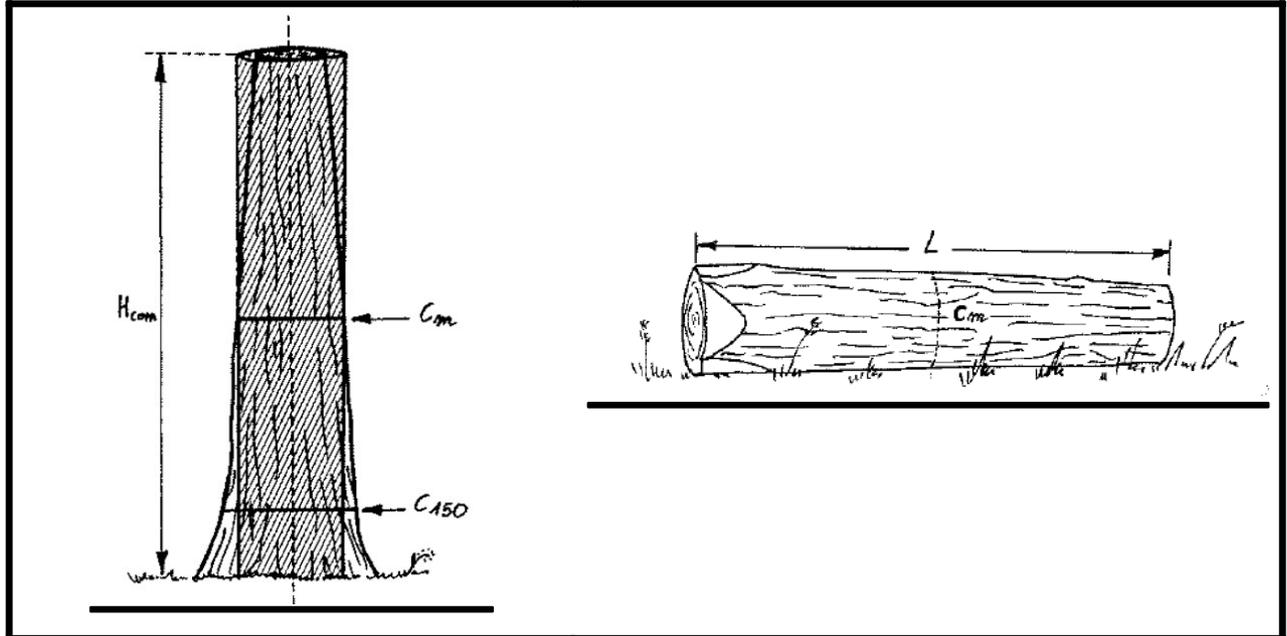


FORESTERIE



COURS DE DENDROMETRIE

PARTIES D'UN ARBRE

MESURE DE L'HAUTEUR

MESURE DE LA GROSSEUR

MESURE DE LA CIRCONFERENCE

DETERMINATION DE LA SURFACE TERRIERE

ESTIMATION DE LA FORME D'UN ABRE

AGE D'UN ARBRE

CUBAGE D'UN ARBRE

VOLUME D'UN ARBRE

2010 - 2011

KONE F.

Gestion des agro-écosystèmes, Agrophysiologie et Production végétale

Contact : 07 64 89 25 / 02 34 19 91/ konfoussni@yahoo.fr

FORESTERIE

VOLUME HORAIRE : 20 HEURES

COURS DE DENDROMETRIE

CONTENU DU COURS

I- GENERALITES

I-1 Définition

I-2 Les différentes parties d'un arbre

I-3 Les essences forestières

II- MESURE DE LA GROSSEUR DES ARBRES

II-1 Introduction

II-2 Mesure du diamètre

II-2.1 Les instruments de mesure

II-2.1.1 Le compas forestier

II-2.1.2 Le compas parabolique finlandais

II-2.1.3 Le pentaprisme de Wheeler

II-2.1.4 Le relascope de Bitterlich

II-2.2 Les méthodes d'estimation du diamètre médian

II-3 Mesure de la circonférence

II-4 Détermination de la surface terrière

II-5 Quelques cas particuliers

II-5.1. Conventions liées à la topographie

II-5.2 Conventions liées à la morphologie des arbres

III- MESURE DE LA HAUTEUR DES ARBRES

III-1 Définition

III-2 Les méthodes et appareils de mesure

III-2.1 Les procédés simples

III-2.1.1 Hauteur mesurée par l'intermédiaire de mesures de distances

III-2.1.2 Utilisation de perches de référence

III-2.2 Les dendromètres

III-2.2.1 Principe d'utilisation

III-2.2.2 Cas particuliers (erreur de mesure)

IV- FORME ET AGE D'UN ARBRE, EPAISSEUR DE L'ECORCE

IV-1 Forme d'un arbre

IV-1.1 Forme théorique d'un arbre

IV-1.2 Les caractéristiques de forme des arbres

IV-2 L'âge d'un arbre

IV-3 L'épaisseur de l'écorce

IV-3.1 Intérêt de la mesure de l'épaisseur de l'écorce

IV-3.2 Expression de l'importance de l'écorce

IV-3.3 Mesure de l'épaisseur d'écorce et détermination du taux d'écorce

V- CUBAGE DES ARBRES

V-2 Cubage des bois sur pied

V-2.1 Légende des symboles utilisés.

V-2.2 Estimation du volume

V-3 Cubage des bois abattus

V-3.1 Mesure de la longueur

V-3.2 Mesure de circonférence

V-3.3 Cubage d'une grume par la grosseur à mi-longueur

V-3.4 Cubage des houppiers

V-3.5 Cubage d'un lot de bois ronds

V-4 Détermination des différents volumes

V- 4.1 Le volume "au cube réel":

V- 4.2 Le volume au quart sans déduction

V- 4.3 le volume au cinquième déduit

V- 4.4 Le volume au sixième déduit

V- 4.5 Exemple

I- GENERALITES

I-1 Définition

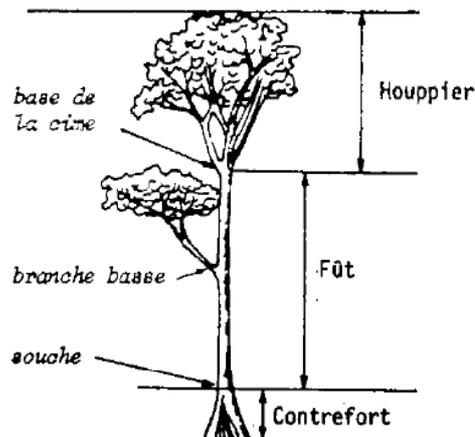
La dendrométrie est le procédé de mesure des arbres afin d'estimer la hauteur, le volume et la forme d'arbres de forêts naturelles ou de plantation.

La dendrométrie a pour buts la caractérisation et la mesure des arbres (grosesseur, hauteur, forme, âge, volume, épaisseur de l'écorce) et des peuplements (valeurs moyennes de la grosesseur et de la hauteur, densité, volume moyen, facteur d'élancement, tarifs de cubage, notions d'accroissements, productivité).

I-2 Les différentes parties d'un arbre

La souche et la base de la cime sont des niveaux qui permettent de définir :

- le fût : *partie de la tige située entre la souche et la base de la cime.*
- les branches basses : *branches insérées sur le fût.*
- le houppier : *partie de la tige située au-dessus de la base de la cime + branches insérées au-dessus de la base de la cime.*



I-3 les essences forestières

Dans le jargon des **forestiers**, une **essence forestière** désigne généralement une espèce d'**arbre**, mais c'est parfois une sous-espèce ou **variété** qui présente un intérêt en **silviculture** et qui a des exigences biologiques ou des emplois particuliers.

