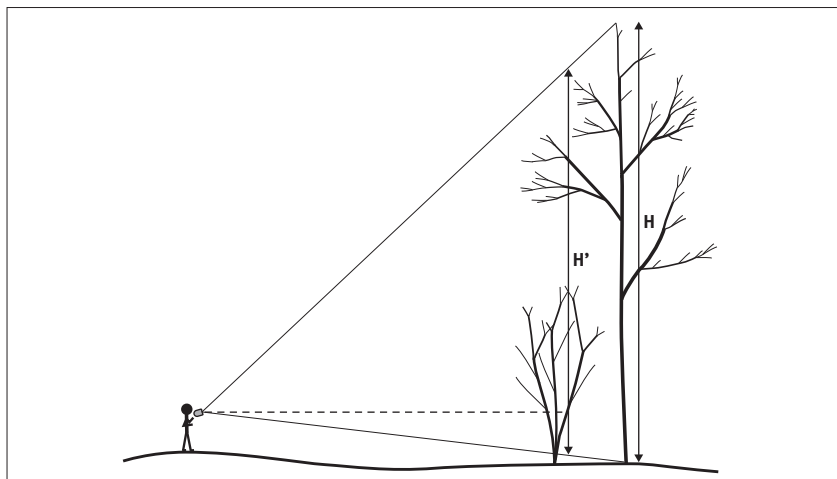
Des résultats différents en forêt

La figure 5 (p. 176) nous montre d'emblée qu'il existe parfois de forts écarts (plusieurs mètres) entre les mesures au Vertex et celles au TruPulse. Dans ce cas, le retour sur les arbres à problème montre qu'il s'agit clairement d'une forte sous-estimation de la hauteur par le TruPulse, même si nous ne connaissons pas avec certitude la hauteur totale de l'arbre. En effet, les arbres posant problème ont une hauteur proche de celle de leurs voisins et non inférieure. Les mesures au Vertex sont dans ce cas cohérentes. Cela se produit lorsque le peuplement possède un sous-étage important rendant difficile la mise à distance par faisceau laser. L'explication du problème est illustrée par la figure 6 (p. 178). Il suffit que le rayon laser soit arrêté par une cible avant l'arbre pour que la hauteur mesurée H' soit inférieure à la hauteur réelle H , même avec une visée haute et une visée basse correctement réalisées. Ces erreurs importantes, même si elles ne sont pas majoritaires, posent problème : elles peuvent fortement fausser le suivi individuel des arbres ou la moyenne obtenue sur un échantillon. Dès que le peuplement présente un sous-étage, il existe un doute sur la fiabilité des mesures obtenues avec un TruPulse. L'obtention d'arbres voyant leur hauteur dominante diminuer entre deux campagnes de mesures qui a initié cette étude trouve ici son explication.

De façon plus générale, l'utilisation de dendromètres utilisant un laser pour le calcul de la distance à l'arbre nous inquiète. En raison du problème présenté en figure 6 (p. 178), il apparaît souhaitable de ne pas les utiliser sauf :

- dans les peuplements sans sous-étage et bien élagués (par exemple en futaie résineuse régulière, sans feuillus) ;
- en prenant de nombreuses précautions dès qu'il y a du sous-étage (validation des mesures, multiplications des mesures en cas de doute, etc.) ;
- en utilisant une cible réfléchissante et un filtre, en espérant que cette option améliore les résultats (nous ne l'avons pas encore testée).

