

CHAPITRE II : HAUTEUR DES ARBRES

CHAPITRE II : HAUTEUR DES ARBRES

I. INTRODUCTION

Après la grosseur d'un arbre, la hauteur est la caractéristique la plus importante à mesurer ou à estimer en vue de déterminer le volume ou divers paramètres de forme (voir chapitre IV). Elle joue aussi un rôle essentiel dans la caractérisation de la productivité des stations forestières.

Nous réserverons le terme de « hauteur » aux arbres sur pied, tandis que le terme « longueur » concernera plutôt la mesure de la tige d'arbres abattus (ou grumes).

On peut, comme pour les diamètres, définir plusieurs types de hauteurs :

- **hauteur totale** : distance verticale séparant le niveau du sol du sommet de l'arbre (bourgeon terminal).
- **hauteur « bois fort »** : hauteur séparant le niveau du sol du niveau de la tige correspondant à 7 cm de diamètre ou à 22 cm de circonférence.
- **hauteur « bois d'oeuvre »** : distance séparant le niveau du sol de la dernière fraction utilisable de la tige correspondant le plus souvent au point d'intersection de la première grosse branche ou, idéalement, à une limitation fixée en grosseur de tige.

On parlera ainsi de hauteur à la découpe « marchande », de la hauteur au premier défaut,... (voir chapitre IV).

II. METHODES ET APPAREILS DE MESURE

Nous nous limiterons ici à étudier les principaux moyens de mesure de la hauteur des arbres. Nous les classerons en deux catégories :

- les procédés simples ;
- les dendromètres.

2.1. PROCÉDES SIMPLES

Nous classons ici les procédés ne nécessitant aucun appareil sophistiqué (dendromètre).

Certaines de ces méthodes ne sont évidemment pas recommandées si une grande précision est exigée.

2.1.1. Hauteur mesurée par l'intermédiaire de mesures de distances

A. La « croix du bûcheron »...

La « **croix du bûcheron** », très simple à utiliser, constitue une application directe des relations existant entre triangles semblables (figure 1). On peut mettre ce procédé en oeuvre au moyen de deux baguettes d'égales longueurs, l'une tenue à hauteur des yeux et **dirigée parallèlement au sol**, l'autre tenue au bout de la première et verticalement ou parallèle à l'arbre.

L'opérateur se rapproche ou s'éloigne de l'arbre à mesurer de telle manière qu'il puisse apercevoir simultanément le pied de celui-ci (niveau du sol) en visant la base de la baguette verticale et son sommet en visant l'extrémité supérieure de cette même baguette.

La hauteur de l'arbre correspond alors à la distance d'éloignement de l'opérateur, le plus souvent celle-ci est mesurée au pas.

En effet , d'après la figure 1 ci-dessous :

$$SP = AS + AP = \frac{OA \times BE}{OE} + \frac{EC \times OA}{OE} = \frac{OA}{OE} \times (BE + EC)$$

d'où :

$$SP = \frac{OA}{OE} \times BC$$

et comme :

$$OE = BC$$

alors :

$$SP = OA = h$$

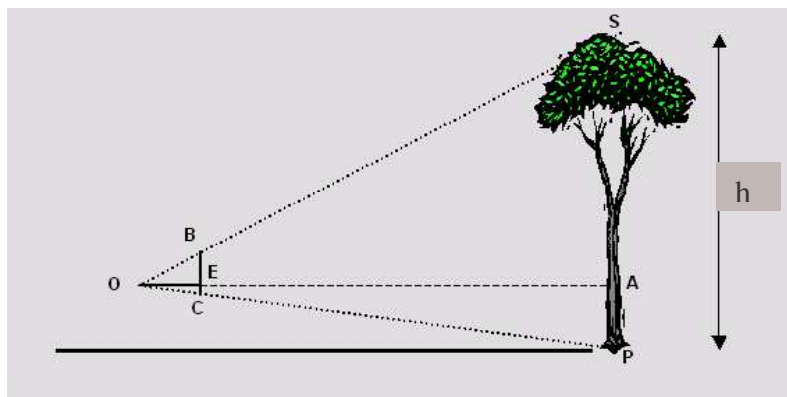


Figure 1 : Principe de la croix du bûcheron

B. Méthode du « Point de chute »...

Un autre procédé, extrêmement simple est d'estimer la hauteur d'un arbre en mesurant la distance séparant le pied de cet arbre du point de chute de son extrémité supérieure. Cette distance sera généralement mesurée au double pas.

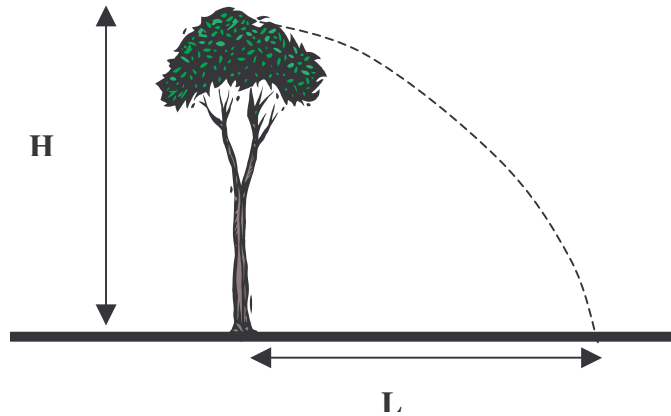


Figure 2 : Principe du « point de chute »

2.1.2. Utilisation de perches de référence

A. Première méthode :

Cette première méthode consiste à placer dans un premier temps une perche de référence (2 m ou 3 m par exemple) contre l'arbre à mesurer (figure 3 ci-dessous).

