



REPUBLIQUE TOGOLAISE

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RESSOURCES
FORESTIÈRES



Projet de soutien à la préparation à la Réduction des Émissions dues à la
Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+)

Formation en méthodologie d'inventaire forestier national au Togo

MANUEL D'UTILISATION DU MATERIEL DENDROMETRIQUE

Frank KAMMER
Expert international en foresterie

Décembre 2020

Financement : Don FCPF TF 0A8880 administré par le groupe de la Banque Mondiale

Table des matières

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION | 1 |
| 1 NOTION DE TOPOGRAPHIE | 1 |
| 1.1 DÉFINITIONS | 1 |
| 1.1.1 Mesure des distances | 1 |
| 1.1.2 Mesure des angles | 4 |
| 1.1.3 Contournement d'obstacles | 5 |
| 1.1.4 Mesure des pentes | 6 |
| 1.1.5 GPS | 8 |
| 2 MESURE DES CARACTERISTIQUES STATIQUES DES ARBRES | 1 |
| 2.1 OBJECTIF DE LA DENDROMÉTRIE | 1 |
| 2.2 CONVENTIONS UTILISÉES POUR LA MESURE DES ARBRES | 1 |
| 2.3 GROSSEUR DES ARBRES : DIAMÈTRE, CIRCONFÉRENCE ET SURFACE TERRIÈRE | 1 |
| 2.3.1 Mesure du diamètre et de la circonférence à 1,30 m | 2 |
| 2.3.2 Mesure du diamètre et de la circonférence à hauteur variable | 5 |
| 2.3.3 Mesure de la surface terrière | 8 |
| 2.4 HAUTEUR DES ARBRES | 10 |
| 2.4.1 Notion de hauteur | 10 |
| 2.4.2 Méthodes et appareils de mesure de hauteurs | 11 |
| 2.4.3 Recommandations relatives à la mesure de hauteurs | 14 |
| 2.5 FORME DES ARBRES | 16 |
| 2.5.1 Forme théorique des arbres | 16 |
| 2.5.2 Expressions de la forme des arbres | 16 |
| 2.6 VOLUME DES ARBRES | 17 |
| 2.6.1 Cubage estimatif des bois sur pied | 17 |
| 2.6.2 Cubage commercial des bois abattus | 18 |
| 2.7 ERREURS ET PRÉCISION ASSOCIÉES À LA PRISE DE MESURE | 19 |
| 3 EVALUATION DES RESSOURCES FORESTIERES LIGNEUSES DES PEUPELEMENTS : | |
| L'INVENTAIRE FORESTIER | 1 |
| 3.1 DÉFINITIONS | 1 |
| 3.1.1 Objectif de l'inventaire | 1 |
| 3.1.2 Types d'inventaires et principes d'échantillonnage | 1 |
| 3.1.3 Nombre d'unités d'échantillonnage, taux de sondage et erreur d'échantillonnage | 5 |
| 3.1.4 Forme des unités d'échantillonnage | 6 |
| 3.1.5 Repérage des unités d'échantillonnage sur le terrain | 6 |
| 3.2 ÉTUDES DE RECOLLEMENT | 6 |
| 3.2.1 Relation entre effectif inventorié et volume commercialisable | 6 |
| 3.2.2 Coefficient d'exploitation | 7 |
| 3.2.3 Le coefficient de commercialisation | 7 |
| 3.3 NOTION SUR L'ÉLABORATION DES TARIFS DE CUBAGE | 9 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.3.1 | <i>Principe des tarifs de cubage</i> | 9 |
| 3.3.2 | <i>Construction de tarifs de cubage</i> | 9 |
| 3.3.3 | <i>Précision et limites de validité des tarifs de cubage</i> | 11 |
| 4 | MESURE DES ACCROISSEMENTS DES ARBRES ET DES PEUPEMENTS | 11 |
| 4.1 | NOTIONS SUR LES TECHNIQUES D'ÉTUDE DE CROISSANCE DES ESSENCES | 12 |
| 4.2 | INSTALLATION D'UN DISPOSITIF DE SUIVI (CROISSANCE, MORTALITÉ ET PHÉNOLOGIE)..... | 12 |
| 5 | APPLICATIONS FORESTIÈRES COURANTES ISSUES DES RESULTATS D'INVENTAIRES | 15 |
| 5.1 | ÉVALUATION DE L'ÉTAT DES POPULATIONS DES ESSENCES EXPLOITÉES | 15 |
| 5.2 | DÉFINITION D'UNE ROTATION ET CALCUL DES TAUX DE RECONSTITUTION..... | 16 |
| | REFERENCES UTILES | 19 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1. Bande et ruban d'arpentage | 2 |
| Figure 2. Topofil Chaix | 3 |
| Figure 3. Télémètre laser | 4 |
| Figure 4. Vertex | 4 |
| Figure 5. La boussole SUUNTO..... | 5 |
| Figure 6. Topochaix « Broussarde » | 5 |
| Figure 7. Contournement d'un obstacle | 6 |
| Figure 8. Clinomètre SUUNTO..... | 6 |
| Figure 9. Tandem Boussole-Suunto..... | 6 |
| Figure 10. Principales parties d'un arbre | 1 |
| Figure 11. Matériels de mesure de la grosseur d'un arbre | 2 |
| Figure 12. Définition de diamètre à hauteur de poitrine (DHP)..... | 4 |
| Figure 13. Relascope de Bitterlich | 5 |
| Figure 14. Relascope de Bitterlich à bande large | 6 |
| Figure 15. Relascope de Bitterlich à bande normale | 6 |
| Figure 16. Vue d'ensemble des échelles du Relascope à bande normale | 7 |
| Figure 17. Visée avec le Relascope à bande normale sur une mire de 2m pour la mesure des distances horizontales | 7 |
| Figure 18. Plaquette de Bitterlich | 9 |
| Figure 19. Relascope de Hagglof..... | 9 |
| Figure 20. Visée à l'aide de la plaquette de Bitterlich | 10 |
| Figure 21. Principe des appareils de mesure de hauteur | 11 |
| Figure 22. Principe de la croix du bûcheron..... | 12 |
| Figure 23. Principe de la mesure de hauteur au moyen d'un dendromètre trigonométrique | 12 |
| Figure 24. Dendromètre Suunto..... | 13 |
| Figure 25. Dendromètre Blum Leiss (appareil de mesure et mire) | 14 |
| Figure 26. Cubage par la méthode de Huber..... | 17 |
| Figure 27. Cubage par la méthode de Smalian | 18 |
| Figure 28. Mesure de hauteur dans le cas d'arbres penchés vers l'opérateur (a) ou dans la direction opposée à celui-ci (b)..... | 19 |
| Figure 29. Intervalle de confiance de la prédiction du volume disponible..... | 2 |
| Figure 30. Échantillonnage au moyen de placettes à surface définie (placettes fixes) | 3 |
| Figure 31. Échantillonnage au moyen de placettes à surface non définie (comptages angulaires)..... | 4 |
| Figure 32. Aires d'influence (placettes fixes vs. comptage angulaire) | 5 |
| Figure 33. Aires d'influence (placettes à surface définie de taille échelonnée | 5 |
| Figure 34. Etapes d'évaluation du volume commercialisable | 8 |
| Figure 35. Courbe de régression d'un tarif de cubage (Acajou) | 10 |
| Figure 36. Courbe de régression d'un tarif de cubage (Sapelli)..... | 11 |

Figure 37. Matérialisation de la ligne de mesure en vue de la réalisation d'une mesure de diamètre, la mesure se faisant entre les deux traits. 13

Figure 38. Accroissements de quelques essences commerciales d'Afrique centrale à l'Est du Cameroun 14

Figure 39. Courbes diamétriques issues d'inventaires d'aménagement 15

INTRODUCTION

Le projet de soutien à la préparation à la Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+) est l'une des trois (3) catégories de programme de collaboration des Nations Unies sur la REDD+ dans les pays en développement, lancé en 2008 pour la période 2011- 2015. Il vise à renforcer les capacités de ces pays en vue de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et de participer à un futur mécanisme REDD+ sous l'égide de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) que le Togo a ratifié le 08 mars 1995.

Le plan de préparation à la REDD+ (RPP) du Togo a reçu l'accord de participation au Fonds de partenariat pour le carbone forestier (FCPF) en février 2014. A cet effet, le Togo, à travers le Ministère de l'économie et des finances, a signé une convention avec la Banque Mondiale qui est l'administrateur du FCPF. Le RPP – Togo a prévu trois (3) organes de gestion à savoir :

-  le Comité National REDD+ (CN-REDD+) qui est l'organe décisionnel des questions REDD+,
-  le Groupe National de Travail REDD+ qui constitue le comité technique d'appui du (CN-REDD+),
-  la Coordination nationale qui assure la gestion quotidienne du processus REDD+ et l'appui aux différentes entités nationales intervenant dans la REDD+.

Outre ces attributions dévolues, la Coordination nationale est aussi chargée, entre autres, de coordonner l'ensemble des activités de préparation à la REDD+. Parmi ces activités préparatoires, l'inventaire forestier national (IFN) constitue une activité majeure. En effet, c'est à travers les résultats de l'IFN que les niveaux de référence seront actualisés et le système national de suivi des forêts (SNSF) sera conçu. Ce niveau de référence est aujourd'hui disponible grâce à la réalisation, en 2015 - 2016, du premier inventaire forestier national du Togo et la mise à jour de la carte des occupations du sol du pays. L'autre étape à venir dans l'implémentation du SNSF est la Mesure, le Rapportage et la Vérification (MRV) de l'évolution des forêts togolaises ainsi que l'actualisation du niveau de référence des forêts. C'est en prélude à la réalisation du second inventaire forestier national ainsi que l'appropriation, par la partie nationale, des techniques de mise en œuvre de l'IFN que le ministère de l'environnement et des ressources forestières à travers la Coordination nationale REDD+ et la Direction des ressources forestière s'est engagée à renforcer les capacités des agents forestiers pour la réalisation du second inventaire forestier national.

Cette formation réalisée par la Cellule de Gestion de la Base de Données Forestières et des Résultats de l'Inventaire Forestier National (CBDR/IFN) et la Cellule MRV/REDD+ avec l'appui de l'expert local principal en botanique et prévoit la formation de 64 agents de l'administration forestière en technique d'inventaire pour une meilleure appropriation des travaux de remesure à venir.

Le présent manuel est conçu pour servir de guide et de support à la formation des cadres nationaux qui s'est déroulée à Kpalimé, du 30 novembre au 07 décembre 2020 et du 14 au 21 décembre 2020. Il fait suite au premier manuel qui porte sur l'utilisation du matériel dendrométrique et se propose de montrer aux participants le travail de remesure sur le terrain. Il permettra également aux participants de faire une large diffusion des connaissances acquises au sein de leurs services respectifs. Il est organisé autour de cinq (5) grands axes à savoir :

-  la topographie ;
-  la mesure des caractéristiques statiques des arbres ;
-  l'évaluation des ressources forestières ligneuses des peuplements ;
-  la mesure des accroissements des arbres et des peuplements ;
-  quelques applications courantes des résultats d'inventaire forestier national.

1 NOTION DE TOPOGRAPHIE

1.1 Définitions

La topographie est une technique centrale dans l'aménagement forestier. Ses applications sont essentielles pour collecter les paramètres spatiaux : distances, angles, pentes, altitudes, etc.

1.1.1 Mesure des distances

Lorsqu'on procède à des levés topographiques, les distances sont mesurées suivant des lignes droites. Ces droites sont tracées entre deux points fixes, où partent d'un point fixe dans une direction donnée. Elles sont tracées sur le terrain au moyen de piquets, de piliers ou de jalons. Les distances doivent toujours être mesurées horizontalement. Toutefois, l'on peut être amené à mesurer des distances sur un terrain plat où dont la pente est très faible, c'est-à-dire inférieure ou égale à 5 %. Les distances ainsi mesurées sur ce type de terrain seront pratiquement égales ou très voisines des distances horizontales. Par contre, si la pente du terrain dépasse 5 %, il faudra alors déterminer la distance horizontale. A cet effet, il faudra soit corriger les mesures faites au sol, soit utiliser une autre méthode. Les terrains accidentés doivent également faire l'objet de méthodes de mesure particulières. On utilise pour la mesure des distances, soit les pas, soit les lattes, rubans ou bandes d'arpentage (Figure 1), ou encore une chaîne d'arpenteur (Figure 2).

➤ Mesure de la distance au pas

Pour la mesure au pas, il faut savoir que votre pas sera plus court :

- ✓ sur un terrain portant des plantes à hautes tiges ;
- ✓ si vous marchez en montant une côte plutôt qu'en le descendant ;
- ✓ sur un terrain en pente par comparaison à un terrain plat ;
- ✓ sur un sol mou par comparaison à un sol dur.

➤ Mesure de la distance au ruban d'arpentage

Les rubans d'arpentage sont en acier, en tissu métallique ou en fibre de verre. Leur longueur est généralement de 10 à 30 m au moins. Ils sont habituellement étalonnés en mètres, les premiers et derniers mètres étant gradués en décimètres et centimètres. Ils sont enroulés dans un boîtier muni d'une poignée de rembobinage. L'utilisation de ruban peut poser quelques difficultés. En effet, les rubans en acier ont facilement tendance à se tordre et à se casser. Les rubans en tissu sont moins précis que les autres, puisque leur longueur est souvent

légèrement variable. Lors de l'utilisation du pas pour la mesure des distances à l'aide de bandes et rubans d'arpentage, ces outils (bandes et rubans) doivent être bien tendus de façon à ne pas présenter de flèche, surtout pour les mesures de distances importantes. Il ne faut cependant pas trop les tendre, notamment les rubans en fibre de verre, pour ne pas risquer de fausser les mesures.

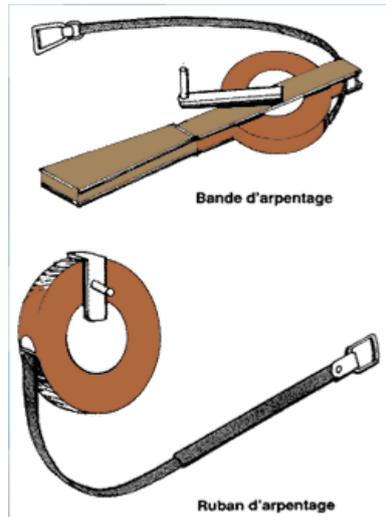


Figure 1. Bande et ruban d'arpentage

Application pratique

Calcul du coefficient de pas de chaque participant

- Faire 100 pas normaux sur un terrain horizontal, en commençant après avoir placé le bout de l'orteil de votre pied arrière en un point A dont l'emplacement est bien repéré, puis en marchant en ligne droite vers un point B;
- Repérer l'extrémité de votre dernier pas en plaçant le piquet B au bout de l'orteil de votre pied avant ;
- Mesurer la distance AB (en mètres), par exemple avec un ruban gradué, et calculez votre coefficient de pas (en mètres) comme suit: $CP = AB / 100$ (si la distance parcourue pour 100 pas est de 76 m, votre coefficient de pas $CP = 76 \text{ m} / 100 = 0,76 \text{ m}$) ;
- Calculer la distance entre deux points visibles sur le terrain et contrôler le résultat à l'aide des instruments de mesure : Multipliez le nombre de pas N par votre coefficient de pas CP (en mètres) afin d'obtenir une estimation approchée de la distance en mètres, comme suit: $Distance = N \times CP$.