Les forestiers distinguent ainsi :

- selon la classification botanique, les **feuillus**, espèces généralement à feuillage caduc, qui sont des **angiospermes**, et les **résineux** (à feuillage persistant, à l'exception des **mélèzes**), qui sont des **gymnospermes** ;
- selon leur origine, les essences **indigènes** ou **spontanées**, par opposition aux essences **introduites** ou **exotiques** ;

- selon la morphologie de leur **système racinaire** : les essences à enracinement pivotant (qui réclament des **sols** profonds) de celles à enracinement superficiel ou traçant ;
- selon leur biologie :
 - o les essences rustiques ou non rustiques, selon leur degré de résistance aux variations climatiques ;
 - o les essences d'ombre ou de lumière, selon leur capacité à croître sous le couvert ou non ;
 - o les essences calcifuges ou calcicoles, acidiphiles ou neutrophiles, selon leurs exigences par rapport à la nature du sol ;
 - o les essences hygrophiles ou xérophiles, selon leur exigence en humidité ou leur adaptation à la sécheresse;
- selon leur durée de vie utile, les essences longévives (250 à 300 ans) ou peu longévives ;
- selon leur comportement en **association** : les essences dominantes, appelées aussi essences sociales car elles sont capables de former des peuplements importants, et les essences subordonnées, souvent rencontrées en peuplement disséminés.

II- MESURE DE LA GROSSEUR DES ARBRES

II-1 Introduction

La grosseur d'un arbre peut être exprimée au moyen de trois grandeurs : le **diamètre**, la **circonférence** et la **surface terrière**.

Le diamètre et la circonférence sont généralement mesurés à « hauteur d'homme », c'est-à-dire à 1,3 m. La surface terrière correspond à la surface de la section de l'arbre située à 1,3 m.

II-2 Mesure du diamètre

II-2.1 Les instruments de mesure

Le diamètre des arbres abattus ou sur pied peut être mesurer avec le **compas forestier**, le **compas finlandais**, le **pentaprisme** ou le **relascope de Bitterlich**.

II-2.1.1 Le compas forestier

Ce compas mesure le diamètre d'un arbre sur pied. Le compas forestier est composé d'une règle graduée et de deux bras parallèles : l'un fixe, l'autre coulissant. Le compas (voir figure 1) doit être tenu perpendiculairement à l'axe de l'arbre, le bras fixe et la règle accolés au tronc, pour glisser

ensuite le bras coulissant contre le tronc. Le bras coulissant doit glisser aisément tout en restant strictement perpendiculaire à la règle. La mesure se fait généralement au centimètre près (arrondir au centimètre le plus proche). Certains compas appelés compas **forestiers compensés**, portent sur la règle, une graduation en classes de diamètres de 5 en 5 cm (ex : la classe des 10 cm comprend les arbres allant de 7,5 cm à 12,5 cm,...). Des graduations en circonférences ou en classes de circonférences peuvent également figurer sur la règle. Notons que le fût des arbres n'est pas toujours d'une section bien circulaire : le diamètre est variable selon son orientation et l'on ne peut alors se contenter d'une seule mesure (figure 2 ci-dessous). Il existe actuellement des compas munis d'un système d'enregistrement automatique de la mesure (figure 3).



Figure 1 : Compas forestier

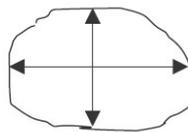


Figure 2 : Section du fût d'un arbre



Figure 3 : compas forestier électronique

Il faut alors, autant que possible, mesurer le diamètre minimum et le diamètre maximum, le plus souvent perpendiculaires l'un à l'autre, puis adopter comme mesure la moyenne arithmétique des deux valeurs obtenues. Une manière efficace de procéder consiste à mesurer un premier diamètre quelconque, puis un second diamètre perpendiculaire au premier, ce qui conduit à une valeur moyenne tout à fait valable.

Enfin, il convient également de signaler quelques précautions à prendre :

- préférer un compas métallique à un compas en bois (pour des raisons de stabilité vis-à-vis des conditions climatiques),
- s'assurer que les bras du compas sont situés dans un même plan et sont perpendiculaires à la règle,
- tenir l'appareil dans un plan le plus perpendiculaire possible à l'axe de l'arbre,
- vérifier le parallélisme des bras,
- éviter d'exercer une pression trop forte sur les bras,
- pousser le compas contre l'arbre jusqu'au contact de la règle de mesure avec le tronc.

II-2.1.2 Le compas parabolique finlandais

Ce compas mesure le diamètre à divers niveaux d'un arbre sur pied (figure 4). Il comporte deux bras fixes, l'un droit, l'autre courbe (parabolique) présentant des graduations centimétriques bicolores. L'appareil peut être fixé sur des tiges emboîtables, de manière à pouvoir effectuer la mesure du diamètre jusqu'à environ 8 à 10 m du sol (voire plus si l'on utilise des jumelles pour la lecture). Il se tient perpendiculairement au tronc de l'arbre et la lecture s'effectue en regard de la ligne de visée parallèle au bras rectiligne du compas et tangente à l'arbre.

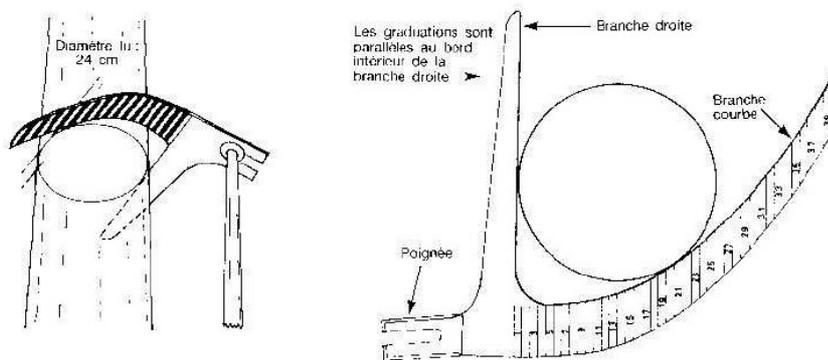


Figure 4 : compas parabolique finlandais (Bouchon J et Pardé J, 1988)

II-2.1.3 Le pentaprisme de Wheeler

Il permet également la mesure du diamètre à divers niveaux d'un arbre sur pied. Il s'agit d'un appareil à prismes optiques disposés de telle manière que l'image du côté droit du tronc fournie par un prisme mobile puisse être en coïncidence avec l'image du côté gauche de ce tronc fournie par un prisme fixe. La lecture s'effectue sur une règle graduée, en regard d'un curseur solidaire du déplacement du prisme mobile. Le pentaprisme (figure 5) permet de mesurer des diamètres à partir de n'importe quelle distance d'éloignement de l'arbre. Afin de connaître la hauteur à laquelle on mesure le diamètre, il est possible de coupler le pentaprisme à un clinomètre (mesureur d'angles). A ce moment, il sera conseillé, pour des raisons de précisions de mesure, de fixer l'appareil sur un trépied.