Ensuite, on se met à distance et on tient verticalement devant l'un des deux yeux (l'autre œil étant maintenu fermé) un crayon (ou un autre objet) que l'on éloignera ou que l'on rapprochera de l'œil jusqu'à ce que :

- le rayon visuel passant par l'extrémité supérieure du crayon, coïncide avec l'extrémité supérieure de la perche ;
- le rayon visuel passant par l'extrémité inférieure du crayon, coïncide avec l'extrémité inférieure de la perche.

On déplacera enfin le crayon verticalement un certain nombre de fois de manière à atteindre l'extrémité supérieure de la hauteur à mesurer.

Connaissant la hauteur h de la perche et le nombre de reports nécessaires, on peut en déduire facilement la hauteur H recherchée.

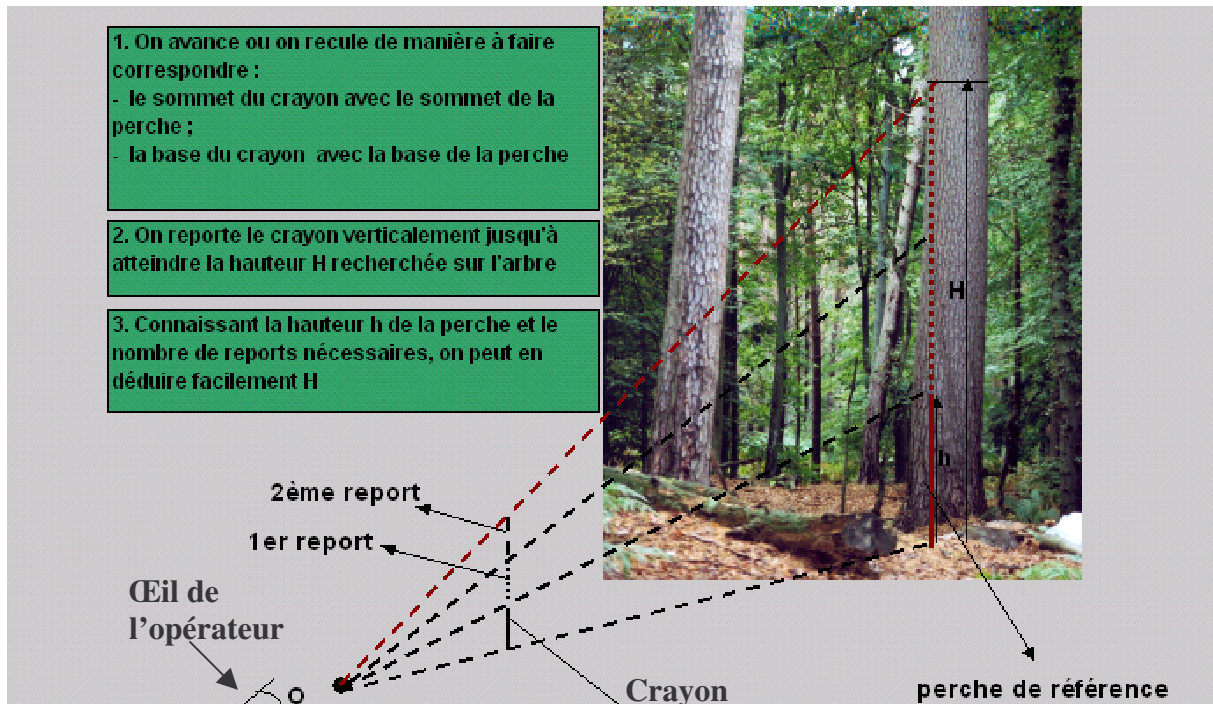


Figure 3 : Utilisation de perches de référence pour la mesure de hauteur : première méthode

B. Deuxième méthode :

Le principe est ici encore simple. L'opérateur tient verticalement à hauteur de ses yeux une règle graduée devant l'arbre à mesurer.

En visant l'arbre (figure 4 ci-dessous), la graduation 0 de la règle doit correspondre à la base de l'arbre. Il suffit ensuite de lire :

- la graduation correspondant à la visée du sommet de la perche (on obtiendra **a** qui sera la hauteur apparente de la perche mesurée sur la règle)
- puis de lire la graduation correspondant au niveau supérieur délimitant la hauteur **H** à mesurer sur l'arbre (on aura **a+b** qui sera la hauteur apparente de H).

La hauteur **H** de l'arbre sera donnée par :

$$H = \frac{h}{a} \times (a+b)$$

Le dendromètre de Christen, peu employé de nos jours, repose sur ce principe.