Vérifier la précision de la mesure à l'aide d'un ruban.

➤ Mesure de la distance à l'aide de chaînes / lattes d'arpenteur

Les chaînes d'arpenteur sont également disponibles dans le commerce. Elles sont constituées d'une série de maillons d'acier de longueur identique, généralement 20 cm, reliés entre eux par des anneaux d'acier. La longueur d'un maillon comprend celle de sa portion rectiligne, de

ses deux extrémités et des deux demi-anneaux qui le rattachent au maillon voisin. Chaque mètre de la chaîne est repéré d'ordinaire par un anneau en laiton. Chaque extrémité est munie d'une poignée métallique dont la longueur doit être prise en compte dans les mesures. La longueur totale de la chaîne est d'ordinaire de 10 ou 20 m. Les chaînes sont moins précises que les rubans et les bandes d'arpentage, mais beaucoup plus résistantes. L'utilisation d'une chaîne/latte d'arpenteur doit faire l'objet des précautions suivantes :

- ✓ veillez à ce que l'extrémité arrondie ne reste pas accrochée à l'extrémité du maillon voisin, ce qui risque de raccourcir la chaîne; au début de chaque levé ;
- ✓ vérifiez qu'il n'en est pas ainsi en faisant défiler toute la longueur de la chaîne et en redressant tous les maillons ;
- ✓ évitez de laisser la chaîne au soleil, la chaleur risquant de provoquer sa dilatation ;
- ✓ veillez à tendre suffisamment la chaîne pour obtenir des mesures précises.

➤ **Mesure de la distance à l'aide du Topofil**

Le topofil (Figure 2) est un appareil de mesure des longueurs fonctionnant suivant le principe du « fil d'Ariane ». Un fil se déroule derrière le porteur de l'appareil, au fur et à mesure de son avancée. Il est composé d'un boîtier doté d'un compteur (lecture au décimètre) et d'un dévidoir sur lequel on fixe une bobine de fil. Le fil se déroule en entraînant une poulie qui actionne le compteur. L'appareil est étalonné en usine, mais il est généralement possible et conseillé de le ré-étalonner à l'aide d'un décamètre. La précision est de l'ordre de 0,2 %.



Figure 2. Topofil Chaix

Il faut éviter d'utiliser le topofil par temps de pluie au risque que le fil se distende en absorbant l'humidité et occasionne de fausses mesures. Il peut arriver qu'à la suite d'un choc, le fil se décroche de la poulie. Le topofil peut également présenter des problèmes de blocage ou

patinage lors du déroulement de la bobine. Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement qu'il se dévide correctement en surveillant la rotation du compteur.

➤ **Mesure de la distance à l'aide de cordes et décamètres**

Ces trois outils peuvent servir à la mesure de petites distances, par exemple pour les distances latérales dans les parcelles d'inventaire d'aménagement. La corde et la chaîne peuvent également se substituer au topofil pour le chaînage des layons. Des précautions sont alors à prendre (étalonnage régulier de la corde, éviter les « boucles » sur le câble, etc.).

➤ **Mesure de la distance à l'aide du télémètre laser**

Le télémètre émet un signal laser capté par un détecteur optique suite à sa réflexion sur une « cible » (par exemple, un arbre supposé en limite de parcelle). Ce sont des appareils faciles à manipuler et très précis, utilisés parfois pour déterminer la largeur des parcelles de comptage. Ils peuvent donner des mesures jusqu'à 90 / 100 mètres (Figure 3).



Figure 3. Télémètre laser

➤ **Mesure de la distance à l'aide du Vertex**

Utilisé avec un « transpondeur » ou « récepteur », le Vertex est capable de calculer la distance horizontale automatiquement.



Figure 4. Vertex

1.1.2 Mesure des angles

La mesure des angles se fait à l'aide de la boussole qui est un appareil indiquant le nord *magnétique*. Il en existe plusieurs types, dont les plus fréquemment utilisées en foresterie tropicale sont la boussole Suunto (Figure 5) et le Topochaix (Figure 6).



Figure 5. La boussole SUUNTO



Figure 6. Topochaix « Broussarde »

L'utilisation de la boussole requiert des précautions à savoir :

- le nord magnétique indiqué par la boussole, ne correspond pas au nord géographique absolu. Lorsque l'on reporte un azimuth levé à la boussole sur une carte, il est nécessaire de tenir compte de la déclinaison, angle qui varie pour une région donnée et une période donnée ;
- bouger le moins possible entre la visée du point et la lecture de l'azimut ;
- toujours tenir la boussole horizontale afin d'éviter de bloquer l'aiguille ;
- éviter de s'appuyer ou de se tenir à proximité de tout élément susceptible de perturber le champ magnétique : moteur de voiture, montre, autre boussole, etc.

Application pratique

- placer un jalon comme centre de mesure
- mesurer l'azimut entre ce jalon et un point remarquable (exprimer au ½ degré près)
- demander à un aide de planter un jalon dans une direction de 10° de moins que celle visée, à une distance précise (p ex 15 m)
- faire vérifier et évaluer la précision par les autres membres du groupe

1.1.3 Contournement d'obstacles

En règle générale, tous les points de la droite à mesurer seront accessibles. Dans certains cas, cependant, en présence d'un obstacle tel qu'un lac, une rivière ou un champ en culture, l'on doit effectuer des mesures indirectes à l'aide de la boussole et de l'instrument d'arpentage (Figure 7).

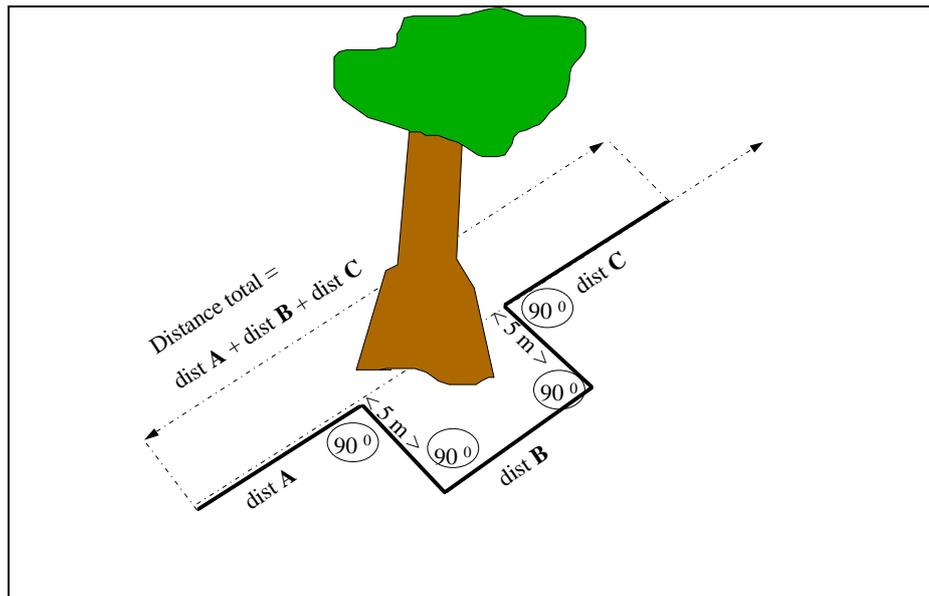


Figure 7. Contournement d'un obstacle

Application pratique

- Faire une mesure de la distance « à vol d'oiseau » entre deux jalons séparés par un obstacle (et donc le second jalon n'est pas visible depuis le premier)
- Faire un croquis de la méthode et des données obtenues

1.1.4 Mesure des pentes

Le clinomètre et le clisimètre (Figure 8) sont des appareils de visée permettant de mesurer la pente (déclivité), mais aussi la hauteur d'un arbre. Le tandem (Figure 9) combine boussole et clisimètre.



Figure 8. Clinomètre SUUNTO



Figure 9. Tandem Boussole-Suunto

Composés d'un tambour pendulaire central, le clinomètre permet une lecture simultanée en degrés et en grades, tandis que le clisimètre permet une lecture en pourcentage.

➤ **Cas du calcul de distances sur terrain en pente**

Lorsque la pente du terrain dépasse 5 % (ou environ 3°), la mesure des distances horizontales doit être effectuée avec le plus grand soin, car dans ce cas la mesure au sol dépasse toujours la mesure horizontale. Ceci est particulièrement important dans le cas de la délimitation de la longueur des parcelles et de la détermination de leur surface.

Si l'on doit mesurer une distance sur un terrain en pente, une perche ou un jalon sera particulièrement utile pour déterminer les distances horizontales. Procédez si possible en descendant la pente. Pour les mesures de pentes, il faut toujours effectuer la visée sur un même point de repère, situé à la même hauteur du sol que l'appareil de visée (jalon ou tête d'un autre opérateur), ceci afin de rester parallèle à la pente mesurée.

✓ **Option 1 : mesure directe horizontale**

Les chaîneurs doivent tenir horizontalement et bien tendu la corde, la bande, le ruban ou la chaîne d'arpentage au-dessus du sol. Lorsque l'instrument de mesure est correctement installé et bien tendu, le chaîneur détermine l'emplacement exact du piquet au moyen d'un fil à plomb.

✓ **Option 2 : mesure indirecte avec correction de pente**

Il est aussi possible de mesurer les distances au sol sur un terrain en pente. Dans ce cas, la pente devra systématiquement être notée entre les mesures successives et les mesures « au sol » devront être corrigées au moyen de formules mathématiques : la distance réelle horizontale est alors égale à la distance « au sol » multipliée par le cosinus de l'angle de la pente entre les jalons.

Applications pratiques

Ex 1 : si une mesure « au sol » est de 20 m sur un terrain de pente de 15°, la distance horizontale = $20 * \cos (15^\circ) = 18,79$ m

Ex 2 : si vous devez obtenir une mesure horizontale de 25 m en terrain de pente de 18°, il faudra une mesure « au sol » de : $25 / \cos 18 = 26,29$ m.

Ex 3 : Calcul des distances horizontales et correction de pente

- Mesurer la distance et l'angle entre 2 points remarquables du paysage (arbre, jalon, etc.)
- Déterminer les distances horizontales et « au sol ».

1.1.5 GPS

Le *Global Positioning System* ou Système de positionnement géographique est un appareil de géolocalisation qui précise la latitude, la longitude et l'altitude de l'endroit où l'on se trouve. Le GPS fonctionne avec des réseaux de satellites. Il existe actuellement au moins 24 satellites mobiles disposés régulièrement autour de la terre pour son fonctionnement. Il y a toujours plusieurs satellites visibles d'un point de la terre. Chaque satellite émet une onde radio lisible par un récepteur GPS. L'utilisateur oriente son GPS de façon à recevoir l'information radio du plus grand nombre possible de satellites. Le GPS traduit ces informations en données géographiques. Les unités sont exprimées en latitude & longitude (degrés et en minutes) ou en coordonnées UTM (en mètres).

Les satellites envoient des ondes que le GPS capte. Ces ondes passent à travers les nuages, un léger couvert végétal mais elles ne traversent pas les éléments solides. L'onde de chaque satellite contient les données de la position du satellite et le moment d'émission de l'onde. Le GPS connaît la vitesse des ondes et calcule le temps de déplacement de l'onde (du satellite à l'utilisateur) et calcule donc la distance satellite-utilisateur. Le calcul de cette distance avec plusieurs satellites permet de préciser la position exacte de l'utilisateur.

Trois (3) satellites sont nécessaires au calcul des coordonnées géographiques sur les 2 axes Nord-Sud et Est-Ouest. Quatre (4) satellites sont nécessaires au calcul de l'altitude.

La position calculée n'est jamais absolument exacte. Elle varie de 5 à 15 m, de 1 à 5 m pour les GPS plus précis. Le GPS indique quelle précision il obtient à chaque instant (EPE). La position est d'autant plus précise que le nombre de satellites disponibles est grand.

➤ **Outils de base du GPS**

Waypoints

Un Waypoint est un endroit précis de la terre enregistré dans le GPS. Créer un Waypoint revient à mettre dans la mémoire du GPS la position du point que l'on veut garder de manière à pouvoir la retrouver ou à en utiliser les références géographiques.

Fonction 'GO TO' ou « FIND »

Cette option permet de retrouver un waypoint mis en mémoire et de se diriger vers lui.

Le GPS connaît les positions exactes du waypoint et de l'utilisateur. Il indique la direction à prendre pour arriver au waypoint et la distance à effectuer (à vol d'oiseau).

➤ **Intégration des données GPS dans un SIG**

Les relevés GPS peuvent être intégrés dans le système d'informations géographiques (SIG) soit par saisie informatique manuelle, soit à l'aide d'un kit de téléchargement (câble, logiciel de transfert et module d'interface avec le SIG). Dans tous les cas, il est primordial de tenir compte des différents systèmes géodésiques (référentiel, ellipsoïde) et / ou projections cartographiques qui ne sont pas obligatoirement les mêmes sur les deux systèmes.

Application pratique

- Prise d'un point GPS par une équipe (point remarquable)
- échange des GPS entre équipes
- chaque équipe retrouve sur le terrain le point préenregistré

2 MESURE DES CARACTERISTIQUES STATIQUES DES ARBRES

2.1 Objectif de la dendrométrie

La dendrométrie a pour objectif d'estimer, le plus précisément possible, la taille, la forme, et le volume des arbres et des peuplements forestiers en vue d'une étude de la dynamique de ces arbres en peuplement (évolution dans le temps des tailles, forme et volume de populations d'arbres).

2.2 Conventions utilisées pour la mesure des arbres

Les principales parties qui composent un arbre sont (Figure 10) :

- 🌳 La tige : elle se définit comme la partie de l'arbre que l'on suit du pied au bourgeon terminal ou bourgeon le plus élevé.
- 🌳 Les branches : elles représentent la partie visible, autre que la tige, de l'arbre.
- 🌳 La souche : c'est le niveau inférieur de la partie de la tige extraite de forêt.
- 🌳 La base de la cime : c'est le niveau où la tige se ramifie nettement.
- 🌳 Le fût : c'est la partie de la tige située entre la souche et la base de la cime.
- 🌳 Les branches basses : ce sont les branches insérées sur le fût.
- 🌳 Le houppier : c'est la partie de la tige située au-dessus de la base de la cime en plus des branches insérées au-dessus de la base de la cime.
- 🌳 Le Diamètre à Hauteur de poitrine (DHP) : c'est le diamètre de l'arbre à 1,30 m du sol.