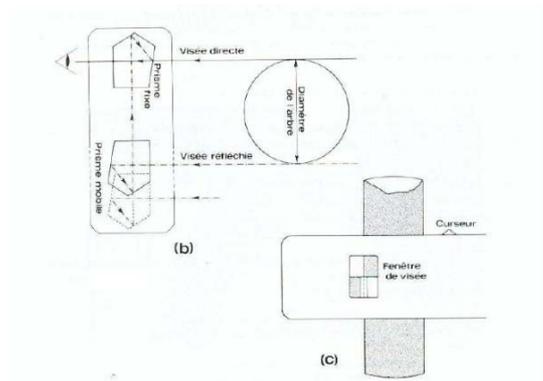
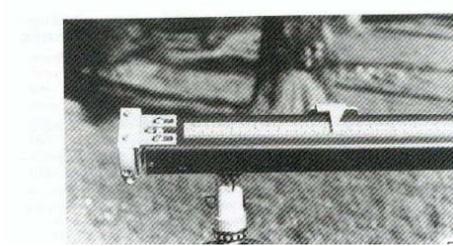


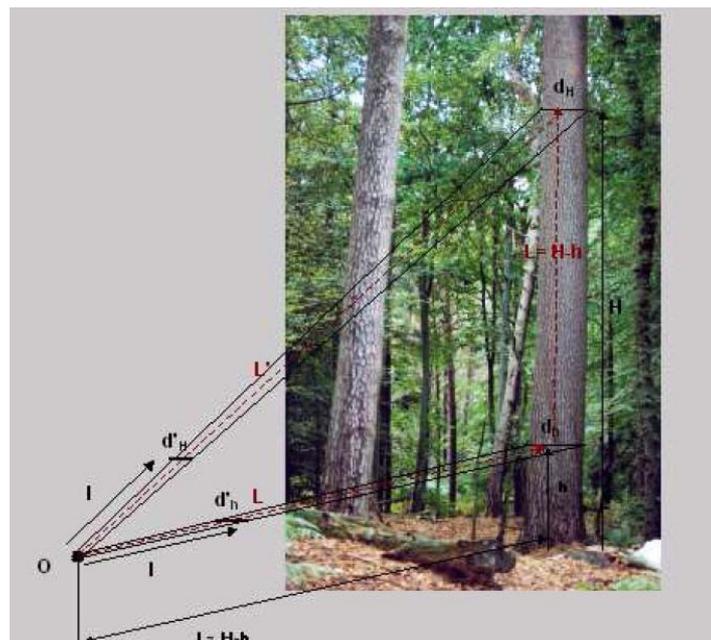
Figure 5 : Pentaprisme de WHEELER couplé à un clinomètre (a) ; principe de construction – vue transversale de l'arbre et longitudinale de l'appareil (b) et visualisation des images en position de lecture – vue frontale (c). (Rondeux, 1993)

II-2.1.4 Le relascope de Bitterlich

Cet appareil conçu par le forestier autrichien Bitterlich, permet de mesurer les diamètres à les hauteurs diverses, les hauteurs, le coefficient de forme, la surface terrière d'un peuplement et les pentes. Il permet également d'en déduire le volume d'un arbre.

II-2.2 Les méthodes d'estimation du diamètre médian

A défaut d'instruments de mesure le diamètre d'un arbre à un niveau inaccessible peut être estimé par une méthode simple au moyen d'une règle graduée. En effet, supposons que l'on désire estimer le diamètre médian d'un arbre.



On désigne par d'_H et d'_h , les diamètres apparents sous lesquels l'oeil placé en un point **O** voit les diamètres **dH** et **dh** (diamètre à hauteur des yeux) de l'arbre. Ces diamètres apparents sont mesurés par une règle graduée tenue de manière à ce que la distance **l** séparant la règle de l'œil reste constante. Selon les propriétés des triangles semblables, on peut écrire :

$$\frac{d'_h}{d_h} = \frac{l}{L} \text{ et } \frac{d'_H}{d_H} = \frac{l}{L} \quad (1)$$

d'où l'on peut tirer :

$$\frac{d'_H L'}{d'_h L} = \frac{d_H}{d_h} \quad (2)$$

Cette formule peut être simplifiée lorsque la distance L de O à $d_{1,3}$ est égale à H-h avec h étant la hauteur des yeux de l'opérateur.

En effet si l'on élève au carré la relation précédente, il vient :

$$\frac{(d'_H L')^2}{(d'_h L)^2} = \frac{(d_H)^2}{(d_h)^2} \quad (3)$$

et comme dans un triangle rectangle on sait que $(L')^2 = (L)^2 + (H-h)^2 = 2L^2$ la formule 3 devient :

$$\frac{(2d'_H L)^2}{(d'_h L)^2} = \frac{(d_H)^2}{(d_h)^2}$$

et en simplifiant on arrive à :

$$\sqrt{2} \cdot \frac{d'_H}{d'_h} = \frac{d_H}{d_h}$$

et donc

$$\boxed{\sqrt{2} \cdot \frac{d'_H}{d'_h} \cdot d_h = d_H}$$

II-3 Mesure de la circonférence

La mesure de la circonférence s'opère généralement à l'aide d'un ruban, si possible indéformable, à trame métallique ou mieux en fibre de verre. Ce ruban (de 1,5 m ou de 3 m) permet la mesure à tous niveaux ; la mesure à hauteur d'homme étant considérée à 1,3 m (1,5 m dans certains pays). En ce qui concerne la mesure de circonférence à divers niveaux d'arbres abattus, plus spécialement situés sur parterres de coupes, l'utilisation du ruban n'est pas toujours possible ; il

est alors d'usage de recourir à la ficelle du marchand de bois (aiguille métallique courbe fixée à une ficelle dont on mesure la longueur ayant été nécessaire pour ceinturer l'arbre).

Remarque

Le ruban est dans certains cas plus simple à manipuler, il s'impose plus spécialement dans le cas de très gros arbres pour lesquels des grands compas, s'ils existent, sont encombrants;

Dans le cas d'arbres présentant des convexités, l'utilisation d'un cercle comme forme de référence a pour effet de surestimer la surface terrière réelle de l'arbre.

Dans le cas de l'estimation à distance de la grosseur d'un arbre, l'emploi du diamètre est plus facile que celui de la circonférence (il est plus facile de se représenter à l'esprit la grosseur d'un arbre en employant la notion de diamètre). Ceci est surtout flagrant lorsque l'on pratique des inventaires typologiques.

Il est également intéressant de remarquer que lors des ventes de bois, c'est la mesure au ruban gradué en centimètre de diamètre et en centimètre de circonférence qui fait généralement autorité en cas de litige entre vendeurs et acheteurs.

II-4 Détermination de la surface terrière

La surface terrière (**g**) d'un arbre est la surface de la section transversale de cet arbre à hauteur d'homme (à 1,3 m).

Supposez que l'on coupe tous les arbres du peuplement à 1,30 m du sol. La surface terrière est la somme de toutes les surfaces des sections. Elle s'exprime en mètre carré (m²). C'est une donnée abstraite pour beaucoup de gens mais qui constitue néanmoins un outil très précieux pour juger de l'importance d'un volume sur pied et établir la nature et l'intensité des interventions à réaliser.

Pour l'évaluer, l'on peut mesurer les diamètres (ou les circonférences) de tous les arbres de votre placette selon la méthode décrite ci-dessus. Puis vous calculez les sections **S** correspondant en sachant que :

$$g_{(1,3)} = \frac{\pi d_{(1,3)}^2}{4} = \frac{c_{(1,3)}^2}{4\pi}$$

On assimile la section à une surface circulaire. Nous verrons ultérieurement la manière de procéder pour déterminer la surface terrière à l'hectare (**G**) d'un peuplement.

II-5 Quelques cas particuliers

Il existe des conventions particulières pour mesurer la grosseur des arbres en fonction des cas de figure rencontrés sur le terrain.

II-5.1. Conventions liées à la topographie

- Mesure du côté amont de l'arbre sur terrain en pente (a) ;
- choix d'un niveau moyen matérialisant le point inférieur de mesure de la hauteur d'homme dans le cas d'un sol à surface très irrégulière (c).

II-5.2 Conventions liées à la morphologie des arbres

- Mesures individuelles des tiges d'arbres fourchus si la fourche prend naissance en dessous du niveau hauteur d'homme (e, d);
- Mesure en oblique dans le cas d'arbres penchés (b) ;
- Résultat moyen si le défaut se trouve à hauteur d'homme (f).