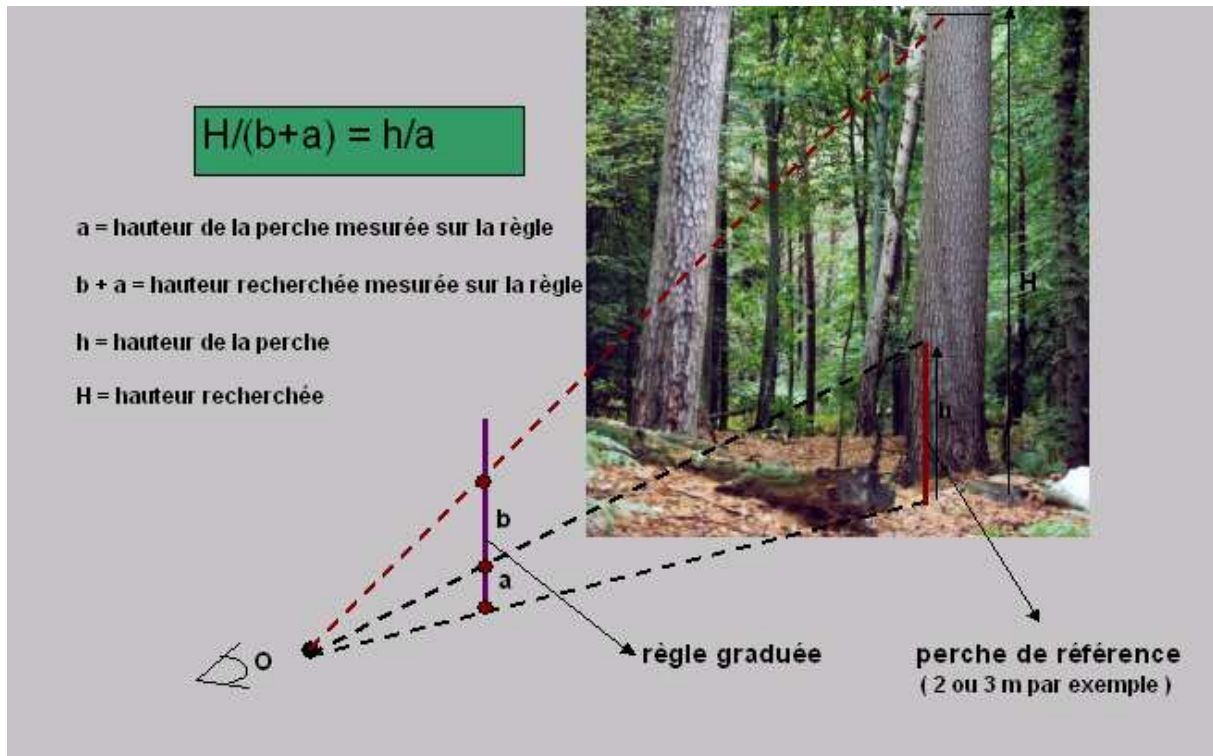


Figure 4 : Utilisation de perches de référence pour la mesure de hauteur : deuxième méthode

Cette méthode est très intéressante pour mesurer des hauteurs de découpe peu importantes ou pour mesurer des hauteurs inférieures à 20 m.

2.2. DENDROMETRES

Parmi ces dendromètres dont la plupart nécessitent que l'observateur se place à une distance prédéterminée de l'arbre, il convient de signaler le BLUME-LEISS, le SUUNTO, le relascope de BITTERLICH et le dendromètre électronique VERTEX.

Il est également possible d'utiliser le clinomètre ou clisimètre, appareil mesurant des angles, mais ne nécessitant pas que l'opérateur soit situé à une distance connue de l'arbre à mesurer.

Nous envisagerons ici en détail les principes de fonctionnement et l'utilisation du Blume-Leiss. Le Suunto et le Vertex seront également abordés, tandis que nous renverrons le lecteur au chapitre X pour l'étude du relascope de Bitterlich.

Le principe d'utilisation de ces dendromètres repose sur la mesure d'angles, comme indiqué dans la figure 5, à partir de laquelle on peut écrire les relations suivantes :

$$h = SA + AP = L \times (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2)$$

avec L = distance d'éloignement de l'opérateur par rapport à l'arbre à mesurer;
 α_1 et α_2 = angles de visée correspondant successivement au sommet et au pied de l'arbre