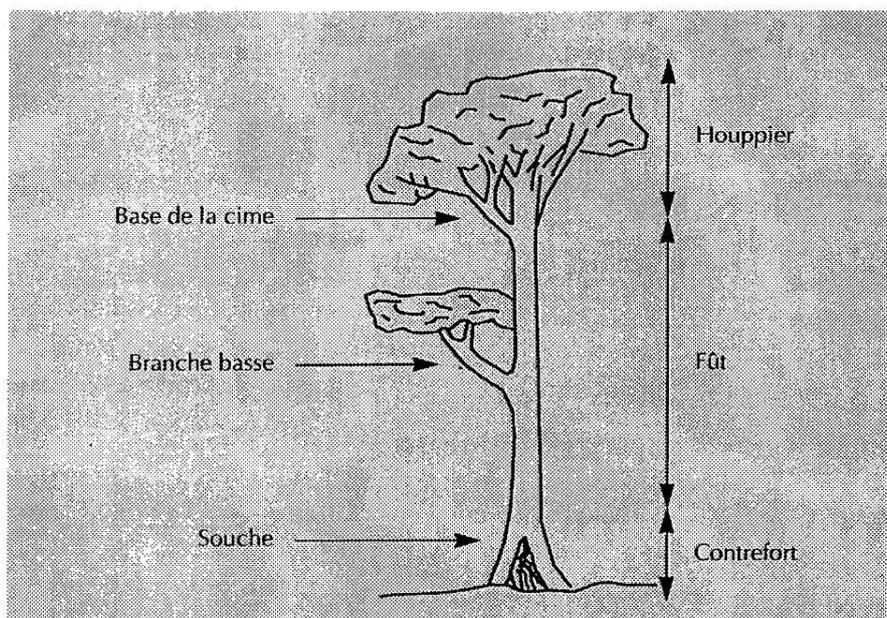


Figure 10. Principales parties d'un arbre

2.3 Grosseur des arbres : diamètre, circonférence et surface terrière

Projet de soutien à la préparation à la Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+)

Volet « Interprétation de données historiques et conception d'un système national de suivi des forêts et d'un niveau de référence des forêts dans le cadre de la REDD+ au Togo »

2.3.1 Mesure du diamètre et de la circonférence à 1,30 m

La référence en matière de grosseur d'arbres est la circonférence et le diamètre, tous deux pris à hauteur de poitrine (mesurés à 1,30m du sol). La circonférence d'un arbre est généralement exprimée au centimètre près. Le diamètre de l'arbre est relevé en centimètres et millimètres.

➤ Matériels de mesure du diamètre à 1,30 m

Pour mesurer le diamètre de référence d'un arbre, il est possible d'utiliser un compas forestier (a), une chevillière (b) ou un ruban (c) (Figure 11). Ces instruments comportent en général deux faces ; sur l'une apparaît une règle (en cm) et sur l'autre des classes de diamètres (compas compensé). Pour les arbres à contreforts, on peut également utiliser une planchette graduée tenue au-dessus des contreforts.

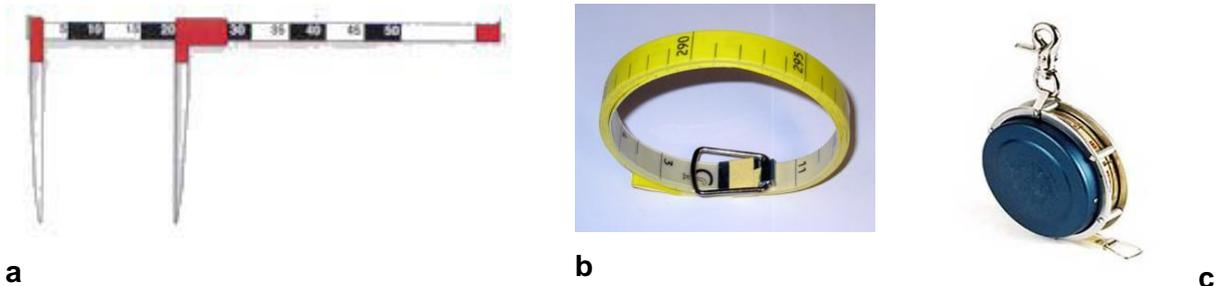


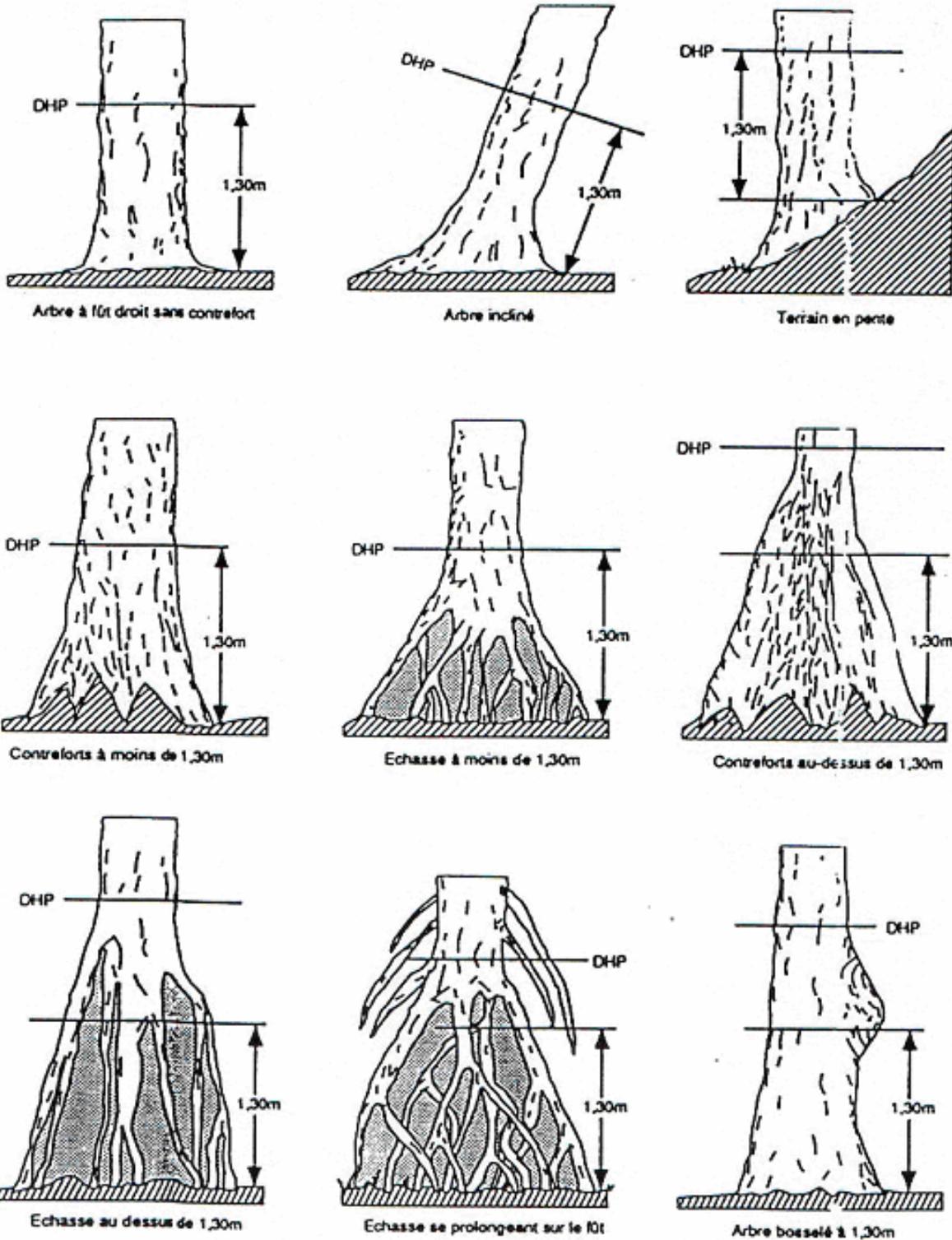
Figure 11. Matériels de mesure de la grosseur d'un arbre

La prise de diamètre demande un certain nombre de précautions à savoir :

- 🌳 le respect des conventions pour la mesure du diamètre de référence (Figure 12) ;
- 🌳 le positionnement correct du compas ou du ruban (bien au contact du tronc) ;
- 🌳 la mesure d'un diamètre au compas se fait en prenant deux mesures perpendiculaires, et en prenant ensuite la moyenne des deux mesures ainsi obtenues.

➤ conventions de mesure en fonction de la morphologie de l'arbre

La Figure 12 présente les conventions adoptées pour la mesure de diamètre d'arbres différents.



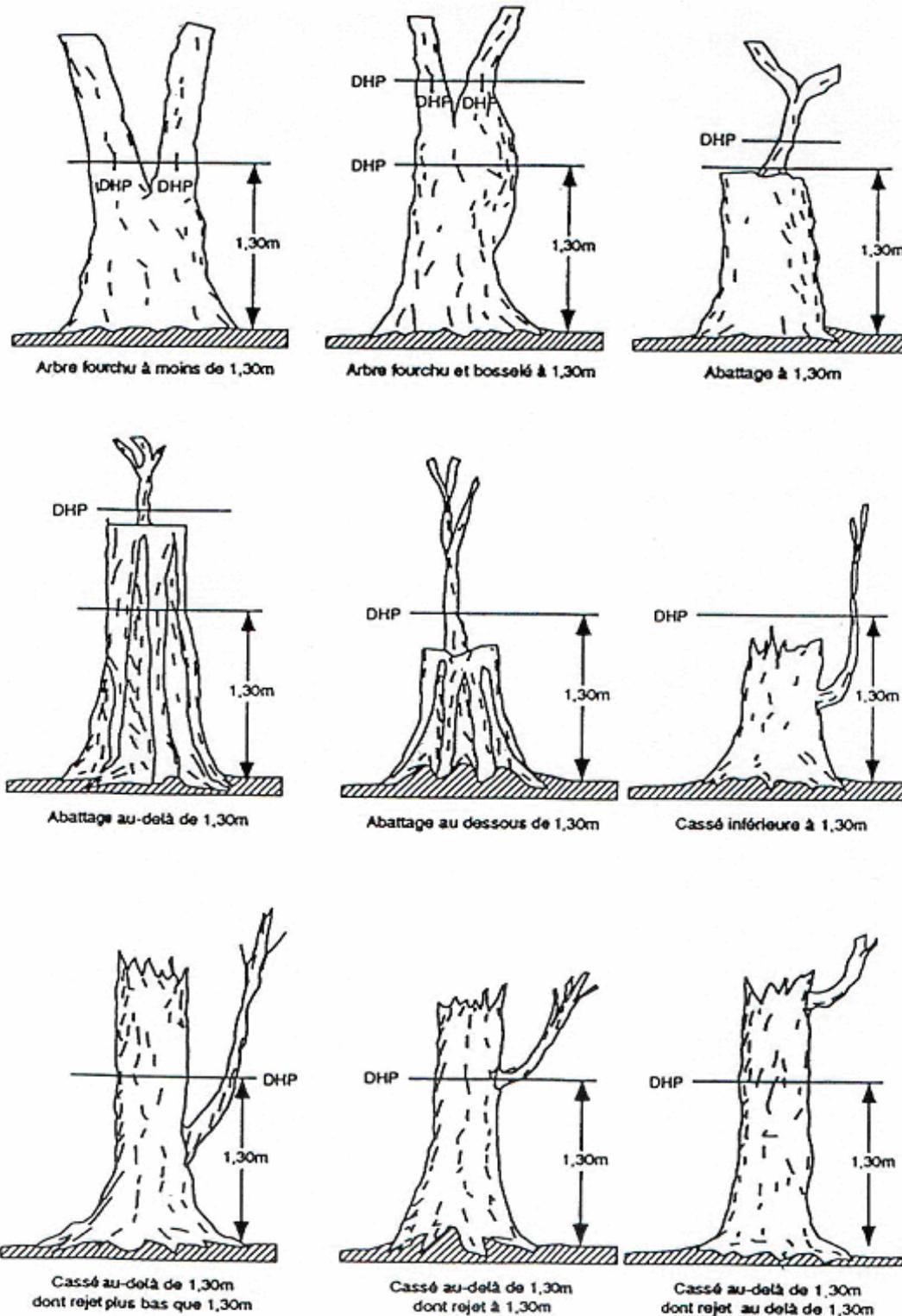


Figure 12. Définition de diamètre à hauteur de poitrine (DHP)

Application pratique

À l'aide des mètres ruban diamétrique et du compas, mesurer une quinzaine d'arbres aux configurations différentes et comparer les mesures obtenues avec les deux instruments

- les indications diamétriques sont-elles égales pour un même arbre ?
- si l'on passe de l'indication de circonférence au diamètre, obtient-on la même dimension ?

Projet de soutien à la préparation à la Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégénération des forêts (REDD+)

Volet « Interprétation de données historiques et conception d'un système national de suivi des forêts et d'un niveau de référence des forêts dans le cadre de la REDD+ au Togo »

2.3.2 Mesure du diamètre et de la circonférence à hauteur variable

Si la hauteur de mesure est différente de 1,30 m (par exemple dans le cas de la construction de tarifs de cubage), on utilise le « Relascope de Bitterlich » (Figure 13). Il s'agit d'un appareil optique qui permet de mesurer, entre autres, le diamètre d'un tronc, quelle que soit la hauteur de mesure.



Figure 13. Relascope de Bitterlich

Il en existe deux types à savoir :

- 🌳 Le Relascope de Bitterlich à bandes larges ;
- 🌳 Le Relascope de Bitterlich à bandes normales.

Le Relascope de Bitterlich à bandes larges comporte les graduations de 11 bandes larges de couleur blanche et noire alternée et 4 bandes étroites de couleur blanche et noire alternée, chaque bande étroite ayant une largeur égale au $\frac{1}{4}$ de la largeur d'une bande large (Figure 14). Sur chacune des 9 bandes centrales et au centre de celles-ci, est indiqué dans un cercle un chiffre pair compris entre 4 et 20. Sur ces 9 bandes larges sont indiqués, à partir du milieu de ces bandes et vers le haut, des points ronds correspondant à des mètres en hauteur.