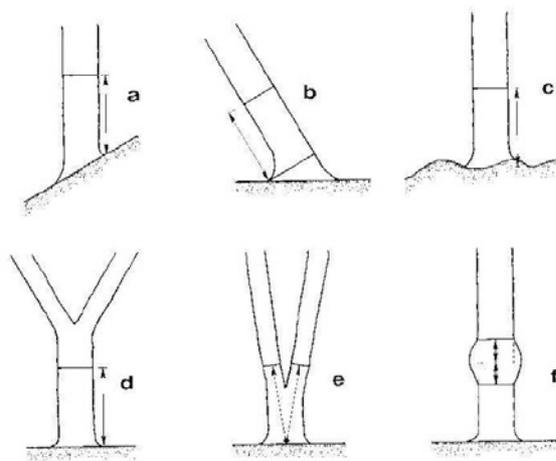


Figure : Conventions à adopter en fonction de la topographie et de la morphologie des arbres

EXERCICES

Exercice 1

Sur 1 000 m², vous avez trouvé 38 arbres,
votre **densité** est donc de : $38 / 1\ 000 \times 10\ 000 = 380$ tiges par hectare

Exercice: 2

Vous avez mesuré 35 arbres sur votre placette de 500 m²
Votre densité est donc de $35 / 500 \times 10\ 000 = 700$ tiges par hectare
Les mesures de diamètre ont donné le résultat suivant :

- 10 arbres de la classe 25
- 12 arbres de la classe 30
- 8 arbres de la classe 35
- 5 arbres de la classe 40

Pour calculer le diamètre moyen, vous procédez comme suit :

(somme des diamètres de la classe 25 + somme des diamètres de la classe 30 + somme des diamètres de la classe 35 +
somme des diamètres de la classe 40) divisées par 35 (nombre d'arbres total)

$$= [(10 \times 25) + (12 \times 30) + (8 \times 35) + (5 \times 40)] / 35$$
$$= [250 + 360 + 280 + 200] / 35 = 1\ 090 / 35 = 31 \text{ cm}$$

Votre peuplement a donc un **diamètre moyen** de 0,31 m (ou 31 cm)

Exercice: 3

vous avez mesuré 35 arbres sur votre placette de 500 m²
Votre densité est donc de $35 / 500 \times 10\ 000 = 700$ tiges par hectare
Les mesures de diamètre ont donné le résultat suivant :

- 10 arbres de la classe 25
- 12 arbres de la classe 30
- 8 arbres de la classe 35
- 5 arbres de la classe 40

Les sections correspondantes sont :

- pour la classe 25 : $0,25 \times 0,25 \times 0,7854 = 0,05 \text{ m}^2$, soit, pour 10 arbres, 0,50 m²
- pour la classe 30 : $0,30 \times 0,30 \times 0,7854 = 0,07 \text{ m}^2$, soit, pour 12 arbres, 0,84 m²
- pour la classe 35 : $0,35 \times 0,35 \times 0,7854 = 0,096 \text{ m}^2$, soit, pour 8 arbres, 0,77 m²
- pour la classe 40 : $0,40 \times 0,40 \times 0,7854 = 0,13 \text{ m}^2$, soit, pour arbres, 0,63 m²

La surface terrière totale de votre placette est donc de

$$0,50 + 0,84 + 0,77 + 0,63 = 2,74 \text{ m}^2$$

Pour l'avoir à l'hectare, vous diviserez la valeur trouvée par le nombre d'arbres de la placette (ici 35) puis vous
multipliez par la densité (ici 700 tiges/ha) : $G = 2,74 / 35 \times 700 = 55 \text{ m}^2/\text{ha}$

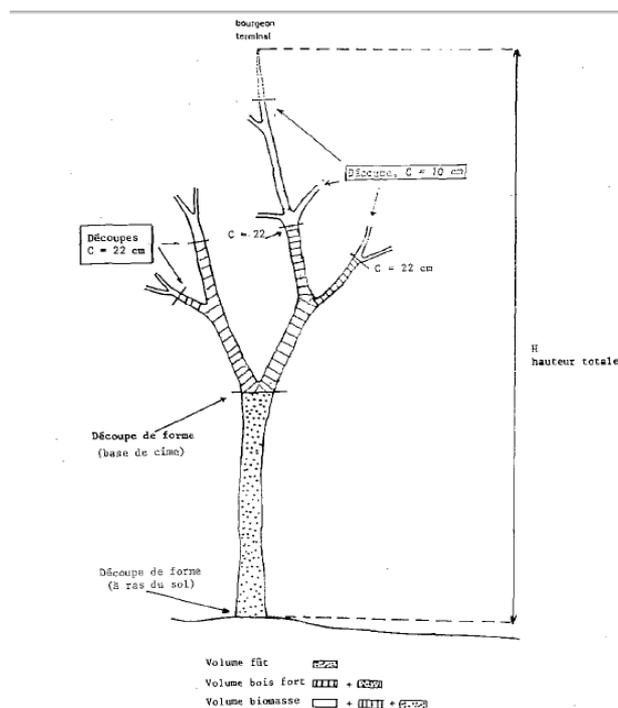
III- MESURE DE LA HAUTEUR DES ARBRES

III-1 Définition

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. 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 de « longueur » concernera plutôt la mesure de la tige d'arbres abattus (ou grumes). On peut 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'œuvre »** : 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 aussi de la **hauteur à la découpe** « marchande » et de la **hauteur au premier défilé**



III-2 Les méthodes et appareils de mesure

La hauteur des arbres est généralement mesurée selon deux types de procédés : les procédés simples et les dendromètres.

III-2.1 Les procédés simples

Ce sont des procédés qui ne nécessitent aucun appareil sophistiqué (dendromètre). Certaines de ces méthodes ne sont évidemment pas recommandées si une grande précision est exigée.

III-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 œuvre 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 :

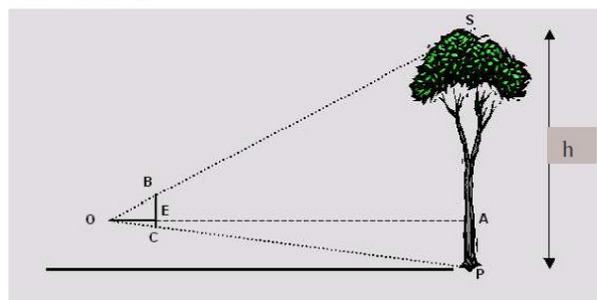
$$SP = \frac{OA}{OE} \times BC$$

et comme :

$$OE = BC$$

alors :

$$SP = OA = h$$



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.

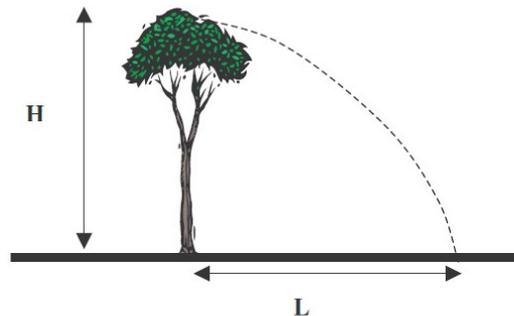


Figure 2 : Principe du « point de chute »

III-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.

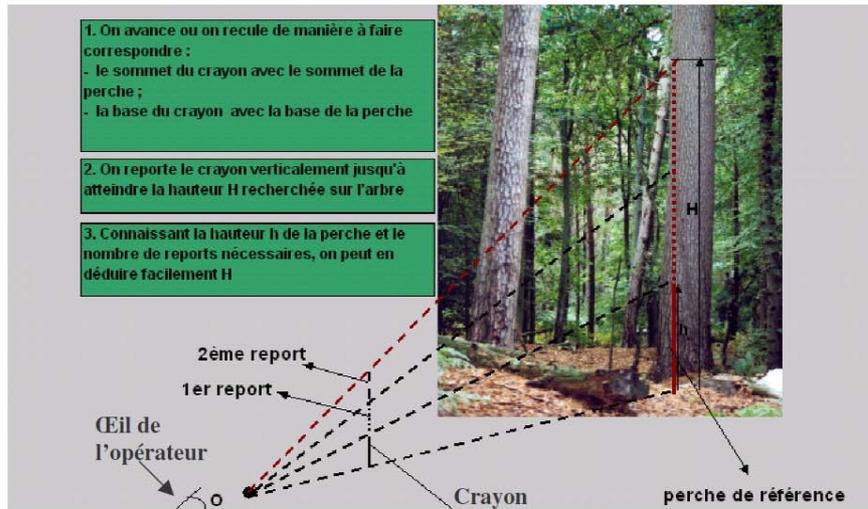


Figure 3 : Utilisation de perches de référence pour la mesure de hauteur : première méthode