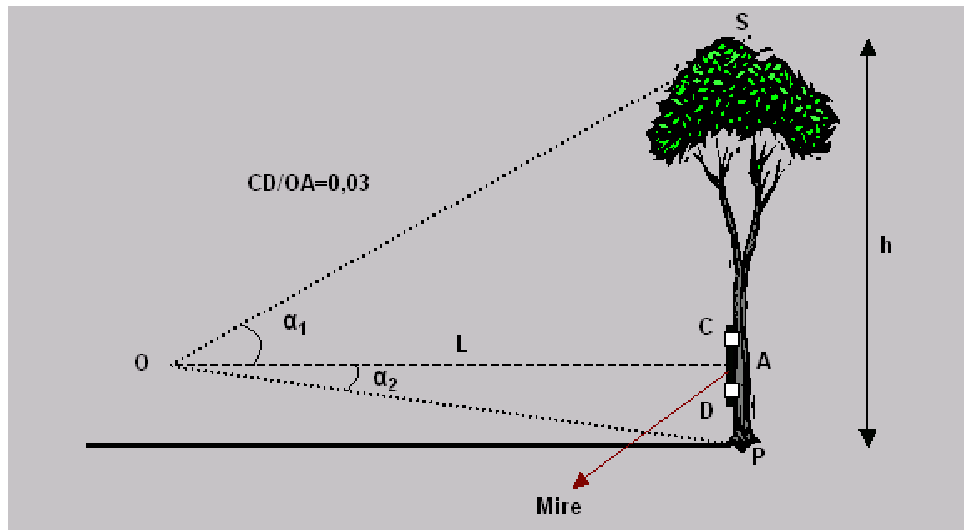


Figure 5 : Principe de la mesure de la hauteur au moyen d'un dendromètre trigonométrique

A. LE DENDROMETRE BLUME-LEISS :

Ce dendromètre (voir figure 3) très pratique et très utilisé, se présente sous la forme d'un boîtier en quart de cercle comprenant un clisimètre muni d'un pendule que l'on bloque manuellement lors de la visée devant 5 échelles graduées, 4 en hauteurs (correspondant à des distances de stationnement de 15, 20, 30 et 40 m) et une en degrés. Son prix est d'environ 550 € HT.



Figure 5 : Dendromètre Blume-Leiss et mire

L'opérateur pourra stationner de façon précise à ces distances en utilisant le dioptre incorporé à l'appareil. Le dioptre fournit deux images décalées (d'un angle α , tel que $\text{tg}\alpha=0,03$) d'une mire pliante comportant des voyants blancs marqués des valeurs 0, 15, 20,30 et 40 m et distants de 45, 60, 90, et 120 cm.

Pour se placer à une distance de 20 m, par exemple, il faudra écarter les voyants de la mire de $20 \times 0,03 = 0,6$ m, condition réalisée lorsque la mire déployée affiche les voyants 0 et 20 m. Lorsqu'il vise la mire à travers le viseur dioptrique, l'opérateur distingue 4 traits blancs qui correspondent en réalité aux images dédoublées des deux voyants relatifs à la distance d'éloignement choisie.

Pour se trouver à cette distance, il doit alors s'avancer ou reculer jusqu'à ce que les deux voyants centraux soient parfaitement confondus.

Le dendromètre se tient dans la main à la manière d'un revolver, deux oeillets matérialisant la ligne de visée oeil-arbre. Les visées se font successivement vers le haut et vers le bas de l'arbre, les lectures correspondantes sont effectuées sur l'échelle relative à la distance d'éloignement. La hauteur résulte de la somme, en valeur absolue, des lectures de signes différents ou de la différence des lectures de même signe.

Sur un plan strictement pratique, la manipulation du Blume-Leiss nécessite donc les opérations successives suivantes :

1. se placer à une distance la plus voisine possible de la hauteur de l'arbre (ou de l'échelle choisie : 15, 20, 30 ou 40 m) à l'aide du viseur dioptrique et de la mire ;
2. débloquer le pendule ;
3. viser successivement le pied et le sommet de l'arbre (ou tout autre niveau choisi) ;

Chapitre 2 : Hauteur des arbres

- bloquer chaque fois le pendule et lire la valeur, en regard de celui-ci, sur l'échelle correspondant à la distance d'éloignement choisie ;
- ↳ ajouter les deux lectures lorsqu'elles se situent de part et d'autre du zéro de l'échelle (situation normale en terrain horizontal) ;
↳ soustraire les lectures dans le cas contraire (situation propre aux visées réalisées en terrain incliné, lorsque l'opérateur se trouve plus bas que le pied de l'arbre visé) ;

En terrain incliné, et lorsque l'on vise le milieu de la mire obliquement, la hauteur lue devra être corrigée d'une valeur qui est fonction de la pente entre l'horizontale et **la ligne de visée sur la mire en son point central** (attention cette pente ne correspond pas nécessairement à la pente du terrain).