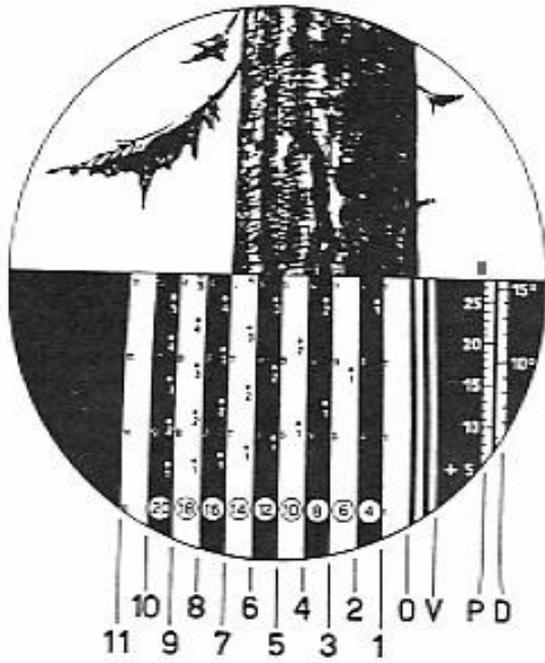


Figure 14. Relascope de Bitterlich à bande large

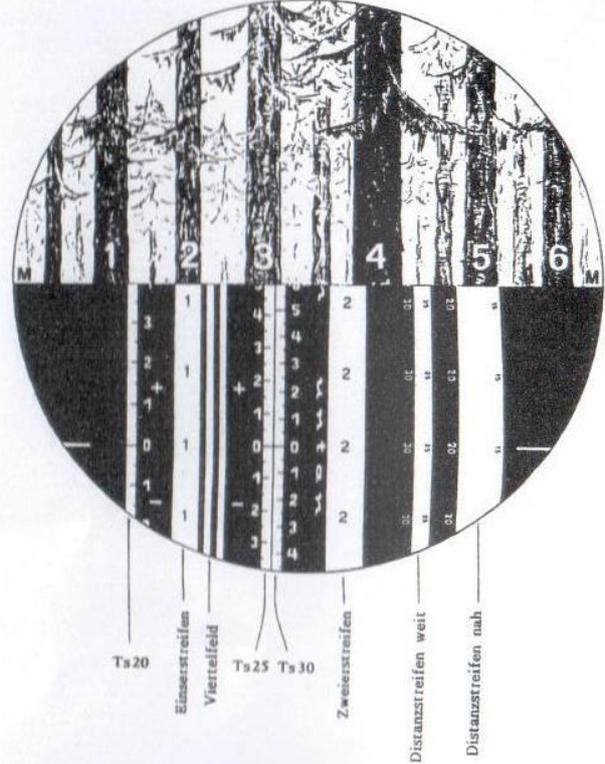


Figure 15. Relascope de Bitterlich à bande normale

Le Relascope de Bitterlich à bandes normales comporte les graduations suivantes (Figure 15) :

 TS20 : échelle de hauteurs (pour une distance de l'arbre de 20m) ;

Bande 1 : mesure des surfaces terrières (facteur de multiplication 1) et des diamètres ;

Bande quatre quarts de champs (4 x ¼) quater bandes étroites noires et blanches, d'une largeur totale égale à la bande 1, pour la mesure des surfaces terrières et des diamètres en association avec la bande 1.

 TS 25 : échelle de hauteurs (pour une distance de l'arbre de 25m) ;

 TS 30 : échelle de hauteurs (pour une distance de l'arbre de 30m) ;

Bande 2 : mesure des surfaces terrières (facteur de multiplication 2) et des diamètres ; c'est aussi la ligne inférieure (« unten ») pour la mesure des distances (voir) ;

Échelles pour la mesure des distances de l'opérateur à l'arbre : 25/30 et 15/20m.

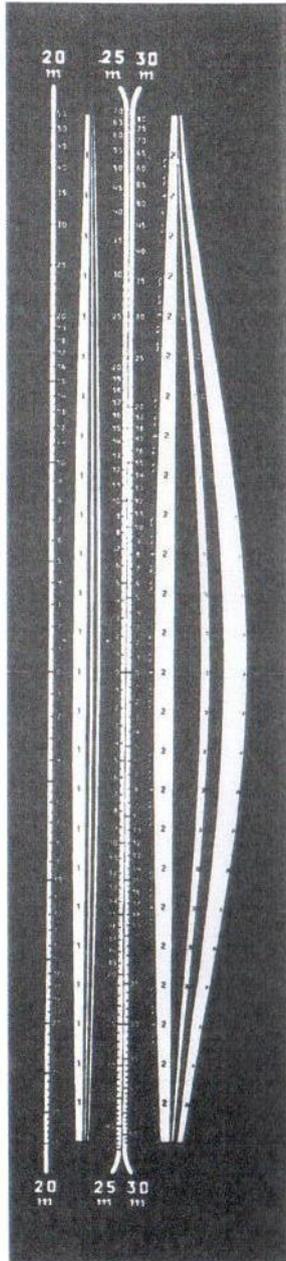


Figure 16. Vue d'ensemble des échelles du Relascope à bande normale

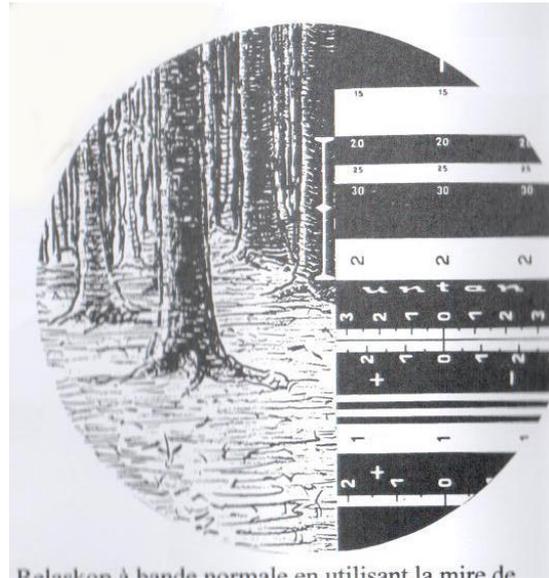


Figure 17. Visée avec le Relascope à bande normale sur une mire de 2m pour la mesure des distances horizontales

➤ **Instructions pour la mesure du diamètre à un point donné sur l'arbre ou à une hauteur donnée**

- 🌳 L'idéal est d'avoir un angle de visée le moins ouvert possible, le plus proche de 45° pour la visée la plus haute. La distance horizontale de l'opérateur à l'arbre doit être prédéterminée et peut se situer entre 4 m à 20 m, et doit être systématiquement paire ;
- 🌳 une fois la hauteur de mesure repérée (pendule à droite), le diamètre à cette hauteur est mesuré comme suit : l'observateur vise par l'œilleton du relascope.

Le champ de vision est circulaire et divisé en deux parties séparées par une ligne horizontale (dite ligne médiane). Dans la partie supérieure du champ, l'observateur voit sans déformation l'arbre. Dans la partie inférieure, les graduations du pendule sont visibles ;

 Une fois la ligne médiane calée sur la hauteur, l'observateur mesure le diamètre en relevant le nombre de bandes larges et de bandes étroites et en poussant la précision jusqu'à la demi bande étroite ;

 **Le passage des unités relascope aux valeurs réelles en diamètre se fait grâce à la relation :**

1 bande large en cm = 2 x distance horizontale en m

1 bande étroite en cm = 2 x distance horizontale en m x 1/4

Exemple : si l'on se trouve à 20m de distance d'un arbre, la bande 1 correspond à 40 cm de diamètre et une bande étroite, à 10 cm ; si la bande large (bande 1) et 2,5 bandes étroites sont couvertes par la mesure à cette distance, le diamètre de l'arbre est de : $40 + 2 \times 10 + \frac{1}{2} \times 10 = 65$ cm

Application pratique

Mesurer à l'aide du relascope de Bitterlich la hauteur d'arbres :

- à 1,30 m et comparer la mesure avec le ruban / pied à coulisse
- à 4 m et comparer avec la mesure à 1,30 m
- à la moitié de la hauteur du fût

2.3.3 Mesure de la surface terrière

La surface terrière d'un arbre est la surface de la section transversale de cet arbre au niveau du DHP. Elle est directement proportionnelle au diamètre d'un arbre et s'exprime en m².

À l'échelle d'un peuplement, elle s'exprime en m² rapporté à l'hectare (m²/ha). Cette valeur permet de suivre l'évolution du peuplement dans son ensemble et de comparer différents peuplements. La surface terrière d'un peuplement est égale à la somme des surfaces terrières des arbres qui le composent.

➤ **Mesure de la surface terrière à l'aide de la plaquette Bitterlich**

La plaquette de Bitterlich (Figure 18) est un relascope permettant d'obtenir rapidement la mesure de la surface terrière d'un peuplement à l'hectare (outil permettant d'estimer par méthode statistique la surface terrière d'une forêt). Elle est utilisée pour faire un inventaire forestier. On l'appelle aussi « mire » ou encore « jauge d'angle ». C'est une plaquette en laiton à l'extrémité d'une ficelle de longueur précise. Chaque arrête de la plaquette peut servir de

mire pour les visées. La mesure est faite à partir d'un point fixe et se fait sur une placette d'échantillonnage non délimitée (rayon variable de la placette). La méthode de mesure de la surface terrière à l'hectare avec la plaquette est la suivante (Figure 20) :

- a) Se placer dans un endroit quelconque dans la forêt ;
- b) Viser successivement, bras tendu et à hauteur d'homme, sous un angle constant (matérialisé par la plaquette) et horizontalement tous les arbres visibles qui entourent l'opérateur ;
- c) Compter tous les arbres qui dépassent, par leur diamètre l'angle horizontal que l'on mesure (on compte 1 par arbre "plus gros" que l'arrête de la plaquette et ½ pour les arbres tangents). On additionne au fur et à mesure de la rotation et le chiffre final est multiplié par un coefficient relatif à l'arrête choisie. Ce chiffre est alors la surface terrière en m²/ha.

Concernant le coefficient, ou facteur « k », on peut globalement retenir que :

- 🌳 le coefficient 4 doit être utilisé dans les galeries forestières riches ;
- 🌳 le coefficient 2 dans les galeries forestières plus pauvres ou les forêts denses sèches suffisamment riches ;
- 🌳 le coefficient 1 dans les forêts denses sèches et forêts claires ;
- 🌳 le coefficient ½ dans les savanes arbustives.

➤ **Mesure de la surface terrière à l'aide du Relascope Bitterlich**

Les bandes blanches du relascope permettent également de viser et compter les arbres qui s'inscrivent dans les bandes de facteurs 2, 3 et 4.



Figure 18. Plaquette de Bitterlich



Figure 19. Relascope de Hagglof

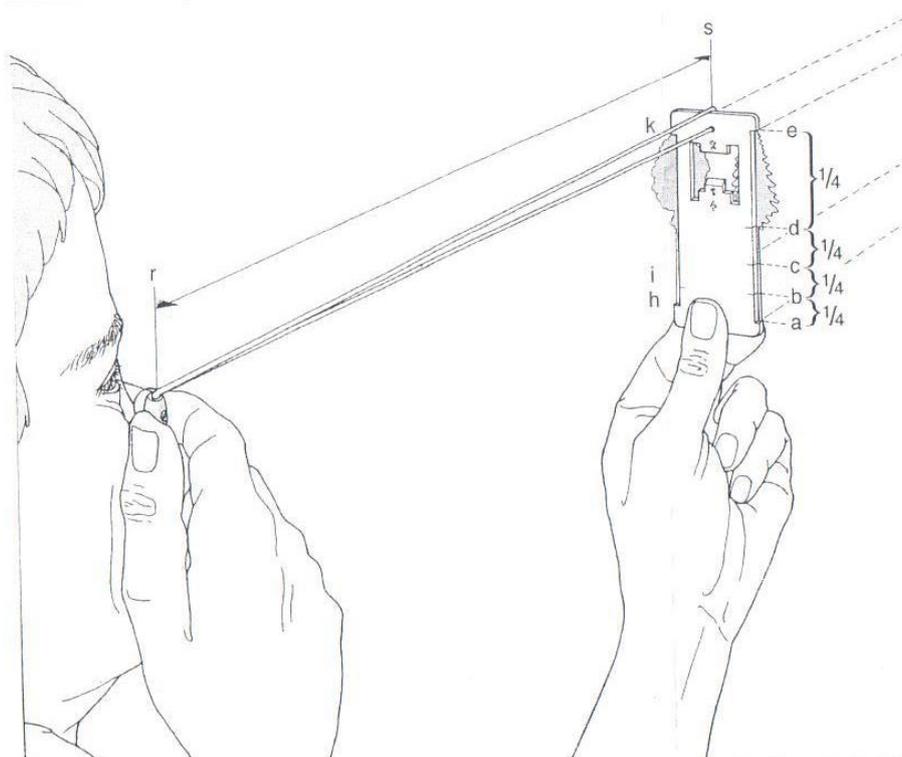


Figure 20. Visée à l'aide de la plaquette de Bitterlich

Application pratique

Exprimer la surface terrière de quelques arbres que l'on a mesurés

- à partir de la mesure du diamètre
- à partir de la mesure de la circonférence

2.4 Hauteur des arbres

2.4.1 Notion de hauteur

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

On distingue différents types de hauteurs :

- la hauteur totale qui correspond à la distance verticale séparant le niveau du sol du sommet de l'arbre (bourgeon terminal).
- la hauteur « bois fort » qui désigne la hauteur séparant le niveau du sol, du niveau de la tige correspondant à 7 cm de diamètre ou à 22 cm de circonférence.
- la hauteur « bois d'œuvre » qui prend en compte la 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 à une limitation fixée en grosseur de tige.

2.4.2 Méthodes et appareils de mesure de hauteurs

➤ **Principe de la méthode**

Le principe des appareils est soit géométrique, soit trigonométrique, comme illustré à la Figure 21.

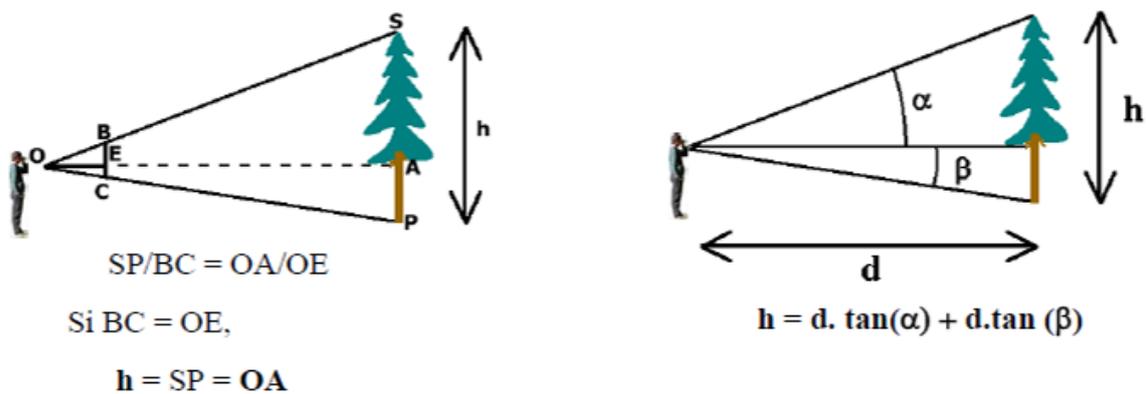


Figure 21. Principe des appareils de mesure de hauteur

➤ **Sans dendromètres**

Croix du bûcheron

La « croix du bûcheron », très simple à utiliser, constitue une application directe des relations existant entre triangles semblables (Figure 22). 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.