b- Deuxième méthode

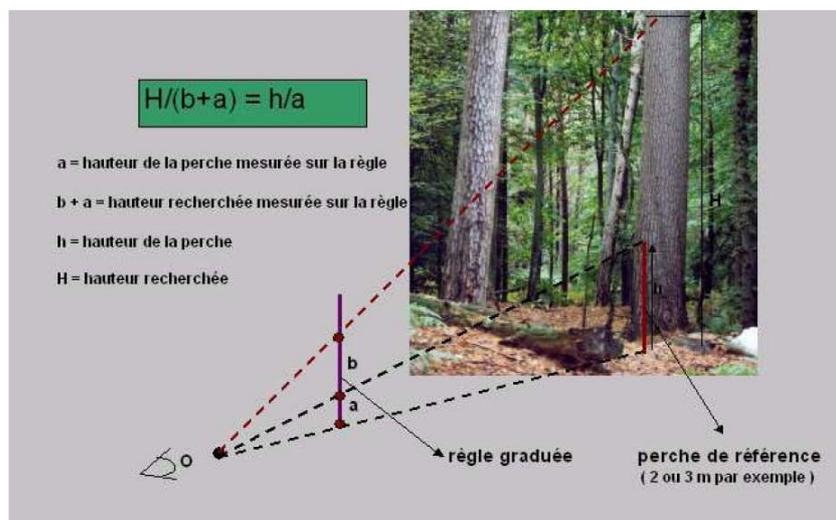
Le principe est simple. L'opérateur tient verticalement à hauteur de ses yeux une règle graduée devant l'arbre à mesurer. En visant l'arbre (figure 4 ci-dessous), la graduation **O** de la règle doit correspondre à la base de l'arbre. Il suffit ensuite de lire :

- 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 :

$$H = (h/a) \cdot (a + b)$$

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



III-2.2 Les dendromètres

Parmi les 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**, etc... 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.

III-2.2.1 Principe d'utilisation

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

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

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

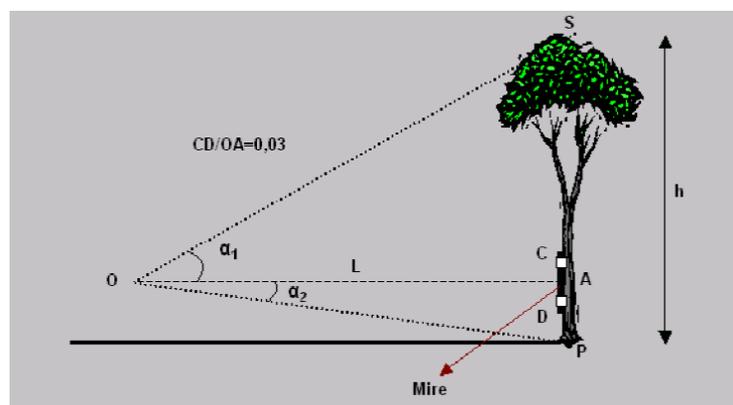


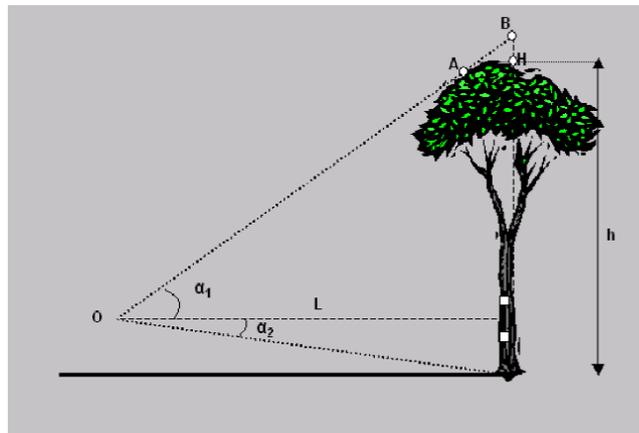
Figure 5 : Principe de la mesure de la hauteur au moyen d'un dendromètre trigonométrique

III-2.2.2 Cas particuliers (erreur de mesure)

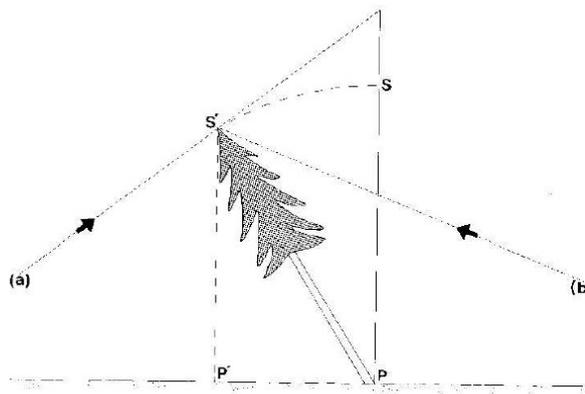
La hauteur d'un arbre ne peut être correctement déterminée que si la base et le sommet de cet arbre sont identifiables sans ambiguïté. Ce n'est pas toujours le cas, surtout lorsque l'on se trouve dans des peuplements jeunes et serrés.

Quelque fois, 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**, le point **A** et donc la hauteur sera surestimée.



En ce qui concerne les arbres penchés, l'opérateur peut également commettre l'erreur de ne pas prendre comme mesure **PS**:



Mesure de hauteur dans le cas d'arbres penchés vers l'opérateur (a) ou dans la direction opposée à celui-ci (b).

Conclusion

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 ;
- 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 un 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 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.

IV- FORME ET AGE D'UN ARBRE, EPAISSEUR DE L'ECORCE

Ce chapitre sera consacré à l'étude de plusieurs caractéristiques dendrométriques des arbres : les paramètres de forme, l'âge et l'épaisseur de l'écorce.

IV-1 Forme d'un arbre

IV-1.1 Forme théorique d'un arbre

La forme d'un arbre est un élément important intervenant dans le calcul de son volume. Si nous nous intéressons à la forme d'une tige, nous pouvons observer que celle-ci correspond à la juxtaposition de plusieurs solides géométriques.

En effet, selon notamment Row et Guttenberg (1966, in Rondeux J., 1993), pour beaucoup d'espèces, de la base au sommet de la tige, on peut identifier en théorie successivement un tronc de **néloïde**, un tronc de **paraboloïde**, et un tronc de **cône** (figure 1 ci-dessous).

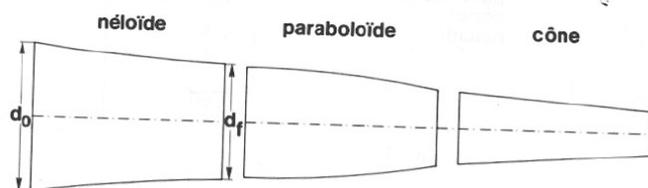


Figure 1 : Décomposition schématique d'une tige en solides géométriques (in Rondeux J., 1993).

En réalité, la tige des arbres est d'une forme variable, et souvent irrégulière. Elle ne peut être strictement comparée à une des formes citées ci-dessus. Il est donc difficile, sinon impossible d'en mesurer le volume avec une parfaite exactitude. C'est pourquoi dans la pratique commerciale courante, on admet très simplement que le volume du fût d'un arbre est à assimiler à celui d'un cylindre.