Voyons à présent comment calculer la correction à apporter (figure 6 ci-dessous) en cas de visée oblique :

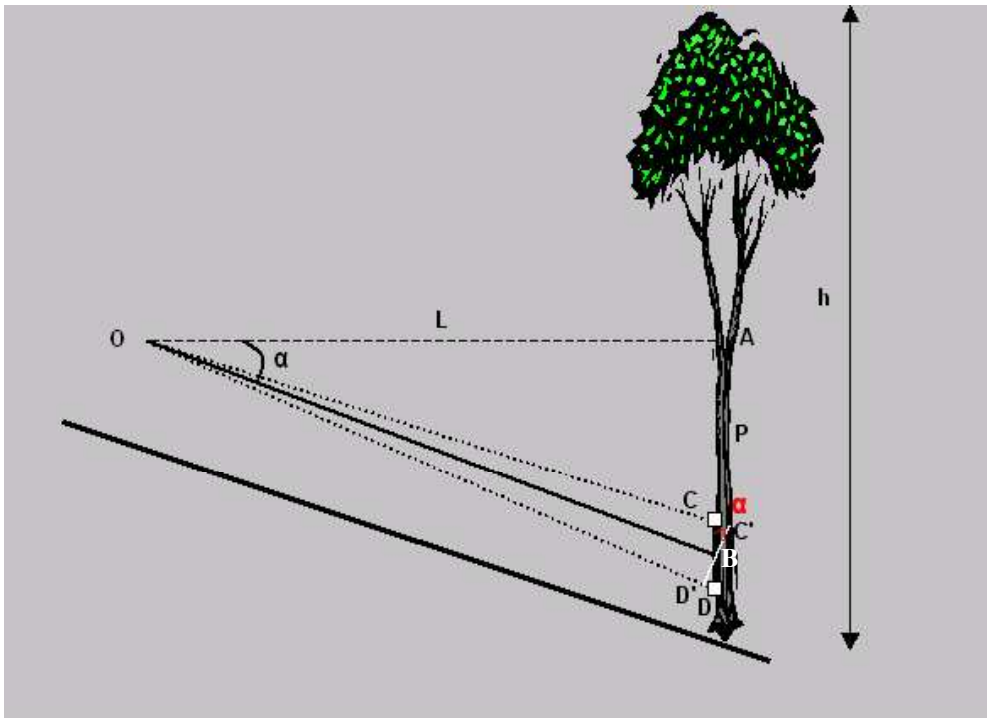


Figure 6 : Mesure de hauteur et correction due à la pente.

Si la mire est vue sous un angle α , la longueur réelle de la mire (CD) est partiellement interceptée et correspond à la longueur apparente C'D' plus petite (et approximativement égale à $CD \times \cos\alpha$) située dans un plan perpendiculaire à l'axe de visée.

On aura : $C'D' = CD \cos\alpha$

Chapitre 2 : Hauteur des arbres

De plus, la distance comprise entre l'opérateur et l'arbre est mesurée obliquement (lors de la mise à distance). On se trouve donc à une distance horizontale de l'arbre inférieure à la distance choisie, puisque :

$$OA = OB \cos \alpha$$

En outre, on sait que $C'D'/OB = 0,03$

D'où on peut déduire que :

$$OA = \frac{CD}{0,03} \times \cos^2 \alpha$$

Ce qui revient aussi à dire que la distance horizontale à laquelle l'opérateur aurait normalement dû se situer doit être multipliée par $\cos^2 \alpha$.

Dans ces conditions, la hauteur réelle h_r de l'arbre est égale à la hauteur lue h_l également multipliée par $\cos^2 \alpha$, soit :

$$h_r = h_l \times \cos^2 \alpha$$

ou encore :

$$h_r = h_l - (h_l \times \sin^2 \alpha)$$

La table figurant sur une des faces latérales du BLUME-LEISS (figure 7) fournit les valeurs de $\cos^2 \alpha$ ou de $\sin^2 \alpha$ en fonction de l'angle de visée du milieu de la mire, exprimé en degrés.



Facteur de correction
(cos²α)
(ici = 0,93 pour un angle de 15 grades)

Figure 7 : Correction due à la pente : échelle de valeurs du facteur de correction sur le Blum Leiss.

Chapitre 2 : Hauteur des arbres

En terrain peu incliné, il sera judicieux d'accrocher la mire à un niveau tel que la ligne de visée du milieu de la mire soit proche de l'horizontale, ce qui évitera d'effectuer une correction. De plus une autre façon d'éviter de devoir réaliser cette correction en terrain pentu est de se placer sur la même courbe de niveau que l'arbre à mesurer.

Le Blume-Leiss se signale à l'attention du praticien par les principaux avantages ci-après :

- sa relative précision (erreur de l'ordre de 3 % dans le cas d'une utilisation correcte de l'appareil),
- la simplicité de manipulation,
- la possibilité d'effectuer rapidement des corrections de pente.

Parmi les inconvénients, nous citerons :

- une mauvaise étanchéité (grande sensibilité à l'humidité),
- un viseur dioptrique à champ trop réduit,
- l'absence de lecture directe et la difficulté d'apprécier le blocage du pendule.

B. LE DENDROMETRE SUUNTO

Ce dendromètre (figure8), d'origine finlandaise, se présente sous la forme d'un boîtier présentant sur une des faces latérales, une fenêtre circulaire transparente éclairant l'intérieur de l'appareil et permettant de distinguer un disque oscillant autour d'un axe horizontal. Cette même face comporte également un oeillet de visée (viseur dioptrique) destinés à effectuer des mises à distance par l'intermédiaire d'une mire pliante identique à celle utilisée avec le BLUME-LEISS. Son prix est d'environ 115 € HT (+ 120 € HT pour la mire) .