FIGURE 6 **RISQUE DE SOUS-ESTIMATION DE LA HAUTEUR TOTALE**
LORS DE LA MESURE D'UN ARBRE EN UTILISANT UNE MISE À DISTANCE PAR RAYON LASER



En faisant abstraction de ces erreurs importantes, nous constatons sur l'ensemble des placettes, une tendance à une estimation des hauteurs plus importante par le Vertex ou plus faible par le TruPulse (le plus souvent $TP - V < 0$; par exemple, pour la placette 52Foo7, le TruPulse donne une mesure inférieure à celle du Vertex dans trois quarts des cas, soit 12 sur 16). Elle apparaît encore plus nettement lorsque les mesures sont corrigées du biais mis en évidence sur le Vertex. N'ayant pas de référence absolue de la hauteur des arbres, il n'est pas possible de conclure : est-ce une surestimation du Vertex ou une sous-estimation du TruPulse ? Par ailleurs, nous n'avons pas trouvé dans l'analyse du protocole utilisé de pistes qui pourraient expliquer ces résultats (visée trop basse avec l'un des instruments, mauvais positionnement du transpondeur, etc.).

Malgré des écarts entre moyennes qui sont parfois limités, la plupart du temps les différences sont significatives (5 cas sur 7). Ainsi, même en multipliant les mesures, les deux appareils ne donnent pas la même hauteur moyenne. Cela tient d'une part à certaines particularités des tests sur échantillons appariés⁽⁶⁾ (Dagnelie, 1972). D'autre part, les différences entre mesures, même si elles sont minimes, sont souvent dans le même sens, ce qui fait pencher le résultat vers l'hypothèse alternative du test (les deux moyennes sont différentes).

Ainsi, même si les différences de moyennes ne sont pas importantes, il n'y a pas convergence des résultats. Utiliser un dendromètre ou un autre n'est pas neutre, que ce soit au niveau du suivi individuel des arbres ou des moyennes obtenues.

Quel matériel choisir ?

Le tableau V (p. 179) présente quelques éléments pour aider au choix d'un de ces deux modèles. Il n'intègre pas le cas d'un TruPulse utilisé avec une cible réfléchissante et muni d'un filtre végétation (dans ce cas, la précision en milieu forestier serait *a priori* meilleure, mais il faudrait comme pour le transpondeur du Vertex déplacer la cible réfléchissante d'arbre en arbre).

Aucun des deux modèles n'intègre l'ensemble des qualités attendues. Il existe un nouveau dendromètre, le Vertex VL-402 (Greene, 2010) qui embarque les deux possibilités de mise à distance (laser

⁽⁶⁾ Les tests sur échantillons appariés sont d'autant plus sensibles ou d'autant plus puissants que les deux échantillons sont fortement corrélés, ce qui est le cas ici.

TABLEAU V Comparaison générale des deux modèles testés

	Vertex III	TruPulse
Précision sur la hauteur annoncée par le constructeur	Très bonne	Moyenne
Précision en milieu urbain	Assez bonne	Très bonne
Qualité des résultats en l'absence de sous-étage	Bonne	Bonne
Qualité des résultats en présence d'un sous-étage	Bonne	Variable
Utilisation avec un seul opérateur	Difficile (nombreux cheminements pour fixer le transpondeur et réaliser les mesures)	Facile (il n'est pas nécessaire d'aller jusqu'à l'arbre)
Utilisation avec deux opérateurs	Facile (l'un déplace le transpondeur et l'autre mesure)	Un seul opérateur suffit.
Nombre de visées à réaliser pour une mesure	2 (visée vers le transpondeur et visée vers la cime)	3 (visée horizontale, visée haute et visée basse)
Facilité des mesures	La visée vers le transpondeur est assez rapide (quelques secondes). La visée haute se fait le plus souvent facilement.	La visée horizontale pour déterminer la distance est problématique. Il faut souvent plusieurs essais avec un sous-étage encombré. Le fort grossissement de la visée n'est pas toujours un avantage pour la visée haute (difficulté pour trouver la cime, tremblements accentués).
Influence des conditions climatiques	Interférences sous une pluie battante. Bruit lié à de la neige au sol qui trouble les mesures.	Pas de problèmes recensés
Calibration	Nécessaire périodiquement	Pas nécessaire sauf en cas de choc (la notice détaille une procédure pour recalibrer la mesure des angles verticaux)
Prix hors taxe en 2013	1 250 € (prix pour le Vertex IV, le Vertex III n'étant plus commercialisé)	780 € (950 € pour la version Bluetooth)