IV-1.2 Les caractéristiques de forme des arbres

Les expressions dendrométriques couramment utilisées pour caractériser la forme générale d'un arbre (fût) sont :

- le coefficient de décroissance (**k**),
- le coefficient de réduction (**r**),
- le défilement ou décroissance métrique moyenne (**d.m.m.**),
- le coefficient de forme (**f**).

a) Le coefficient décroissance

Ce coefficient exprime le rapport qui existe entre le diamètre (ou la circonférence) à mi-hauteur de la tige et le diamètre (ou la circonférence) mesuré à hauteur d'homme :

$$k = \frac{d_{0,5h}}{d_{1,3}} \quad \text{ou} \quad k = \frac{c_{0,5h}}{c_{1,3}}$$

Par exemple, en appliquant à un arbre de 50 cm de diamètre (à 1,30 m), un coefficient de décroissance de 0,85 (ou 85%), on obtient un diamètre médian de 42,5 cm, quelle que soit sa hauteur.

Remarque : Le coefficient de décroissance définit le changement de grosseur en fonction de la hauteur du fût. Plus le coefficient de décroissance est, plus l'arbre présente une forme cylindrique et moins son défilement est grand.

b) Le coefficient de réduction

Le coefficient de réduction est le rapport qui existe entre la différence de grosseur à hauteur d'homme et à mi-hauteur d'une part, et la grosseur à hauteur d'homme d'autre part. Il est donc le complément à **1** du coefficient de décroissance :

$$r = \frac{c_{1,3} - c_{0,5h}}{c_{1,3}} \quad \text{ou} \quad r = \frac{d_{1,3} - d_{0,5h}}{d_{1,3}}$$

$$\text{et } r = 1 - k$$

Ce coefficient est appelé de réduction parce qu'il indique dans quelle proportion il faut diminuer la grosseur des fûts à hauteur d'homme pour obtenir la grosseur à mi-hauteur. Le coefficient de réduction est généralement compris entre 0,05 et 0,30 ou encore entre 5 et 30 %.

c) Le défilement ou décroissance métrique moyenne

Le défilement ou décroissance métrique moyenne exprime la différence, en centimètre par mètre courant, entre le diamètre (ou la circonférence) à mi-hauteur d'une tige et son diamètre (ou circonférence) à hauteur d'homme.

$$d.m.m. = \frac{d_{1,3} - d_{0,5h}}{0,5h - h_{1,3}}$$

avec

$d_{1,3}$ = diamètre à 1,3 m,

$d_{0,5h}$ = diamètre médian,

h = hauteur, à partir de la section de culée, de la découpe supérieure du fût,

$h_{1,3}$ = hauteur entre la section de culée et le niveau 1,3 m.

Il est important de remarquer que le défilement d'un arbre n'a pas la même valeur selon qu'il se rapporte au diamètre ou à la circonférence, le rapport entre les deux correspond d'ailleurs à π . A titre indicatif, pour la circonférence, le défilement varie généralement entre 1 et 10 cm / m. Par exemple. Il faut noter que pour estimer la **d.m.m.** d'un arbre, on peut également appliquer la formule ci-dessous où **d_{découpe}** est le diamètre à la découpe choisie (25 cm par exemple).

$$d.m.m. = \frac{d_{1,3} - d_{dé\ coupe}}{h_{dé\ coupe} - h_{1,3}}$$

d) Le coefficient de forme :

L'arbre idéal devrait avoir un fût parfaitement cylindrique, ce qui rendrait son débit infiniment plus simple tout en réduisant les déchets au minimum. Mais en fait, la forme des tiges est plutôt conique : le rétrécissement de la circonférence en fonction de la hauteur est plus ou moins accusé selon les cas (il dépend notamment de la nature même des essences, de l'origine génétique des arbres, de leur réaction individuelle et du traitement qu'ils subissent, ainsi que de leurs dimensions et de leur âge). C'est pourquoi l'on est tenté de caractériser la forme des fûts en se référant à la forme idéale du cylindre.

Le coefficient de forme correspond au rapport du volume réel de l'arbre au volume d'un cylindre ayant comme base la surface de la section à 1,3m et comme longueur, la hauteur **h** de l'arbre (à la découpe considérée).

$$f = \frac{v}{g_{1,3} \cdot h}$$

Dans le cas particulier où le volume "réel" de l'arbre est assimilé à celui d'un cylindre ayant comme base la section circulaire à mi-hauteur et comme longueur la hauteur de l'arbre (cubage

commercial), on peut constater que le coefficient de forme est gal au carré du coefficient de croissance (figure ci-dessous).

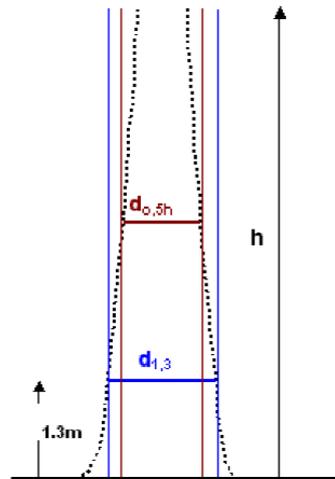


Figure 2 : Volume commercial (cylindre de couleur brique) d'une tige et volume d'un cylindre de même hauteur et de diamètre $d_{1,3}$ (cylindre de couleur bleue).

En effet :

$$f = \frac{\left[\frac{(\pi \cdot d_{0,5h}^2)}{4} \cdot h \right]}{\left[\frac{(\pi \cdot d_{1,3}^2)}{4} \cdot h \right]} = \frac{d_{0,5h}^2}{d_{1,3}^2} = k^2$$

Aussi, de même que pour les autres paramètres de forme, il est impératif de stipuler à quelle découpe le coefficient se réfère. D'un point de vue pratique, il est intéressant de constater que plus la forme de la grume est proche du cylindre, plus le coefficient de forme est proche de **1**.

IV-2 L'âge d'un arbre

Par âge d'un arbre, on entend le nombre d'années compté à partir de la germination de la graine. Cependant, conventionnellement, on considère souvent l'âge d'un arbre planté à partir de son introduction en forêt, à l'exclusion du temps passé en pépinière.

Si l'âge d'un arbre abattu peut être facilement déterminé par comptage des cernes annuels sur la section d'abattage ou sur la souche (le plus près possible du sol, pour incorporer les pousses des premières années), l'opération est plus délicate lorsqu'il s'agit d'un arbre sur pied.

L'âge d'un arbre sur pied peut être déterminé par deux méthodes :

- par comptage des verticilles : cette méthode concerne les seuls conifères, spécialement les espèces bien verticillées et pour autant qu'elles ne fassent pas plusieurs pousses par an
- par extraction d'une carotte de sondage à la tarière de PRESSLER (figure 3) et comptage des cernes annuels. Ce comptage peut être effectué au moyen d'appareil de mesure relativement sophistiqués.

Souvent, le sondage est effectué à 1,3 m du sol et sert simultanément à des mesures d'accroissements. Toutefois, vu que la méthode est destructive (apparition de pourritures ou de colorations malgré les précautions habituelles : matériel désinfecté, obturation au moyen de gomme ou de mastic,...), il est conseillé, si l'âge est la seule information recherchée, d'effectuer le prélèvement le plus près possible du sol (par exemple à 30 cm de hauteur).

Les tarières de PRESSLER se composent de trois éléments : une mèche, un extracteur et une poignée servant d'étui pour le transport. Quand elle pénètre dans l'arbre, il se forme à l'intérieur de la mèche un petit cylindre de bois (carotte) que l'on peut prélever à l'aide de l'extracteur. Sur ce cylindre, on peut :

- o compter et mesurer les cernes d'accroissements annuels,
- o examiner la qualité du bois,
- o vérifier la profondeur d'imprégnation, l'état général des poteaux, traverses,...

L'estimation de l'âge par l'intermédiaire de la tarière de PRESSLER est cependant soumise à trois causes d'erreurs :

- cernes annuels trop serrés compliquant l'identification et le dénombrement,
- absence possible de moelle (centre de l'arbre) dans l'échantillon prélevé (il est difficile de passer par le centre de l'arbre),
- estimation du nombre d'années mis par l'arbre pour atteindre le niveau sondé à la tarière.