Figure 8 : Dendromètre Suunto

Chapitre 2 : Hauteur des arbres

Contrairement au BLUME-LEISS, le SUUNTO comporte uniquement deux échelles de lecture (15 ou 20 m) et une échelle de pente exprimée en degrés ou en pour-cent. Pour des distances d'éloignement de 30 ou 40 m , il faut donc multiplier par deux les résultats lus sur les échelles de 15 ou 20 m.

Cet appareil est réellement digne d'intérêt suite à son format de poche, à sa construction robuste et à sa facilité d'utilisation. En matière de précision, il est voisin du BLUME-LEISS.



En ce qui concerne les corrections de pente (figure 9), lorsque l'opérateur, après s'être mis à distance, lit la pente en visant le milieu de la mire, celle-ci est exprimée en % (le cas échéant, ne pas oublier de multiplier le chiffre lu dans l'appareil par dix). Il convient donc ensuite d'utiliser l'échelle de conversion afin d'obtenir la valeur de la pente en grades ou en degrés (photo de droite).

Sur certains modèles de Suunto (photo de gauche), en visant le milieu de la mire, on lit sur l'échelle des hauteurs correspondant à une mise à distance de 20 m (échelle 1/20) la valeur indiquée exprimée en mètres. La pente en degrés est obtenue ensuite en utilisant l'échelle de conversion au dos de l'appareil.

C. LE DENDROMETRE ELECTRONIQUE VERTEX :

Le dendromètre Vertex est un appareil suédois de conception récente reposant sur le même principe trigonométrique que nous avons exposé ci-dessus.

Présentation succincte de l'appareil :

Le dendromètre Vertex (figure 10 ci-dessous) se compose de deux unités : le dendromètre lui-même (récepteur d'ultrasons) et d'un transpondeur (« mire », émetteur d'ultrasons, à placer sur l'arbre à mesurer)



Figure 10 : Vertex et transpondeur

Lors de la réalisation des mesures de hauteurs d'arbres, cet appareil permet au forestier de s'affranchir de deux contraintes importantes rencontrées lors de l'utilisation du Suunto et du Blume Leiss, à savoir :

- l'obligation de choisir une distance de mesure, dans une palette peu fournie (15, 20, 30 ou 40 m), qui ne coïncide pas forcément avec une position judicieuse pour les visées ;
- la nécessité d'une correction après la mesure quand la ligne de visée de la mire n'est pas horizontale.

En effet, lors de la mesure de hauteur d'un arbre, l'appareil intègre dans les calculs de hauteurs qu'il exécute, la distance horizontale qui sépare l'opérateur de la mire (transpondeur). Cette distance horizontale est calculée par l'appareil lors de la visée du transpondeur depuis le point de station .

Fonctionnement de l'appareil :

1. Etalonnage :

- Le dendromètre comporte un télémètre à ultrasons pour la mesure des distances. Mais la vitesse des ultrasons est sensible à la température, à l'humidité et à la pression de l'air ; aussi l'appareil comporte un thermomètre et corrige ses mesures en fonction de la température. Il sera donc conseillé, avant de commencer les mesures, de laisser à l'appareil le temps de se mettre à température ambiante (un quart d'heure).

- Le pivot est le point où les lignes de visées de la mire et du sommet de la hauteur mesurée se coupent (point O de la figure 11). Ce point n'est pas l'oeil de l'opérateur, dont la tête se déplace dans les positions de visée ; il est généralement situé près de sa nuque. Il faut entrer dans l'appareil la distance (PIVOT OFFSET ou PIVOT COMPENSE) entre le pivot (nuque) et la face avant de l'appareil visant la mire, c'est-à-dire généralement 30 cm.

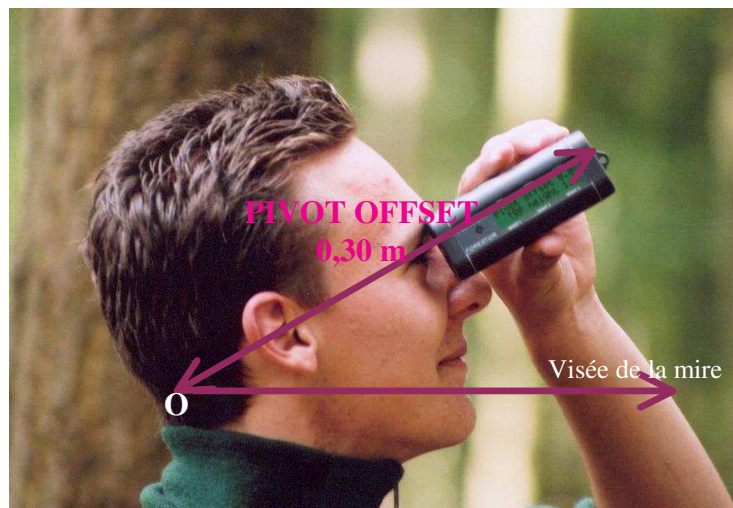


Figure 11 : Vertex : pivot-offset

- La hauteur TRP (TRP height), hauteur de la mire au-dessus de l'arbre doit être également entrée dans l'appareil. On adoptera généralement la valeur de 1,3 m, en veillant bien sûr à fixer la mire à cette hauteur sur l'arbre à mesurer.