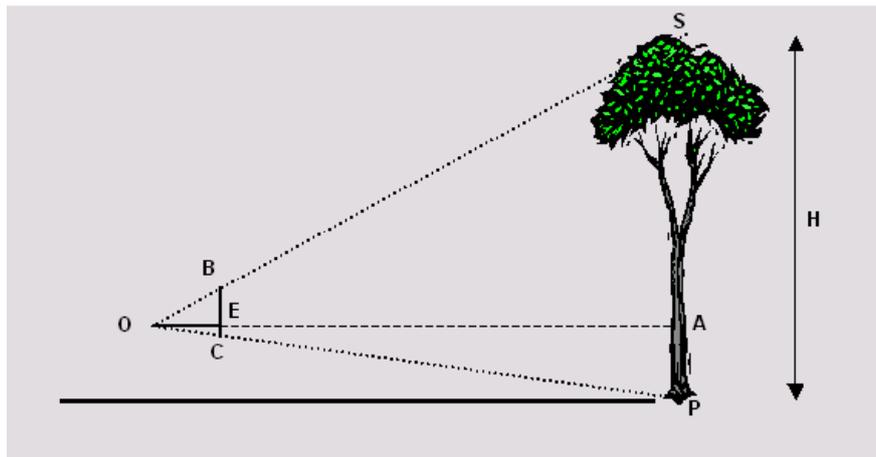


Figure 22. Principe de la croix du bûcheron

➤ **Avec dendromètres**

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. Le principe d'utilisation de ces dendromètres repose sur la mesure d'angles, comme indiqué à la Figure 23, à partir de laquelle on peut écrire la relation suivante :

$$H = L * (tg \alpha_1 + tg \alpha_2)$$

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

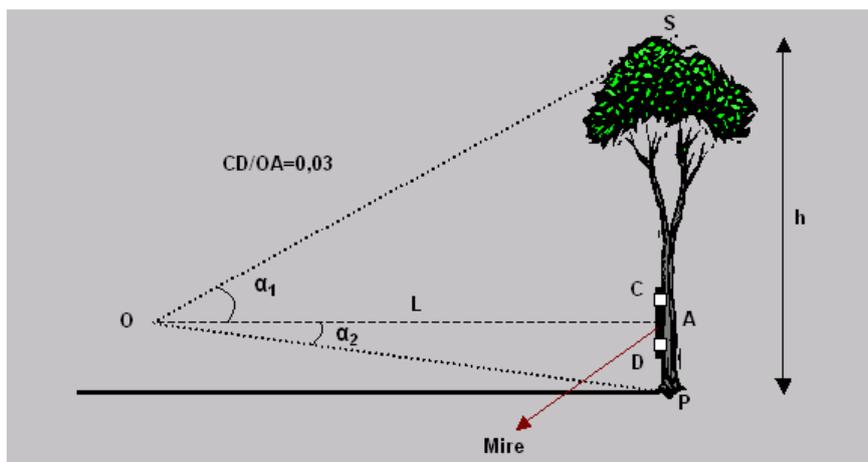


Figure 23. Principe de la mesure de hauteur au moyen d'un dendromètre trigonométrique

Plaquette Bitterlich

Projet de soutien à la préparation à la Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+)

Volet « Interprétation de données historiques et conception d'un système national de suivi des forêts et d'un niveau de référence des forêts dans le cadre de la REDD+ au Togo »



Principe : On vise le haut et le bas de l'arbre avec les encoches sur le bord gauche de l'appareil. Le trait gravé indique le 1/10^{ème} de la hauteur mesurée. On mesure cette hauteur et on multiplie par 10 pour avoir la hauteur

Dendromètre Suunto

Ce dendromètre (Figure 24) 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 sur certains modèles un œilleton de visée (viseur dioptrique) destiné à effectuer des mises à distance par l'intermédiaire d'une mire pliante. Dans le cas où il n'y a pas de prisme intégré, on mesure la distance requise à l'aide du ruban d'arpenteur.



Figure 24. Dendromètre Suunto

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.

Blum Leiss

Projet de soutien à la préparation à la Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+)

Volet « Interprétation de données historiques et conception d'un système national de suivi des forêts et d'un niveau de référence des forêts dans le cadre de la REDD+ au Togo »

Ce dendromètre (Figure 25) très pratique et très utilisé, se présente sous la forme d'un boîtier en quart de cercle comprenant un clisimètre muni d'une 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.



Figure 25. Dendromètre Blum Leiss (appareil de mesure et mire)

Altimètre Haga

L'altimètre Haga a une utilisation similaire au Blum Leiss. L'appareil comporte 5 échelles : les 4 premières indiquent les hauteurs pour les distances d'éloignement de 15, 20, 25 et 30 m. la dernière exprime la hauteur en pourcentage de la distance, ce qui permet à l'utilisateur de se placer à l'endroit le plus opportun pour la lecture de la hauteur et peut aussi servir à mesurer des angles de pente. Le télémètre est fourni avec une mire pour la mise à distance précise, par visée dans le prisme dioptrique présent sur l'appareil. La mire se règle pour obtenir la distance requise.

Clinomètre Suunto

La mesure des hauteurs d'arbres peut aussi se faire à l'aide du clinomètre, qui est l'instrument mesurant les pentes. En effet, nous avons vu que (Figure 23) $H = L * (\text{tg } \alpha_1 \pm \text{tg } \alpha_2)$. Avec des mesures d'angles en pourcentages, cela donne $H = L * (\text{pente OS } \pm \text{ pente OP})$.

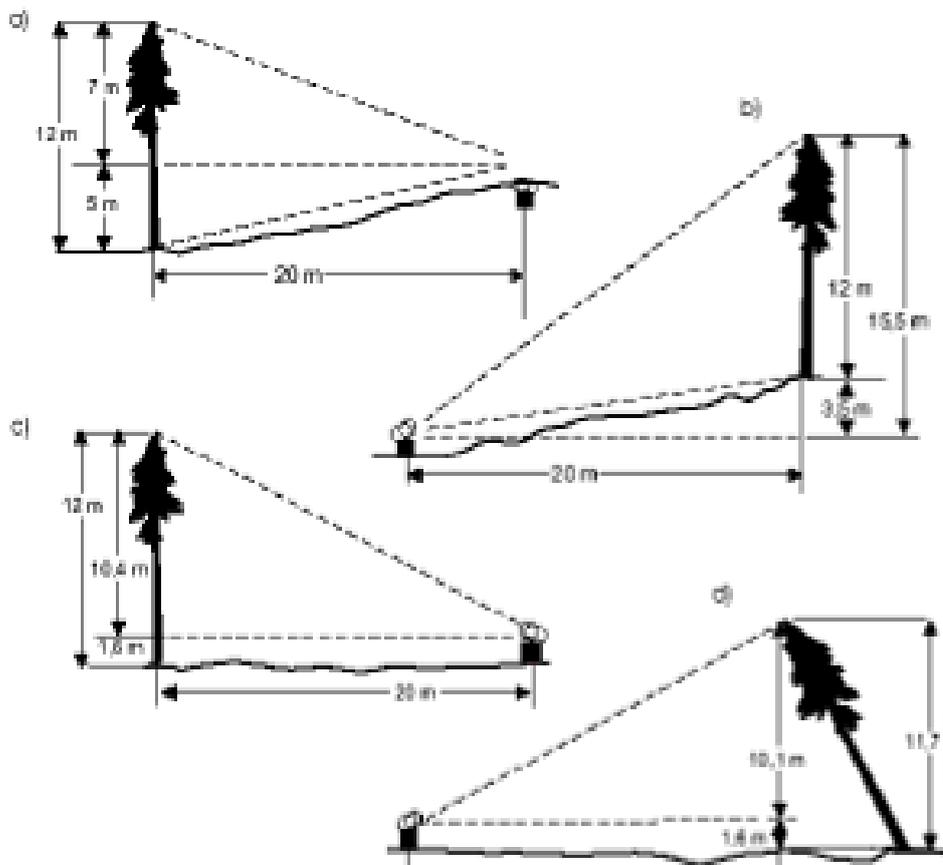
Il existe également des dendromètres à ultrasons (Vertex) / Laser.

2.4.3 Recommandations relatives à la mesure de hauteurs

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 :

- quel que soit le dendromètre utilisé, il convient de 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, il faut toujours 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, il faudra 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.



Application pratique

- Estimer la hauteur de plusieurs arbres à l'aide de la méthode de la croix du bûcheron
- Contrôler le résultat obtenu avec le clisimètre, le dendromètre Hago et le relascope de Bitterlich
- Vérifier si la mesure d'un arbre à différentes distances donne la même valeur

2.5 Forme des arbres

2.5.1 Forme théorique des arbres

La forme d'un arbre est un élément important intervenant dans le calcul de son volume. Les arbres sont couramment assimilés à des cylindres, or dans la réalité, ceci n'est pas exact. L'assimilation de la forme du tronc – ou à des parties successives du tronc - à des volumes géométriques plus complexes (paraboloïde, néloïde, cône) est couramment faite pour s'approcher au mieux de la réalité. Il est donc presque impossible de mesurer le volume d'un arbre, ou même d'un tronc, avec une parfaite exactitude. Pour améliorer le système de la description par les solides, des coefficients de forme et de décroissance ont été développés. Les coefficients mentionnés indiquent la relation entre le volume réel d'un arbre et le volume d'un cylindre. Le désavantage de ces facteurs se situe dans le fait que le volume des branches n'est pas pris en considération. En plus, la détermination des coefficients de forme n'est pas toujours facile, surtout pour des études exigeantes sur le plan de l'exactitude.

2.5.2 Expressions de la forme des arbres

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

- le coefficient de décroissance (k) : ce coefficient exprime le rapport entre le diamètre à mi-hauteur de la tige et le diamètre à hauteur d'homme. $k = d_{0.5h} / d_{1.30}$. La valeur de ce coefficient varie selon la classe de diamètre, l'essence, la station, etc.
- le coefficient de réduction (r) : c'est le rapport entre (1) la différence entre diamètre à hauteur d'homme et diamètre à mi-hauteur de la tige et (2) le diamètre à hauteur d'homme. $r = [d_{1.30} - d_{0.5h}] / d_{1.30}$ et $r = 1 - k$.
- le défilement ou décroissance métrique moyenne (dmm) : exprime la différence – en cm par mètre de tige courant - entre le diamètre à mi-hauteur d'une tige et son diamètre à hauteur d'homme. $dmm = [d_{1.30} - d_{0.5h}] / [0.5h - h_{1.30}]$ (où h = hauteur de la découpe supérieur fût, depuis la culée et où $h_{1.30}$ est la hauteur entre la culée et le niveau 1,30 m)
- le coefficient de forme (f) : il correspond au rapport du volume réel de l'arbre au volume d'un cylindre ayant comme base la surface de la section à 1,30 m et comme longueur, la hauteur h de l'arbre (à la découpe considérée). $f = v / g_{1.3} * h$. Dès lors, plus la forme de la grume est proche d'un cylindre, plus le coefficient de forme est proche de 1.

Application pratique :

Déterminer les coefficients de forme de 4 arbres

2.6 Volume des arbres

Il faudra toujours avoir à l'esprit que les volumes obtenus ne sont qu'approximatifs et dépendent à la fois de la méthode d'évaluation et de la précision des mesures.

2.6.1 Cubage estimatif des bois sur pied

- Calcul du volume par assimilation de la tige à un cylindre de diamètre médian, situé à mi-hauteur

Le volume estimé d'un arbre sur pied peut être donné par l'application de la formule de HUBER qui assimile en fait la tige à un cylindre de diamètre médian, situé à mi-hauteur.

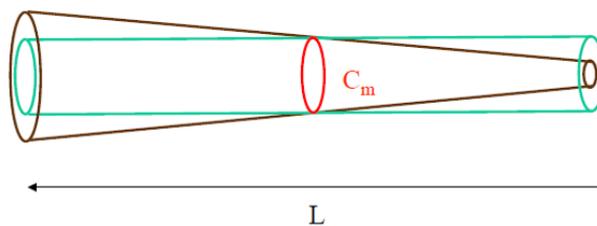


Figure 26. Cubage par la méthode de Huber

$$\rightarrow \text{Volume} = \pi * C_m^2 / 4 * L$$

Le diamètre médian peut être estimé de différentes manières, et notamment : à l'aide du relascope de BITTERLICH (ou encore par l'intermédiaire de la connaissance d'un paramètre de forme de l'arbre).

- **Détermination du volume par l'intermédiaire des caractéristiques de forme**

La connaissance du coefficient de forme permet, à partir de la grosseur à hauteur d'homme, de calculer directement le volume.

$$\rightarrow V = \pi * D^2 / 4 * H * F$$

- **Détermination du volume par le coefficient de décroissance**

Il s'agit d'estimer la grosseur à mi-hauteur de l'arbre (diamètre médian), connaissant k son coefficient de décroissance. L'inconvénient de cette méthode est que l'appréciation de f est assez difficile pour les non expérimentés.

$$\rightarrow V = \pi / 4 * k^2 * d1.3^2 * H$$

Le principal inconvénient du fait d'appliquer le même k à tous les arbres d'une même coupe est que l'on ne tient pas compte des hauteurs : il faudrait alors utiliser des k différents selon les diverses catégories de hauteurs.

2.6.2 Cubage commercial des bois abattus

Le cubage commercial des arbres en grumes consiste en l'estimation du volume sur ou sous écorce, sur ou sous aubier. Pour calculer le volume des arbres abattus, on passe par un cubage global (toute la grume ou bille), ou par la méthode des billons successifs. Dans ce dernier cas, on décompose fictivement la grume en une suite de billons. Chacun des billons est cubé ; le cumul de ces cubes donne le volume de la grume. Il s'obtient généralement par l'application du volume de Huber (voir ci-dessus) ou par la formule de Smalian (volume d'un cylindre dont le diamètre est la moyenne des deux extrémités)

$$\rightarrow \text{Volume} = \pi / 8 (d_1^2 + d_2^2) \times h$$

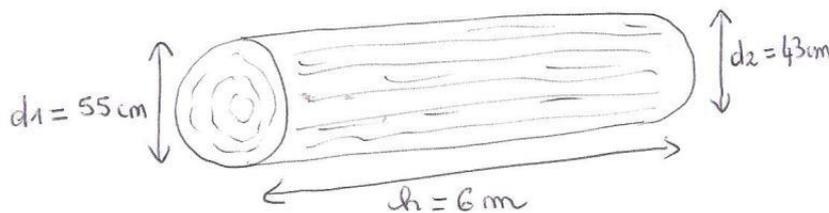


Figure 27. Cubage par la méthode de Smalian

Remarque : la longueur d'une pièce de bois est la plus petite distance qui sépare les sections extrêmes. Elle se mesure sur la surface de la pièce, à l'aide d'un mètre à pointes ou d'un ruban. Lorsque l'on se trouve en présence de culées ayant des entailles d'abattages ou de parage exagérément appointies, la longueur a alors pour point de départ la moitié de cette partie appointie. La longueur se note généralement en mètre et décimètres couverts.

2.7 Erreurs et précision associées à la prise de mesure

On note 2 types d'erreurs à savoir :

- les erreurs relatives à la configuration des arbres mesurés (ex : Figure 28) ;
- les erreurs liées à l'opérateur.