IV-3 L'épaisseur de l'écorce

IV-3.1 Intérêt de la mesure de l'épaisseur de l'écorce

La mesure de l'épaisseur de l'écorce peut être intéressante à deux niveaux :

- afin de pouvoir apprécier l'importance de ce déchet dans le cadre de l'utilisation de sous produits de la forêt à des fins chimiques, énergétiques et agronomiques (mulch d'écorce,...).
- estimation du taux d'écorce lors des transactions commerciales afin d'estimer le diamètre ou le volume sous écorce des arbres.

IV-3.2 Expression de l'importance de l'écorce

L'importance de l'écorce peut être exprimée en grosseur (diamètre) ou en surface terrière ou encore en volume. Le taux d'écorce dépend évidemment de l'essence, mais aussi d'autres facteurs. Pour une même espèce, en effet, l'épaisseur d'écorce n'est pas uniforme le long du fût de l'arbre. De plus, à une même hauteur donnée dans des arbres de la même espèce, l'épaisseur d'écorce est très variable car elle dépend notamment :

- o du diamètre,
- o de la station, de l'altitude,
- o de l'orientation,
- o de facteurs génétiques.

IV-3.3 Mesure de l'épaisseur d'écorce et détermination du taux d'écorce

Les appareils utilisés pour mesurer l'épaisseur de l'écorce sont le mesureur d'écorce, le marteau sondeur et, accessoirement la tarière de PRESSLER.

a) Mesureur d'écorce :

Aussi appelé jauge à écorce («barkmätare» en suédois), le mesureur d'écorce est composé d'une tige en acier creuse profilée en demi-cercle, ayant une extrémité tranchante et comportant des graduations millimétriques à l'autre extrémité (figure 4).



La tige coulisse dans un tube terminé par une plaque métallique perpendiculaire à l'axe d'enfoncement. L'appareil doit être tenu perpendiculairement à l'arbre et la tige est enfoncée à

travers toute l'écorce. Il est recommandé d'effectuer deux mesures à des endroits diamétralement opposés.

Le **taux d'écorce** est le rapport suivant $(e - d)/d$

Avec : **e** l'épaisseur mesurée

d le diamètre sur écorce

d_s le diamètre sous écorce : $d_s = d - 2.e$

En général, l'on se contente d'appliquer un pourcentage global, par essence, au volume sur écorce connu.

b) Le marteau sondeur :

Cet appareil (figure 5), en acier suédois spécial, permet d'extraire rapidement, en frappant l'arbre, un petit cylindre de bois d'environ 3 cm de long, sur lequel on observe ou mesure l'épaisseur de l'écorce. Le système, avant tout destiné au prélèvement de petites carottes de bois (on peut y compter ou mesurer les cernes annuels des dernières années), est cependant déconseillé pour effectuer des mesures d'écorce avec une précision satisfaisante.



Figure 5 : Le marteau sondeur.

V- CUBAGE DES ARBRES

V-1 Principe généraux

Le cubage ou toisé des bois est une évaluation du volume qui ne prétend pas à l'obtention du volume réel, mais à une approximation du rendement en bois parfait, c'est-à-dire ne tenant compte ni de l'écorce ni de l'aubier. Le cubage conduit à un certain nombre de règles spéciales, de conventions, dont il ne faut pas s'étonner que leur application donne des résultats assez sensiblement différents les uns des autres. Le principe générale consiste à considérer que le "**cube grume**" d'un arbre est un cylindre qui aurait comme base la section moyenne du tronc et pour hauteur la hauteur du fût ; la section moyenne est considérée comme un cercle et on prend pour

obtenir sa surface, une formule peu utilisée dans les calculs classiques: soit le carré de la circonférence, divisée par 4 fois 3,14 c'est-à-dire ($C^2/4\pi$). Evidemment cette formule équivaut absolument aux deux formules plus couramment employées avec le rayon (r) ou le diamètre (D) qui sont πr^2 ou $\pi D^2/4$.

V-2 Cubage des bois sur pied

Il est important d'estimer le volume des arbres à abattre lorsque l'on fait des coupes. Le cubage peut se faire sur des arbres individuels dans le cas d'essence de grosse dimension. Le cubage peut se faire également pour un peuplement. Par catégorie le volume global du lot coupé est estimé.

V-2.1 Légende des symboles utilisés.

Symbole	Désignation	Unité	Symbole	Désignation	Unité
V_{com}	Volume commercial	(m ³)	H_{com}	Hauteur du fût commercial	(m)
V_{C22}	Volume bois fort à une recoupe de 22 cm de circonf.	(m ³)	H_{tot}	Hauteur totale	(m)
D_m	Diamètre à mi-hauteur	(m)	$H/2$	Mi-hauteur du fût commercial	(m)
$D_{1,50}$	Diamètre à 1,50 m	(m)	k	Coefficient de décroissance	(%)
C_m	Circonférence à mi-hauteur	(m)	r	Coefficient de réduction (inverse de k)	(%)
$C_{1,50}$	Circonférence à 1,50 m	(m)	Δ	défilement (décroissance)	(cm/m)
			R	rayon	(m)
			π	constante Pi = 3,1416	

V-2.2 Estimation du volume

L'arbre est considéré comme un cône tronqué et le volume se calcule sur la base de la formule d'un cylindre dont la circonférence est mesurée au milieu (**Volume à mi-hauteur**).

Volume commercial	A partir de la circonférence	A partir du diamètre
V_{com}	$= ((C_m)^2 \times H_m) / (4\pi)$	$= (\pi \times (D_m)^2 \times H_m) / 4$

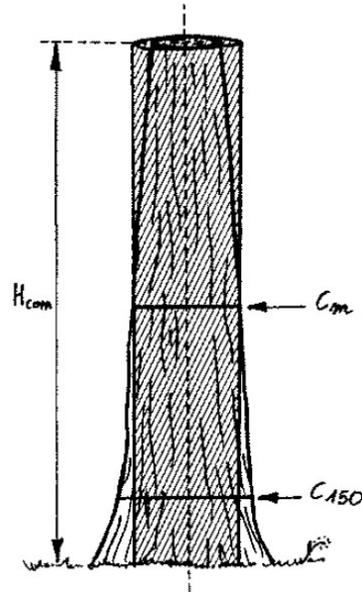
Pour palier à la difficulté liée à l'estimation de la circonférence à mi-hauteur (ou du diamètre à mi-hauteur), la circonférence à mi-hauteur est estimée à partir du **coefficient de décroissance** (k) ou du **défilement en circonférence** (ou décroissance métrique).

$$k \neq C_{1,3}$$

alors, $G = k \cdot C_3$

ou

$$G_m = C_{1,3} \cdot A_1 (H/2 - 1,3)$$

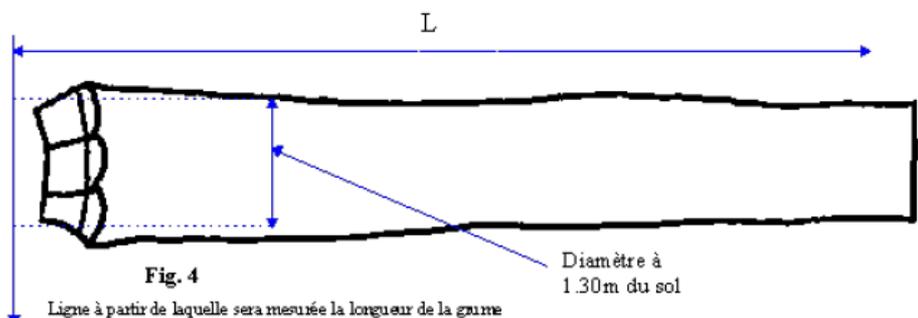


V-3 Cubage des bois abattus

Il s'agit d'un cubage des grumes après l'abattage de l'arbre. La **grume** est le troc (ou section de tronc) d'un arbre abattu et ébranché, recouvert ou non de son écorce. Le **stère** est la quantité de bois empilés (rondins ou quartiers) correspondant à un volume extérieur de $1m^3$.