2. Mesure de la hauteur d'un arbre (à n'importe quel niveau de la tige) :

Le transpondeur est fixé contre l'arbre à mesurer à une hauteur prédéfinie (1,3 m généralement = TRP height). L'opérateur s'éloigne avec le dendromètre à une distance voisine de la hauteur de l'arbre estimée à l'oeil (pour bien voir le sommet de la tige si c'est la hauteur totale qui intéresse l'opérateur).

Le dendromètre est ensuite orienté en direction de la mire. Après mise en marche (bouton ON / OFF), les caractéristiques de l'étalonnage s'affichent : PIVOT OFFSET, TRP Height, Température de l'air ambiant.

Après vérification de ces paramètres, on procède de la manière suivante :

- on vise le récepteur, via un point rouge apparaissant dans le champ circulaire du viseur. Le bouton rouge situé sur la face supérieure de l'appareil est ensuite enfoncé et la pression est maintenue jusqu'à disparition du point rouge. L'écran latéral (voir figure 12 ci-dessous) affiche à sa partie supérieure trois nombres : la distance réelle (DIST) séparant l'observateur du récepteur, l'angle de visée (ANGLE) et la distance horizontale (H. DIST).



Figure 12 : Vertex : écran

- on vise ensuite, via le point rouge clignotant, le sommet de l'arbre (ou tout autre niveau souhaité situé au-dessus de l'horizontale selon l'objectif de la mesure : première grosse branche, ...). Le point rouge est de nouveau enfoncé jusqu'à ce que le point se stabilise puis disparaisse du viseur. La hauteur calculée à partir du pied de l'arbre jusqu'au point visé apparaît sur l'écran (HEIGHT1). Deux hauteurs supplémentaires (HEIGHT 2 et HEIGHT 3) peuvent être prises en suivant la même procédure.

N.B. : Il est possible de prendre des mesures de hauteurs sans utiliser la mire. Il faut alors mesurer la distance qui sépare l'opérateur de l'arbre et entrer la valeur dans l'appareil via les touches STEP et UNDO.

3. Utilisation du Vertex comme télémètre :

Si l'on souhaite uniquement déterminer la distance jusqu'au récepteur, il suffit de mettre le dendromètre en marche et de garder la touche ON/OFF enfoncée pour avoir la mesure. La précision sur les distances inférieures à 20 m est de l'ordre du cm. Pour les longues distances, elle est de l'ordre du dm.

Précision, avantages et inconvénients :

La précision du Vertex est de 1 à 2 % pour la mesure de hauteur, meilleure que pour le Suunto et le Blume-Leiss (mise à distance plus précise, visée plus facile grâce au point rouge). Les mesures sont également plus rapides, peuvent être mémorisées et transmises à un P.C. Cependant, au rayon des inconvénients , on précisera que :

- l'appareil nécessite des piles pour fonctionner ;
- l'étalonnage doit être vérifié ;
- le prix est très élevé (environ 1200 € HT)

Modèles récents :

A. Le Vertex III

Plus petit et plus perfectionné que son prédécesseur, cet appareil garde les mêmes fonctions. La mise à distance se fait également par ultrasons.



Figure 13 : Vertex III et accessoires

De gauche à droite sur la figure 13, on trouvera l'appareil, le transpondeur, un adaptateur à 360°, un pied de fixation. Ces deux derniers équipements servent à la réalisation de placettes circulaires (voir chapitre XI).

B. Le Vertex Laser

Avec cet appareil (figure14), très récent et coûteux (2195 € HT), la mise à distance se fait soit au moyen d'ultrasons (fixation du transpondeur sur l'arbre à mesurer) soit au moyen d'un laser. L'intérêt du laser est qu'il n'y a plus besoin de transpondeur et donc plus besoin d'aller jusqu'à l'arbre à mesurer.

L'emploi du laser nécessite cependant une vue bien dégagée !. La portée du laser est de 400 m, contre 30m pour les ultrasons.



Figure 14 : Vertex laser

III. ERREURS INSTRUMENTALES ET ERREURS DE MESURE

3.1. ERREURS INSTRUMENTALES :

Aux erreurs découlant de défauts de fabrication, peuvent venir s'ajouter des erreurs liées à une mauvaise maintenance ou à l'absence de contrôles réguliers.

3.2. ERREURS DE MESURE :

Aux erreurs instrumentales, peuvent s'ajouter les erreurs aléatoires de plusieurs types :

a) Erreurs relatives à la configuration des arbres mesurés :

La hauteur d'un arbre ne peut être correctement déterminée que si la base et le sommet de cet arbre sont identifiables sans ambiguïté. Ce n'est pas toujours le cas, surtout lorsque l'on se trouve dans des peuplements jeunes, serrés et à fortiori dans le cas de feuillus.

Pour les arbres feuillus, d'ailleurs, la forme de la cime rend parfois malaisée la localisation du sommet et la hauteur est généralement surestimée (une surestimation de 10 % n'est pas rare).