et ultrasons), mais qui a un prix très élevé. Dans la mesure où l'utilisation d'un dendromètre à laser devient rapidement complexe en présence de sous-étage avec un risque non négligeable d'obtenir ponctuellement des mesures assez fortement sous-estimées, notre préférence va au Vertex, même s'il est plus cher. Autrement dit, le système de mise à distance par ultrasons, même s'il n'est pas exempt de défauts est plus fiable et plus polyvalent que celui par rayon laser dans les peuplements forestiers.

CONCLUSIONS

Même si les dendromètres possèdent une précision intrinsèque qu'il est possible de déterminer en conditions contrôlées, leur usage en forêt conduit à des erreurs de mesure plus grandes, en raison des multiples facteurs qui dégradent la précision. L'obtention de résultats fiables passe par une bonne connaissance du modèle utilisé et de ses limites, par la lecture de la notice et par une pratique minutieuse des mesures. Le test des outils utilisés sur des hauteurs connues avec précision permet de vérifier la précision des résultats et de détecter d'éventuels biais.

Sylvain GAUDIN

Ingénieur expérimentation et développement
CRPF Champagne-Ardenne
Complexe agricole du Mont Bernard
Maison régionale de la forêt et du bois
F-51000 CHÂLONS-EN-CHAMPAGNE
(sylvain.gaudin@crpf.fr)

Jean-Baptiste RICHARD

Ingénieur chargé de mission
CRPF Champagne-Ardenne
Complexe agricole du Mont Bernard
Maison régionale de la forêt et du bois
F-51000 CHÂLONS-EN-CHAMPAGNE
(jeanbapt.richard@gmail.com)

BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHON (J.). — Comparaison de 5 dendromètres pour les mesures de hauteurs d'arbres. — *Revue forestière française*, n° 4, 1967, pp. 256-278.
- BOŽIĆ (M.) *et al.* — Efficiency of ultrasonic Vertex III hypsometer compared to the most commonly used hypsometer in Croatian forestry. — *Croatian Journal of Forest Engineering*, vol. 26, n° 2, 2005, pp. 91-99.
- BRAGG (D.). — A Comparison of Pine Height Models for the Crossett Experimental Forest. — *Journal of the Arkansas Academy of Science*, vol. 62, 2008, pp. 24-31.
- DAGNELIE (P.). — Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. Volume 2. — Gembloux (Belgique) : Les Presses agronomiques de Gembloux, 1975. — pp. 107-252.
- DUPLAT (P.). — Indice de fertilité basé sur un modèle de croissance en hauteur. *In* : Station forestière, production et qualité du bois : éléments méthodologiques / M. Buffet, D. Girault (éd.). — Nogent-sur-Vernisson : Cemagref, 1989. — pp. 51-78.
- FARVE (R.). — Evaluation of Laser Rangefinders. — U.S. Forest Service, National Technology & Development Program. — 55 p.
- FRANC (A.), HOULLIER (F.). — Étude des relations entre milieu et production : quelques critères de choix de méthodes. *In* : Station forestière, production et qualité du bois : éléments méthodologiques / M. Buffet, D. Girault (éd.). — Nogent-sur-Vernisson : Cemagref, 1989. — pp. 13-49.
- GAUDIN (S.), LABBÉ (S.), LEBLEU (G.). — L'Aulne glutineux en Champagne-Ardenne. — Châlons-en-Champagne : Centre régional de la Propriété forestière de Champagne-Ardenne, 1999. — 47 p.
- GREENE (R.). — Haglöfs Vertex VL-402 Laser Hypsometer with Ultrasound. — *The Forestry Source*, vol. 15, n° 10, 2010, pp. 12-14.
- HAGLÖF SWEDEN AB. — Users Guide Vertex III and Transponder T3. — Manual v. 1.4 eng, Sweden, 2005. — 15 p.
- HASTINGS (C.), WEIH JR (R.C.), LIECHTY (H.O.) *et al.* — Accuracy and User Variation Associated with Slope Measurement Using a Laser Hypsometer. — *Journal of the Arkansas Academy of Science*, vol. 65, 2011, pp. 49-53.
- LASER TECHNOLOGY, Inc. — LTI TruPulse 200/200B, Manuel de l'utilisateur. — Seconde édition — Centennial, USA, 2005. — 36 p.