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 de l'appareil.

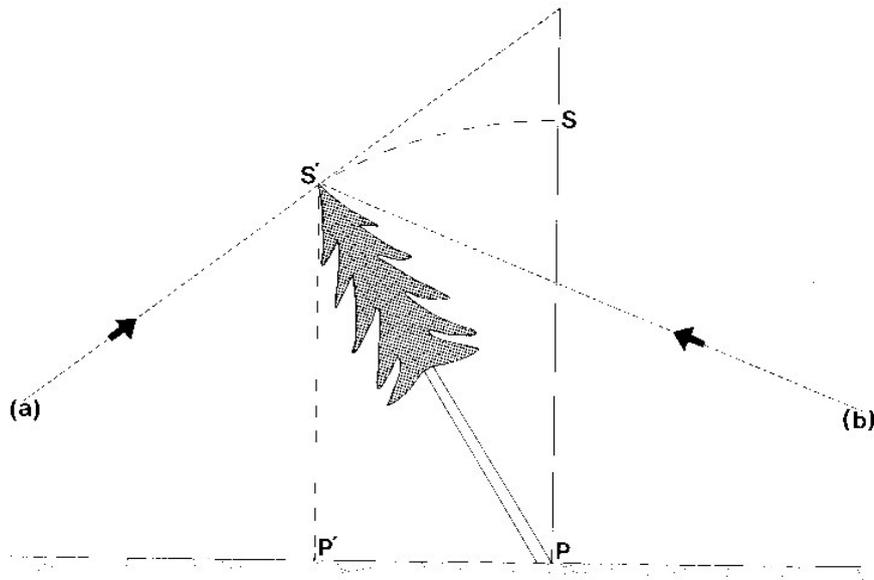


Figure 28. Mesure de hauteur dans le cas d'arbres penchés vers l'opérateur (a) ou dans la direction opposée à celui-ci (b).

3 EVALUATION DES RESSOURCES FORESTIERES LIGNEUSES DES PEUPLEMENTS : L'INVENTAIRE FORESTIER

3.1 Définitions

3.1.1 Objectif de l'inventaire

L'inventaire forestier a pour objectif de renforcer, de manière précise, la connaissance du terrain, et particulièrement de fournir des données chiffrées sur les potentialités sylvicoles de la forêt aménagée/à aménager (essences exploitables, volumes présents, répartition de la ressource, qualité des arbres matures, présence de régénération, etc.).

Un inventaire doit donc fournir des informations sur les arbres de grande dimension exploitables, mais également sur les petits arbres et même la régénération naturelle. Ces informations permettent, non seulement de décrire l'état actuel des boisements, mais également de prévoir certaines évolutions de la forêt, prévisions indispensables pour un aménagement forestier à long terme (gestion forestière durable). Les données obtenues permettent de définir les essences exploitables et les essences à protéger, de déterminer des diamètres de coupe adéquats et de prévoir la quantité de bois exploitable par essence. Le développement d'un concept optimal d'un inventaire forestier doit prendre en considération une série d'aspects :

- 🌳 les objectifs de l'inventaire ;
- 🌳 la surface totale, la répartition des forêts et les différentes formations forestières à inventorier
- 🌳 la configuration du terrain (topographie);
- 🌳 les infrastructures permettant l'accès et la circulation;
- 🌳 les données d'inventaires forestiers récents disponibles;
- 🌳 le temps disponible.

3.1.2 Types d'inventaires et principes d'échantillonnage

On distingue 2 types d'inventaire que sont :

- 🌳 l'inventaire complet au cours duquel tous les arbres sont mesurés ;
- 🌳 l'inventaire par échantillonnage au cours duquel l'on mesure seulement un échantillon d'arbres représentatif (méthode statistique).

Le choix entre inventaire complet ou par échantillonnage se fait en fonction des objectifs, des surfaces à inventorier, du type de peuplement, du temps disponible, etc.

Les principaux types d'inventaires par échantillonnage sont :

- 🌳 échantillonnage simple systématique ;

- 🌲 échantillonnage stratifié ;
- 🌲 échantillonnage par phases ;
- 🌲 échantillonnage par grappe.

Les données d'un inventaire par échantillonnage (typiquement, les inventaires d'aménagement) doivent toujours être accompagnées d'une erreur statistique (E%). Pour tout volume V calculé pour une surface donnée, il faudra considérer que le volume disponible a une certaine probabilité d'être compris entre « V - E% » et « V + E% » (Figure 29).

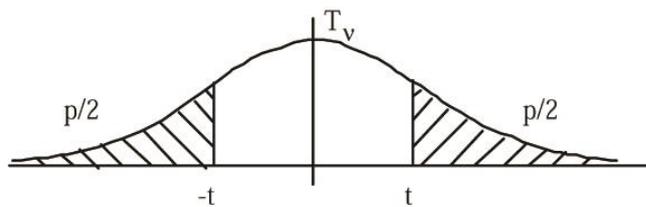


Figure 29. Intervalle de confiance de la prédiction du volume disponible

Dans la pratique des inventaires forestiers, les deux (2) principes d'échantillonnage suivants ont fait leur preuve:

- 🌲 la sélection des arbres échantillons avec une probabilité proportionnelle à leur fréquence, plus communément connue sous le terme d'échantillonnage au moyen de placettes à surface définie (placettes fixes) ;
- 🌲 la sélection des arbres échantillons avec une probabilité proportionnelle à leur surface terrière, souvent référée comme échantillonnage au moyen des placettes à surface non définie (comptages angulaires).

Les deux (2) principes d'échantillonnage sont parfois perçus comme fondamentalement différents, voire inconciliables, alors qu'en fait, il s'agit, dans l'une et l'autre instance, de cas particuliers, complémentaires, d'un principe d'échantillonnage plus général et unique. Il suffit d'abandonner la perception de l'échantillonnage comme étant fait à partir du point échantillon en faveur du concept des aires d'influence associées aux arbres, dont la surface est proportionnelle à une caractéristique de l'arbre. Sous cet angle de vue, un arbre fait partie de l'échantillon si le point échantillon est compris dans son aire d'influence. L'échantillonnage au moyen de placettes à surface définie (placettes fixes) revient à l'adoption d'une aire d'influence fixe, ne dépendant pas des caractéristiques de l'arbre (Figure 30). L'échantillonnage au moyen de placettes à surface non définie (comptages angulaires), par contre, adopte des aires d'influence proportionnelles à la surface terrière de l'arbre (Figure 31). La Figure 32 illustre ces principes en montrant les aires d'influences en fonction du diamètre des arbres pour une

placette fixe de 1.000 m² de superficie (S) et des comptages angulaires avec des facteurs de surface terrière (k) de 1 m²/ha, 4 m²/ha et 9 m²/ha.

L'efficacité statistique d'un dispositif d'échantillonnage dépend des effets combinés de deux sources de variation, à savoir :

- la variation d'un arbre à l'autre du quotient d'une caractéristique spécifique de l'arbre à son aire d'influence (variation inter-arbres) ;
- la variation d'une unité d'échantillonnage à l'autre de la somme de ces quotients (variation inter-échantillons).

La variation inter-arbres peut être maîtrisée par le choix du principe d'échantillonnage. Ainsi, les placettes à surface définie (placettes fixes) sont les plus efficaces pour l'estimation du nombre de tiges à l'hectare, étant donné que la variation inter-arbres du quotient de la fréquence de l'arbre (= 1) sur son aire d'influence est nulle. Par contre, des placettes à surface non définie (comptages angulaires) sont les plus efficaces pour l'estimation de la surface terrière à l'hectare, vu que dans ce cas, la variation inter-arbres du quotient de la surface terrière de l'arbre sur son aire d'influence (proportionnelle à sa surface terrière) est nulle. Ces échantillons gardent d'ailleurs une bonne efficacité pour l'estimation d'autres paramètres (tel que le volume à l'hectare, etc.) qui sont plus ou moins étroitement corrélés à la surface terrière.

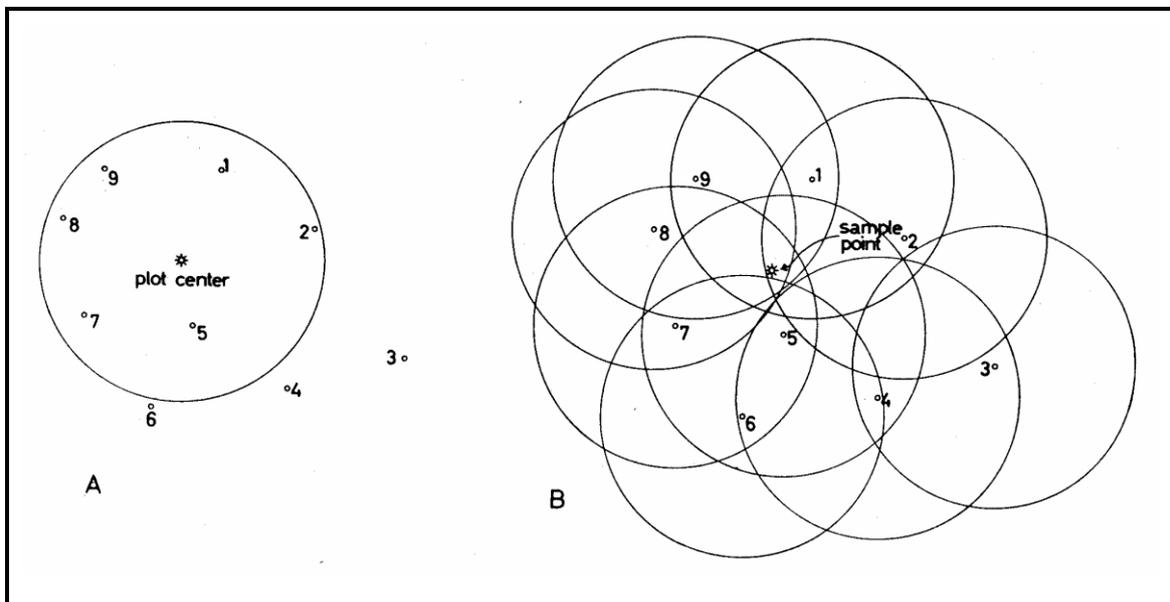


Figure 30. Échantillonnage au moyen de placettes à surface définie (placettes fixes)

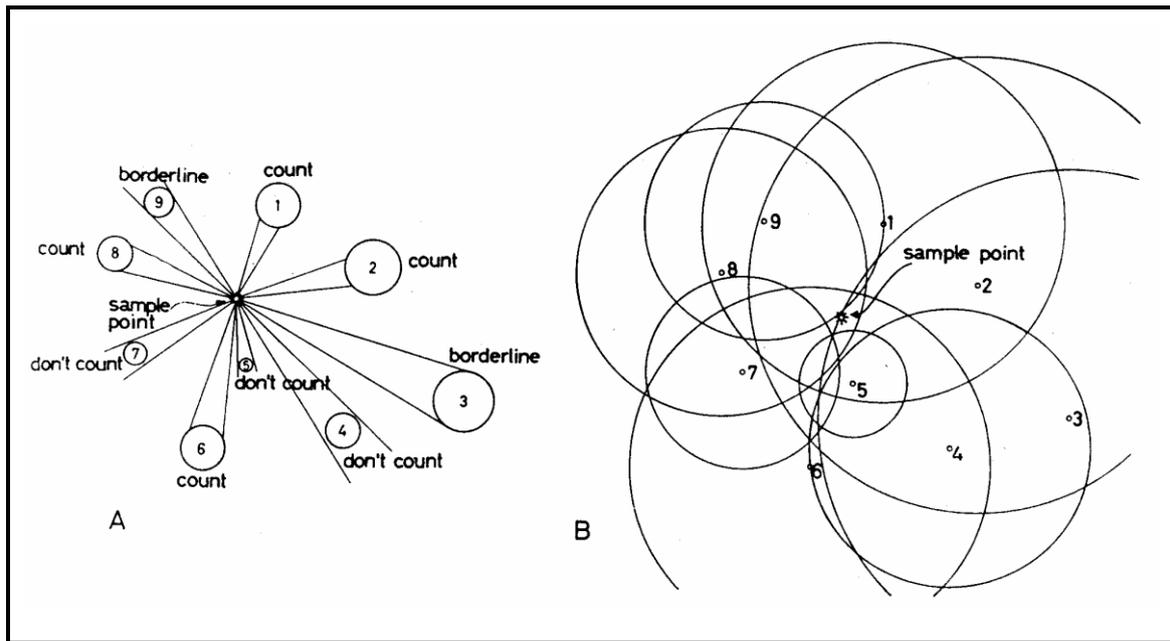


Figure 31. Échantillonnage au moyen de placettes à surface non définie (comptages angulaires)

L'échantillonnage au moyen de placettes à surface non définie exige cependant un travail particulièrement soigné par un personnel parfaitement averti et constamment conscient des particularités de cet échantillonnage. Le relascope à miroir de BITTERLICH et les prismes optiques permettent d'expédier le travail de sélection des arbres faisant partie des échantillons. L'utilisation de ces instruments abrite cependant le danger d'un traitement moins rigoureux des « arbres limites ».

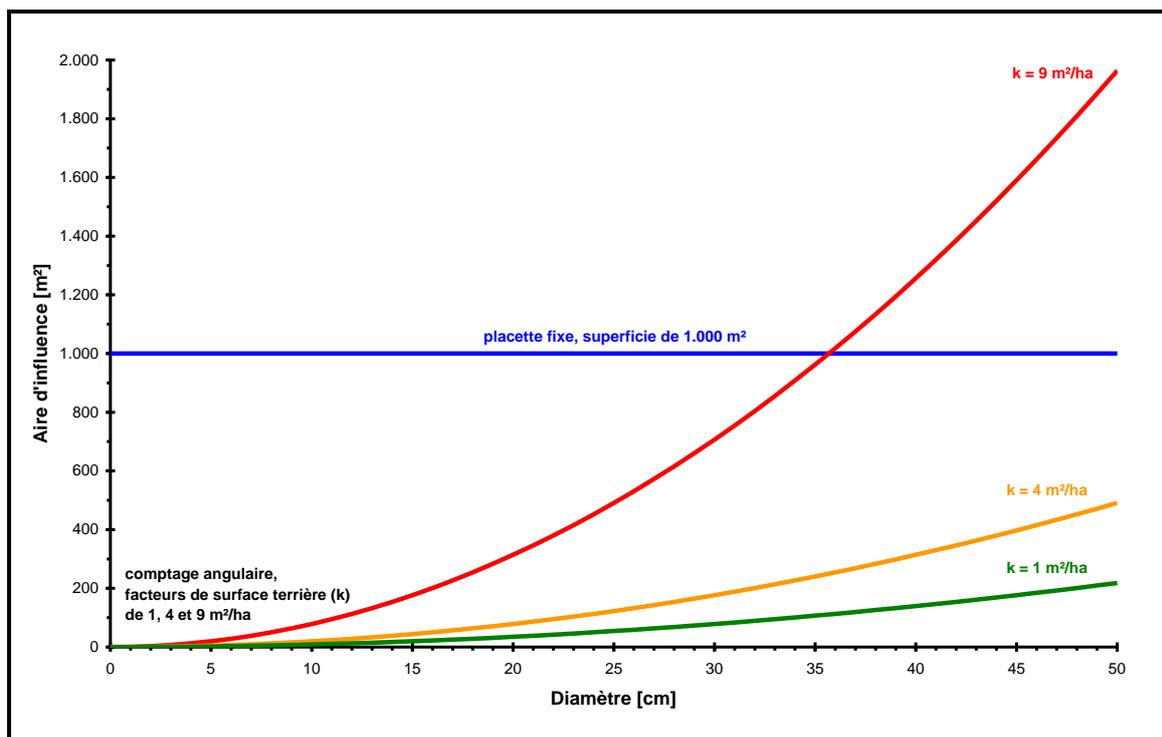


Figure 32. Aires d'influence (placettes fixes vs. comptage angulaire)

Afin d'éviter ces risques d'erreurs (humaines), un inventaire peut tirer les avantages d'une sélection des arbres échantillons avec une probabilité proportionnelle à leur taille sans avoir recours aux comptages angulaires en adoptant des placettes à surface définie de taille échelonnée en fonction de la grosseur des arbres à échantillonner : placettes de taille réduite pour l'échantillonnage des arbres de petites dimensions, placettes de taille plus importante pour l'échantillonnage des arbres de dimensions plus importantes. Au lieu d'augmenter progressivement en fonction de la taille de l'arbre (cas des comptages angulaires), l'aire d'influence évolue en "marches d'escalier" (Figure 33).