En effet, si l'opérateur procède sans précaution, il aura tendance à viser, au lieu du point H (figure 15 ci-dessous), le point A et donc la hauteur sera surestimée.

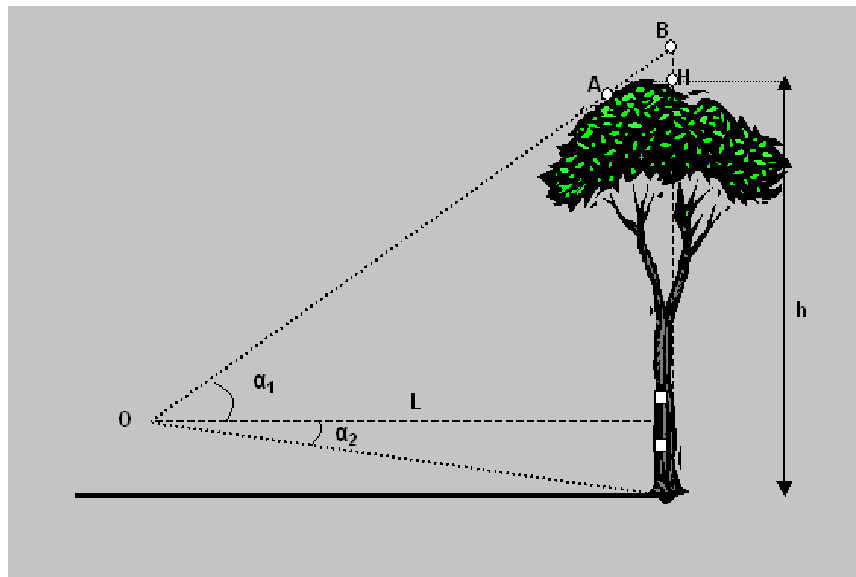


Figure 15 : Visée de la cime.

En ce qui concerne les arbres penchés, l'opérateur peut également commettre l'erreur de ne pas prendre comme mesure PS (voir figure 16 ci-dessous) :

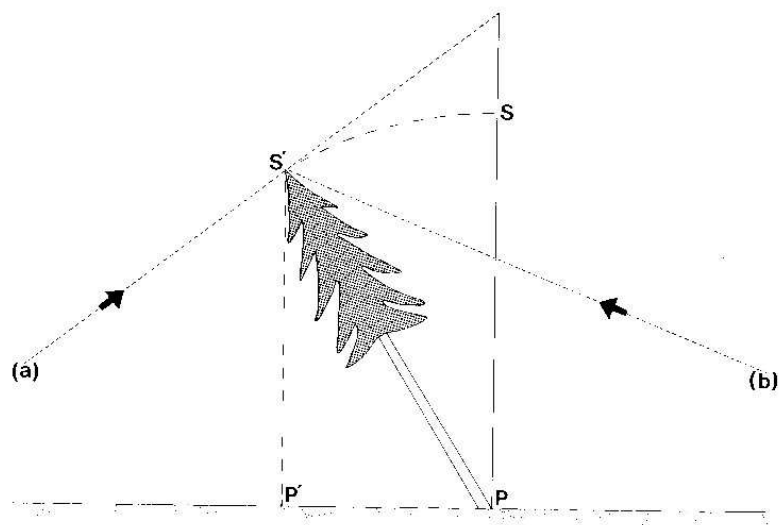


Figure 16 : Mesure de hauteur dans le cas d'arbres penchés vers l'opérateur (a) ou dans la direction opposée à celui-ci (b). (Rondeux J, 1993)

b) Erreurs dues à l'opérateur :

Ces erreurs sont le plus souvent dues à une mauvaise vue ainsi qu'à des erreurs de manipulation ou de lecture.

c) Erreurs de mise en station :

Pour plusieurs appareils, comme par exemple le Blume-Leiss et le relascope de Bitterlich, dans des conditions satisfaisantes de luminosité, l'erreur de mise en station ne revêt qu'un caractère aléatoire et reste très faible, inférieure à 20 cm.

IV. QUELQUES RECOMMANDATIONS RELATIVES A LA PRATIQUE DES MESURES DE HAUTEUR

La mesure de la hauteur d'un arbre est soumise à des erreurs dont les plus grossières peuvent être évitées ou réduites en prenant quelques précautions :

- quelque soit le dendromètre utilisé, vérifier régulièrement son exactitude ;
- se situer à une distance de l'arbre la plus proche possible de la hauteur présumée de celui-ci ;
- si un arbre est penché, faire la mesure à partir d'un point situé dans une direction perpendiculaire au plan vertical dans lequel se situe cet arbre ;
- sur terrain en pente, viser à partir d'un point situé si possible sur la même courbe de niveau que celle relative au pied de l'arbre ou, à défaut en amont de l'arbre ;
- dans le cas d'arbres feuillus à cime globuleuse, viser « à l'intérieur » de la cime et non l'extrémité des branches dirigées vers l'opérateur ;
- au besoin, effectuer une correction de pente à la hauteur lue.