V-3.1 Mesure de la longueur

La mesure de la longueur **L** se fait avec le mètre à pointes en négligeant les fractions de décimètre et en tenant compte s'il y a lieu du sifflet d'abattage à la culée si celui-ci est exagéré (on mesure alors la longueur à partir du point de la culée ou le diamètre est voisin de celui à 1.30 m du sol)



V-3.2 Mesure de circonférence

La mesure de la circonférence moyenne. La mesure est effectuée au milieu de la longueur, sur écorce, à l'aide d'une ficelle de chanvre passé sous la grume au moyen d'une "aiguille" courbe en acier. On peut aussi, dans le cas de grumes empilées faire des mesurés aux extrémités

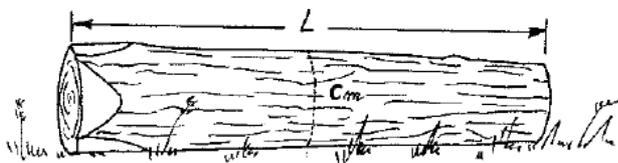
(circonférences ou diamètres mesurés à l'aide du pélican) et prendre la moyenne. Une bonne précaution consiste à faire la mesure de 2 diamètres perpendiculaires pour pallier les erreurs provenant de méplats.

V-3.3 Cubage d'une grume par la grosseur à mi-longueur

$$V_{\text{com}} = \frac{\pi \times L \times (D_m)^2}{4} = \frac{L \times (C_m)^2}{4 \times \pi}$$

$$\approx 0,8 \times (D_m)^2 \times L \quad (0,8 \approx \text{à la constante } \pi/4)$$

$$\approx 0,08 \times (C_m)^2 \times L \quad (0,08 \approx \text{à la constante } 1/4 \times \pi)$$



V-3.4 Cubage des houppiers

Les houppiers des arbres sont généralement débités en stères et utilisés comme bois de trituration ou de chauffage. Il est difficile d'en estimer le volume.

V-3.5 Cubage d'un lot de bois ronds

Lorsque des bois d'égale longueur sont empilés pour former des lots, il convient de les cuber convenablement car ils contiennent en plus des bois, de nombreux espaces d'air. Le volume V correspond au volume du parallélépipède dans lequel la pile est inscrite. Différents cas de figures peuvent se présenter. $V = L \times l \times h$

Pile avec un cône incliné	Pile avec deux cônes inclinés	Pile irrégulière
$V = L \times l \times h$	$V = l \times h \times (L_2 + (L_1 + L_3)/2)$	$V = ((h_1 + h_2 + \dots + h_n)/n) \times L \times l$

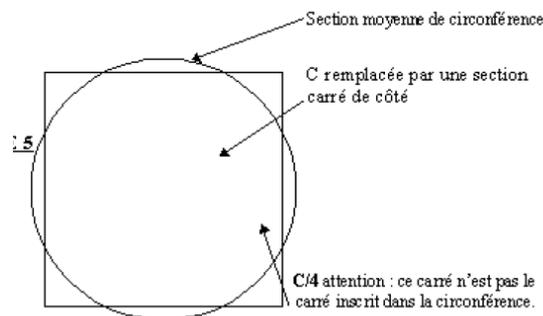
V-4 Détermination des différents volumes

A partir de ces mesures on pourra se proposer de chercher le volume normalisé ou volume au cube réel, le volume ou quart sans déduction, le volume ou cinquième déduit et le volume nu sixième déduit.

V- 4.1 Le volume "au cube réel":

C'est le volume déjà indiqué plus haut : $V (m^3) = 1/(4\pi) * C^2.H$

V- 4.2 Le volume au quart sans déduction



- On suppose que la section moyenne sera un carré dont le côté est égal au quart de la circonférence moyenne . Ce carré aurait donc comme surface

$$\frac{C}{4} * \frac{C}{4} = \frac{C^2}{16}$$

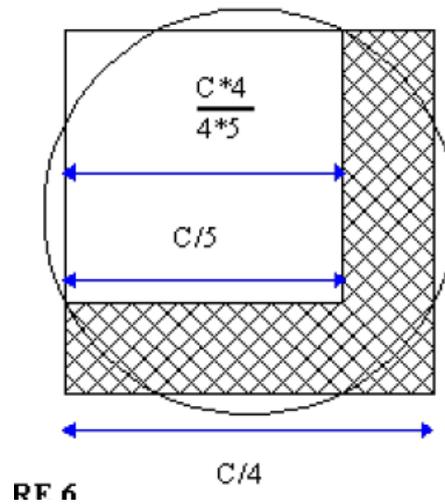
ou $\frac{1}{16} * C^2$ ou $0.00625 * C^2$

- Le volume devient donc

$$Vm^3 = 0.00625 C^2L$$

- . Par comparaison avec le volume au cube réel, nous voyons immédiatement que pour même circonférence C et une même longueur L nous allons trouver un volume plus petit , puisque nous multiplions dans le premier cas C²L par 0.079 et dans le deuxième cas par 0,0625 .
- C'est que, par cette méthode nous tenons compte des pertes imputables à l'écorce et à quelques irrégularités de forme. Nous obtenons un résultat valable pour des bois résineux , pratiquement sans aubier et assez régulier de former .

V- 4.3 le volume au cinquième déduit



- Mais nous en déduisons $\frac{1}{5}$ de sa longueur. Il ne nous reste donc plus que les $\frac{4}{5}$ de C soit $\frac{C*4}{5}$
- Nous divisons ce nombre par 4 pour obtenir le côté du carré que représentera . La section théorique

de notre grume. Donc $\frac{C*4}{5*4}$ ce qui nous donne en simplifiant , $\frac{C}{5}$. En fait, l'évaluation au volume au cinquième déduit consiste donc à considérer que le volume du bois utilisable sera celui d'un prisme à base carrée dont le côté est le cinquième de la circonférence moyenne.

- Cette base ayant comme surface $\frac{C}{5} * \frac{C}{5} = \frac{C^2}{25} = \frac{1}{25} * C^2$
- ou 0,040 x C², le volume devient
- Volume au cinquième déduit :

$$V_m^3 = 0.0040 C^2$$

- . L correspond au volume équarri à vive arête, sans aubier, de bois comme le chêne par exemple .

V- 4.4 Le volume au sixième déduit

- Le cube au sixième déduit est moins usité . Il correspond à celui d'une bille équarrie à vive arête pour des bois ne présentant pas d'aubier distinct comme le charme, l'érable, le hêtre. La circonférence moyenne est diminuée d'un sixième et le quart du reste donne le côté du carré pris comme base .

$$\text{donc volume} = \frac{(C*5)}{(6*4)} * L$$

Ce qui correspond , calculs effectués

$$\hat{a} V_m^3 = 0.0434 C^2 L$$

V- 4.5 Exemple

Pour bien vous familiariser avec ces formules, suivez bien le développement du calcul numérique ci-après.

Une grume de 6 m de long, mesurée en son milieu a une circonférence 2,40 m. Évaluez le cube réel, le cube au quart sans déduction, le cube au cinquième déduit, le cube au sixième déduit.

Réponse :

$$\begin{aligned} & \text{a) cube réel} \\ Vm^3 &= 0.079 C^2L \\ &= 0.079 * 2.4 * 2.4 * 6 \\ &= 2.73m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{b) cube au quart sans déduction} \\ Vm^3 &= 0.0625 C^2L \\ &= 0.0625 * 2.4 * 2.4 * 6 \\ &= 2.16m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{c) cube au cinquième déduit} \\ Vm^3 &= 0.040 C^2L \\ &= 0.040 * 2.4 * 2.4 * 6 \\ &= 1.38m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{d) cube au sixième déduit} \\ Vm^3 &= 0.0434 C^2L \\ &= 0.0434 * 2.4 * 2.4 * 6 \\ &= 1.499m^3 \end{aligned}$$