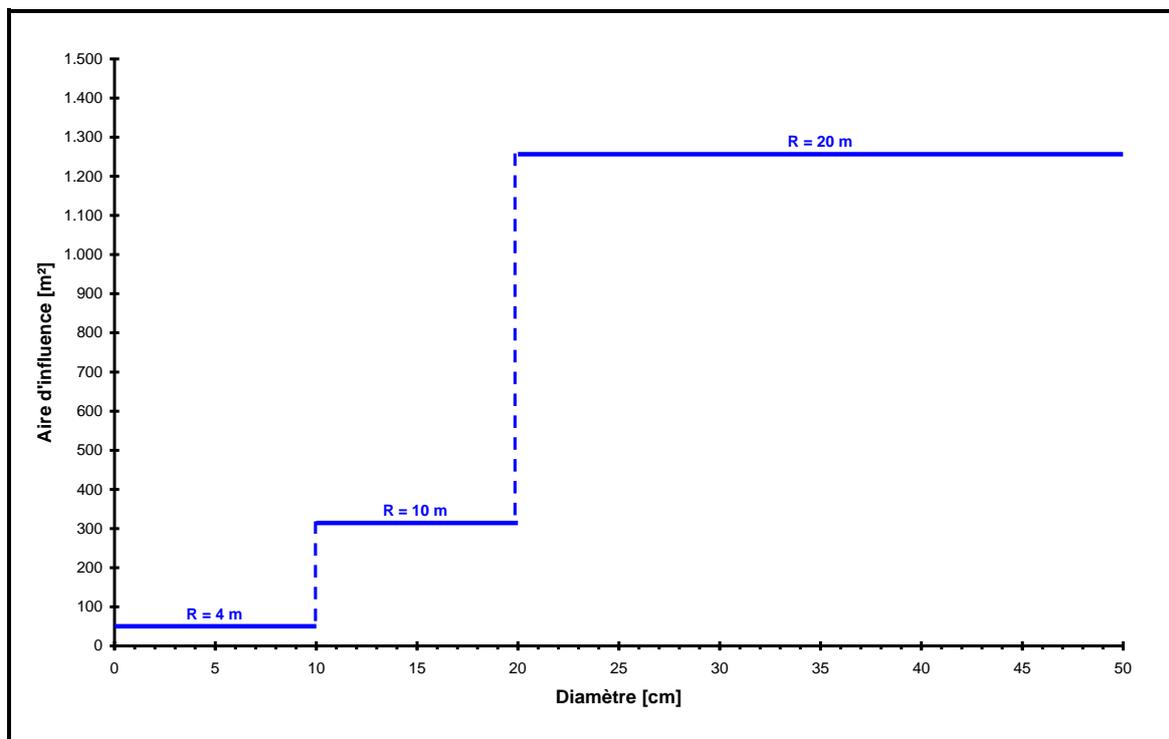


Figure 33. Aires d'influence (placettes à surface définie de taille échelonnée)

3.1.3 Nombre d'unités d'échantillonnage, taux de sondage et erreur d'échantillonnage

Le nombre d'unités d'échantillonnage se calcule comme suit :

$$N = \left(\frac{CV\%}{e\%} * t \right)^2$$

Où :

- 🌳 N correspond au nombre d'unités d'échantillonnage à mesurer ;
- 🌳 CV% représente le coefficient de la variation de la variable considérée pour le calcul ;
- 🌳 e% est l'erreur-type demandée / voulue sur la variable considérée, soit 10 % ;
- 🌳 t est la valeur de la variable t de Student, qui vaut 2 pour un seuil de probabilité de 95 % (t 0,975 = 1,96).

Selon les lois statistiques, doubler la précision (c'est-à-dire passer d'une erreur d'échantillonnage de $\pm 10\%$ à $\pm 5\%$) exige non pas de doubler, mais bien de quadrupler le nombre d'unités d'échantillonnage. Le taux de sondage est le rapport entre la superficie inventoriée (somme des unités d'échantillonnage) par la superficie totale de la zone à inventorier. Il s'exprime en pourcents (%).

3.1.4 Forme des unités d'échantillonnage

La forme des unités d'échantillonnage peut être circulaire, carrée, rectangulaire. Leur taille peut également être très variable d'un inventaire à l'autre.

Chaque forme de placette a ses avantages et ses inconvénients, qui sont de l'ordre de :

-  la facilité de repérage sur le terrain ;
-  l'efficacité des travaux ;
-  l'effet de bordure plus ou moins important.

3.1.5 Repérage des unités d'échantillonnage sur le terrain

Le repérage des unités d'échantillonnage sur le terrain peut se faire soit par un GPS, soit par la boussole.

➤ Repérage par GPS

Via le « GO TO » et la « Boussole » du récepteur GARMIN GPS, on rejoint les points préenregistrés des centres des placettes échantillons. Il est important que les centres des unités d'échantillonnage soient arrêtés d'une façon objective. On convient généralement que le centre d'une unité d'échantillonnage est fixé exactement à l'endroit où, pour une première fois, les coordonnées indiquées par le GPS correspondent aux coordonnées recherchées.

➤ Repérage par boussole et calcul de distance

On peut rejoindre le centre des placettes à l'aide de la boussole et d'instruments de mesures de distance.

3.2 Etudes de recollement

3.2.1 Relation entre effectif inventorié et volume commercialisable

Le volume brut exploitable (par essence et par classe de diamètre) est calculé à partir de l'effectif exploitable à l'aide d'une équation appelée « **tarif de cubage** ». L'étude de recollement a pour objectif de calculer les coefficients d'exploitation et de commercialisation, afin de connaître la part de ce volume qui sera effectivement commercialisable par l'entreprise.

Projet de soutien à la préparation à la Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+)

Les volumes commercialisables sont évalués après application des coefficients d'exploitation et de commercialisation qui prennent respectivement en compte :

- 🌳 la quantité de bois non exploitable car jugée de qualité insatisfaisante. Ce pourcentage de pieds refusés varie selon l'essence, la stratégie d'exploitation de l'entreprise, ses unités de transformation, les coûts de transport et les critères du marché à un moment donné.
- 🌳 le volume de bois abattu qui ne sera pas commercialisé, car de mauvaise qualité, endommagé et perdu lors de l'abattage, du débardage, du tronçonnage et du roulage.

3.2.2 Coefficient d'exploitation

Le coefficient d'exploitation est le pourcentage de pieds exploitables pour une essence donnée dans un contexte donné. L'application du coefficient d'exploitation aux effectifs bruts issus des données de l'inventaire d'aménagement fournit donc les effectifs exploitables par essence.

3.2.3 Le coefficient de commercialisation

A chaque étape de l'exploitation, les fûts abattus sont tronçonnés, entraînant des pertes de bois. Le suivi du fût de la forêt jusqu'à sa commercialisation ou sa transformation permet également d'estimer par essence ou groupe d'essence, la part qui sera effectivement commercialisée, et donc d'estimer les coefficients de commercialisation.

En pratique, le coefficient de commercialisation donne la part du volume commercialisé toutes classes de qualité exploitables confondues.

Application pratique

Préciser comment établir les coefficients d'exploitation et de commercialisation pour une essence, et quel matériel dendrométrique est nécessaire pour cela.

La Figure 34 présente en résumé les étapes permettant de passer des effectifs bruts après inventaires aux volumes commercialisables.

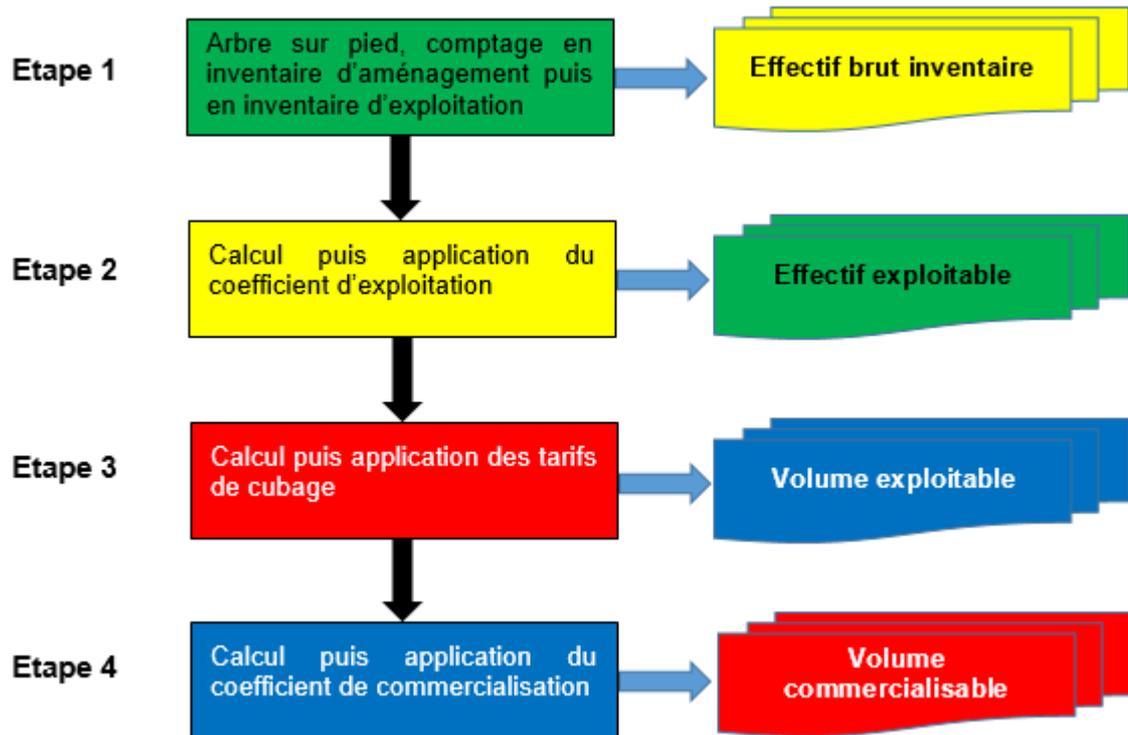


Figure 34. Etapes d'évaluation du volume commercialisable

3.3 Notion sur l'élaboration des tarifs de cubage

3.3.1 Principe des tarifs de cubage

Un tarif de cubage est un tableau chiffré, une formule ou un graphique, qui donne une estimation du volume d'un arbre (tarif individuel) ou d'un ensemble d'arbres en fonction de diverses variables, appelées « entrées » du tarif. Généralement, on cherche à obtenir une estimation du volume d'un arbre en fonction de son diamètre mesuré à 1,30 m ou au-dessus des contreforts (tarif à une entrée).

Les tarifs utilisés pour l'aménagement des forêts naturelles de production sont des tarifs individuels à une entrée. Pour déterminer le volume brut d'un arbre, conventionnellement compris entre le diamètre de référence de l'arbre et le départ de la première grosse branche (le fût), on utilise la seule variable mesurée sur le terrain que constitue le diamètre de référence. Les tarifs à double entrée sont préférables car en faisant intervenir la hauteur et le diamètre des arbres, ils permettent d'atteindre une meilleure précision. Cependant, les mesures de hauteurs sont difficilement envisageables dans le cadre de l'inventaire d'aménagement en forêt tropicale humide.

Les entrées du tarif doivent être simples et peu nombreuses pour que le tarif soit utilisable. En plus elles doivent être bien corrélées avec la valeur à expliquer. Pour obtenir un tarif valable, le nombre d'arbres à mesurer doit être bien étudié (p ex en fonction de la zone pour laquelle le tarif doit être valable). Les tarifs sont propres à une essence ou à un groupe d'essences.

3.3.2 Construction de tarifs de cubage

Les tarifs de cubage sont de deux types :

exponentiels : $V = a + bD^c$

polynomiaux : $V = a + bD + cD^2$

Idéalement, les tarifs de cubage applicables à une forêt sont issus d'études dendrométriques de terrain dont les résultats doivent être soumis à l'administration forestière. Les travaux de terrain sont généralement réalisés par des équipes qui mesurent le volume brut de centaines, voire de milliers d'arbres, suivant deux méthodes :

 **Les travaux de récolement** : Lors des travaux de récolement, les fûts des arbres étudiés ont été systématiquement cubés, ce qui permet de récupérer ces informations pour l'élaboration des tarifs de cubage.

 Le cubage des bois sur pied : le cubage est réalisé à l'aide d'un « Relascope de Bitterlich ». Le principe consiste à découper le fût à cuber en billons de 2 m de hauteur, et de mesurer les diamètres situés à l'extrémité de chacun de ces billons.

L'inventaire d'aménagement fournit, après traitement statistique, des résultats exprimés en nombre de tiges. Les tarifs de cubage sont alors utilisés pour exprimer ces données en termes de volumes. Les données nécessaires à l'élaboration des tarifs sont récoltées à trois niveaux :

-  Mesures de terrain d'arbres sur pied (étude au relascope) ;
-  Mesures de terrain d'arbres abattus (lors de l'étude de recollement).
-  Données bibliographiques.

Les Figure 35 et Figure 36 présentent des exemples de courbes de régression utilisées pour la construction de tarifs de cubage. Les nuages de point présentent en rouge les données issues des mesures faites au relascope de Bitterlich. Lorsque des mesures ont été effectuées sur les arbres abattus, elles apparaissent en vert sur le graphique.