- PAUWELS (D.). — Le VERTEX : une nouvelle génération de dendromètres multi-usages. — Note technique forestière de Gembloux n° 1. — Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, mai 2001. — 13 p.
- PARDÉ (J.). — Une notion pleine d'intérêt : la hauteur dominante des peuplements forestiers. — *Revue forestière française*, n° 12, 1956, pp. 850-856.
- PARDÉ (J.), BOUCHON (J.). — Dendrométrie. — Deuxième édition. — Nancy : École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 1988. — 328 p.
- RENNIE (J.C.). — Comparison of Height-Measurement Techniques in a Dense Loblolly Pine Plantation. — *Southern Journal of Applied Forestry*, vol. 3, n° 4, 1979, pp. 146-148.
- RONDEUX (J.). — Le Dendromètre Suunto. — *Revue forestière française*, vol. XXX, n° 5, 1978, pp. 387-391.
- RONDEUX (J.). — La Mesure des arbres et des peuplements forestiers. — Seconde édition. — Gembloux : Presses agronomiques de Gembloux, 1999. — 521 p.
- RONDEUX (J.), PAUWELS (D.). — Le forestor Vertex : une nouvelle génération de dendromètres. — *Revue forestière française*, vol. L, n° 1, 1998, pp. 59-64.
- SKOVSGAARD (J.P.), JOHANNSEN (V.K.), VANCLAY (J.K.). — Accuracy and precision of two laser dendrometers. — *Forestry*, vol. 71, Issue 2, 1998, pp. 131-139.
- WILLIAMS (M.S.), BECHTOLD (W.A.), LABAU (V.J.). — Five instruments for measuring tree height : An evaluation. — *Southern Journal of Applied Forestry*, vol. 18, n° 2, 1994, pp. 76-82.
- WING (M.G.), SOLMIE (D.), KELLOGG (L.). — Comparing digital range finders for forestry applications. — *Journal of Forestry*, vol. 102, n° 4, 2004, pp. 16-20.

COMPARAISON DES DENDROMÈTRES VERTEX III ET TRUPULSE 200B POUR LA MESURE DE LA HAUTEUR TOTALE DES ARBRES [Résumé]

Suite à l'obtention de résultats anormaux, la précision de deux dendromètres, le Vertex III de Haglöf et le TruPulse 200B de Laser Technology, a été testée. En milieu ouvert, les tests montrent que le TruPulse donne des résultats fiables alors que le Vertex testé donne des résultats biaisés. En milieu forestier, les deux dendromètres ont été comparés entre eux, faute de référence absolue. Dans des peuplements à sous-étage dense, le calcul de la distance horizontale par rayon laser du TruPulse pose problème et conduit de temps à autre à une forte sous-estimation des hauteurs mesurées.

COMPARISON OF VERTEX III ET TRUPULSE 200B HYPSONETERS FOR MEASURING TOTAL TREE HEIGHT [Abstract]

Following anomalous results, two hypsoneters—Haglöfs' Vertex III and Laser Technology TruPulse 200B—were tested. Under controlled conditions, height measurement by TruPulse is good, but the Vertex III we tested produced biased results. The two hypsoneters were compared in field conditions. With a dense understory of brush, use of laser to measure horizontal distance is difficult and occasionally gives mistaken results (height measurement is highly underestimated).