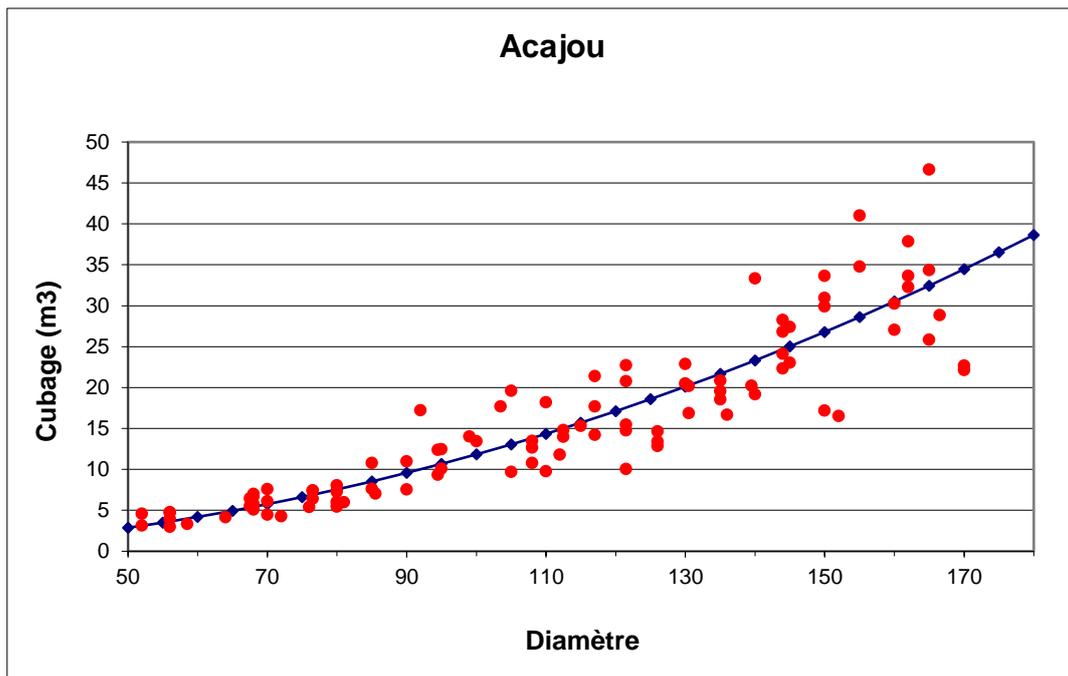


Figure 35. Courbe de régression d'un tarif de cubage (Acajou)

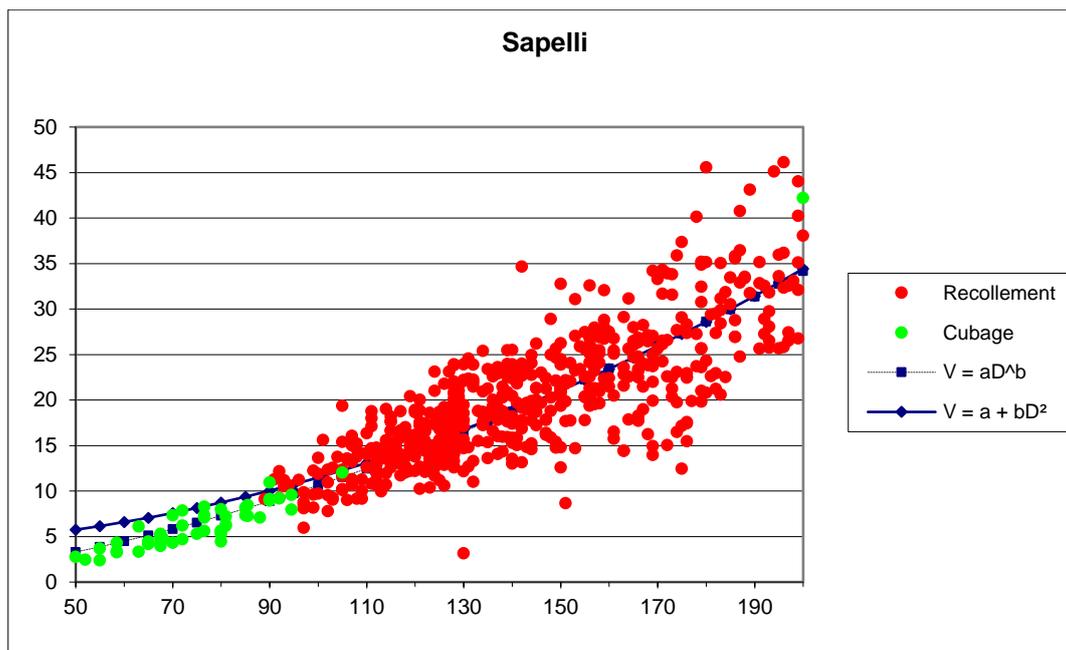


Figure 36. Courbe de régression d'un tarif de cubage (Sapelli)

3.3.3 Précision et limites de validité des tarifs de cubage

Le domaine de validité des tarifs est défini en fonction de l'échantillon. Le tarif est uniquement valable pour :

- 🌳 les classes de diamètre échantillonnées : on ne peut pas utiliser un tarif de cubage construit à partir d'arbres de 40 cm de diamètre et plus pour estimer le volume d'arbres de 20 cm de diamètre ;
- 🌳 l'(les) essence(s) considérée(s) ;
- 🌳 la zone à aménager : la variabilité naturelle des peuplements forestiers impose dans la mesure du possible l'élaboration de tarifs de cubages spécifiques à la zone à aménager, typiquement de l'ordre de quelques centaines de milliers d'hectares. (un échantillon variant de 50 à 100 arbres est suffisant pour l'élaboration d'un tarif pour une essence dans une région donnée, avec 6 à 8 arbres cubés par catégorie de diamètre).

Application pratique :

- Mesurer un maximum d'arbres d'une essence sélectionnée (ou un groupe de quelques essences) avec des échantillons issus de différentes classes de diamètre
- reporter les mesures sur un graphe simple comportant le Volume calculé en ordonnées, et le diamètre en abscisse.
- comparer les courbes obtenues par les différents groupes pour différentes essences / diamètres

4 MESURE DES ACCROISSEMENTS DES ARBRES ET DES PEUPLEMENTS

Projet de soutien à la préparation à la Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+)

Volet « Interprétation de données historiques et conception d'un système national de suivi des forêts et d'un niveau de référence des forêts dans le cadre de la REDD+ au Togo »

4.1 Notions sur les techniques d'étude de croissance des essences

La connaissance de la production ligneuse et donc de la croissance diamétrique des individus (arbres) est fondamentale dans le cadre de l'aménagement d'une forêt. Elle constitue un des paramètres qui permettent de déterminer la rotation ainsi que le volume maximal exploitable sans risque d'appauvrissement du peuplement. Il existe 2 techniques pour l'estimation de la croissance diamétrique des arbres :

-  l'analyse de cernes ;
-  la mesure périodique de circonférence pendant un laps de temps donné.

Les résultats de plusieurs dispositifs d'étude où les arbres sont mesurés périodiquement depuis de nombreuses années (Mopri, Iroko et la Téné en Côte d'Ivoire, Mbaïki en Centrafrique et Oyane au Gabon), fournissent des accroissements par essences. De même, plusieurs comptages de cernes ont été réalisés pour les essences dont les cernes sont annuels, notamment au Cameroun, en Centrafrique et au Gabon.

4.2 Installation d'un dispositif de suivi (croissance, mortalité et phénologie)

En l'absence d'informations scientifiquement fiables pour une essence donnée, en une région donnée, le suivi de sa dynamique au sein d'une concession forestière comprend l'étude des trois volets complémentaires suivants : croissance⁽¹⁾, mortalité⁽²⁾ et processus phénologique⁽²⁾. L'ensemble de ces paramètres peut être estimé au sein d'un dispositif unique, ce qui constitue un avantage majeur pour l'entreprise concernée.

En pratique, l'identification puis le suivi dans le temps d'un échantillon d'arbres situés le long d'un circuit (encore appelé « sentier » ou « parcours ») permet le calcul de ces paramètres. L'installation d'un dispositif de suivi de la dynamique des populations n'est envisageable que pour les espèces dont la densité est suffisamment élevée. Pour les autres, des valeurs suffisamment « prudentes » devraient être utilisées. Le suivi de la croissance est préconisé dans le cas des essences prioritairement exploitées (y compris occasionnellement) dont des données d'accroissement fiables ne sont pas disponibles pour la zone d'intervention. Il devrait être systématique pour les essences exploitées non aménagées. Pour le suivi de la croissance en diamètre, et en vue des remesures ultérieures, il est impératif de bien matérialiser l'endroit précis de mesure (soit une bande de peinture, ou préférentiellement deux bandes avec une inter-bande correspondant précisément à la largeur du mètre-ruban. Ceci est fait à l'aide d'un

(1) Paramètres utiles pour le calcul du taux de reconstitution.

(2) Informations importantes pour quantifier l'impact de l'exploitation sur la population des semenciers.

marquage à la peinture (voir Figure 37) situé à, 1,30 m ou au moins à 50 cm au-dessus des contreforts. L'accroissement annuel est obtenu en faisant la différence entre deux mesures de diamètres successives, si possible à douze mois d'intervalle. Si un suivi annuel n'est pas possible, une mesure tous les deux ans (répétée au moins 3 fois) est envisageable.



Figure 37. Matérialisation de la ligne de mesure en vue de la réalisation d'une mesure de diamètre, la mesure se faisant entre les deux traits.

Le suivi phénologique est préconisé dans le cas des essences exploitées présentant un déficit de régénération. Ce suivi permet notamment de préciser les diamètres, la période et la régularité de la fructification. Pour le suivi phénologique, qui devrait s'effectuer tous les mois, on enregistre l'état de la floraison, de la fructification (présence éventuelle de fruits immatures, matures) et de la feuillaison (feuilles perdues, nouvelles). Le degré de couverture de la cime par les différents organes est évalué pour chaque aspect, à l'aide de jumelles (en pourcentage de la surface de la cime, pour déterminer les optimums de pic des différentes activités saisonnières).

Application pratique

- Installer le ruban adhésif autour de quelques arbres à mesurer
- Préciser l'état de floraison / fructification de chaque arbre
- Mesurer les arbres et en noter la valeur
- Se déplacer et mesurer le diamètre de l'arbre matérialisé par un autre membre du groupe

| Nom scientifique | Nom pilote | Accroissement diamétrique (cm/an) |
|------------------------------------|---------------------|---|
| <i>Azelia pachyloba</i> | Doussié blanc | 0,4 |
| <i>Alstonia boonei</i> | Emien | 0,9 |
| <i>Aningeria altissima</i> | Aningré A | 0,5 |
| <i>Antrocaryon klaineum</i> | Onzabili K | 0,6 |
| <i>Antrocaryon micrasler</i> | Onzabili M | 0,7 |
| <i>Autranella congolensis</i> | Mukulungu | 0,4 |
| <i>Baillonella toxisperma</i> | Moabi | 0,4 |
| <i>Canarium schweinfurthii</i> | Aiélé / Abel | 0,7 |
| <i>Ceiba pentandra</i> | Fromager | 0,9 |
| <i>Cylicodiscus gabunensis</i> | Okan | 0,4 |
| <i>Desbordesia glaucescens</i> | Alep | 0,4 |
| <i>Detarium macrocarpum</i> | Mambodé | 0,5 |
| <i>Didelotia letouzeyi</i> | Gombé | 0,5 |
| <i>Entandrophragma angolense</i> | Tiama | 0,5 |
| <i>Entandrophragma candollei</i> | Kossipo | 0,5 |
| <i>Entandrophragma congoense</i> | Tiama Congo | 0,5 |
| <i>Entandrophragma cylindricum</i> | Sapelli | 0,5 |
| <i>Entandrophragma utile</i> | Sipo | 0,5 |
| <i>Eribroma oblongum</i> | Eyong | 0,4 |
| <i>Erythrophleum suaveolens</i> | Tali | 0,4 |
| <i>Gambeya beguei</i> | Abam à poils rouges | 0,5 |
| <i>Gambeya gigantea</i> | Abam fruit jaune | 0,5 |
| <i>Gambeya lacourtiana</i> | Abam vrai | 0,5 |
| <i>Gambeya perpulchra</i> | Abam évélé | 0,5 |
| <i>Guarea cedrata</i> | Bossé clair | 0,5 |
| <i>Guarea thompsonii</i> | Bossé foncé | 0,5 |
| <i>Khaya ivorensis</i> | Acajou de bassam | 0,7 |
| <i>Lophira alata</i> | Azobé | 0,35 |
| <i>Lovoa trichilioides</i> | Dibétou | 0,7 |
| <i>Mansonia altissima</i> | Bété | 0,5 |
| <i>Milicia excelsa</i> | Iroko | 0,5 |
| <i>Mitragyna ciliata</i> | Bahia | 0,5 |
| <i>Nauclea diderrichii</i> | Bilinga | 0,4 |
| <i>Nesogordonia papaverifera</i> | Kotibé | 0,4 |
| <i>Pericopsis elata</i> | Assamela | 0,4 |
| <i>Piptadeniastrum africanum</i> | Dabéma | 0,5 |
| <i>Pterocarpus mildbraedii</i> | Padouk blanc | 0,5 |
| <i>Pterocarpus soyauxii</i> | Padouk rouge | 0,5 |
| <i>Pterygota macrocarpa</i> | Koto | 0,5 |
| <i>Pycnanthus angolensis</i> | Ilomba | 0,7 |
| <i>Staudtia gabonensis</i> | Niové | 0,4 |
| <i>Terminalia superba</i> | Fraké / Limba | 0,7 |
| <i>Triplochiton scleroxylon</i> | Ayous / Obeche | 0,9 |
| <i>Zanthoxylum heitzii</i> | Bongo H (Olon) | 0,7 |

Figure 38. Accroissements de quelques essences commerciales d'Afrique centrale à l'Est du Cameroun

Source : Kouadio (2009).

5 APPLICATIONS FORESTIERES COURANTES ISSUES DES RESULTATS D'INVENTAIRES

5.1 Évaluation de l'état des populations des essences exploitées

Afin de déterminer quelles sont les espèces prioritaires sur lesquelles des actions d'aménagement ou des programmes sylvicoles devraient être ciblés en priorité, une démarche pragmatique repose sur l'analyse des structures des populations des espèces ligneuses³. Elle commence par l'analyse, pour toutes les essences commerciales, des paramètres sur la structure de la population, la densité, l'analyse des taux de reconstitution et du diamètre de fructification régulière (DFR).

➤ **Structure de population**

Parmi les données directement issues de l'inventaire, on a le nombre de tiges par classe de diamètre ou distribution diamétrique. Cette dernière permet de calculer les taux de reconstitution et d'analyser l'allure de la régénération naturelle. L'examen de l'allure des courbes de structure de population permet de répartir les essences selon 3 groupes : celles dont le maintien sur le long terme est garanti, celles qui affichent un probable ralentissement de la régénération et celles dont le maintien sur le long terme est compromis.

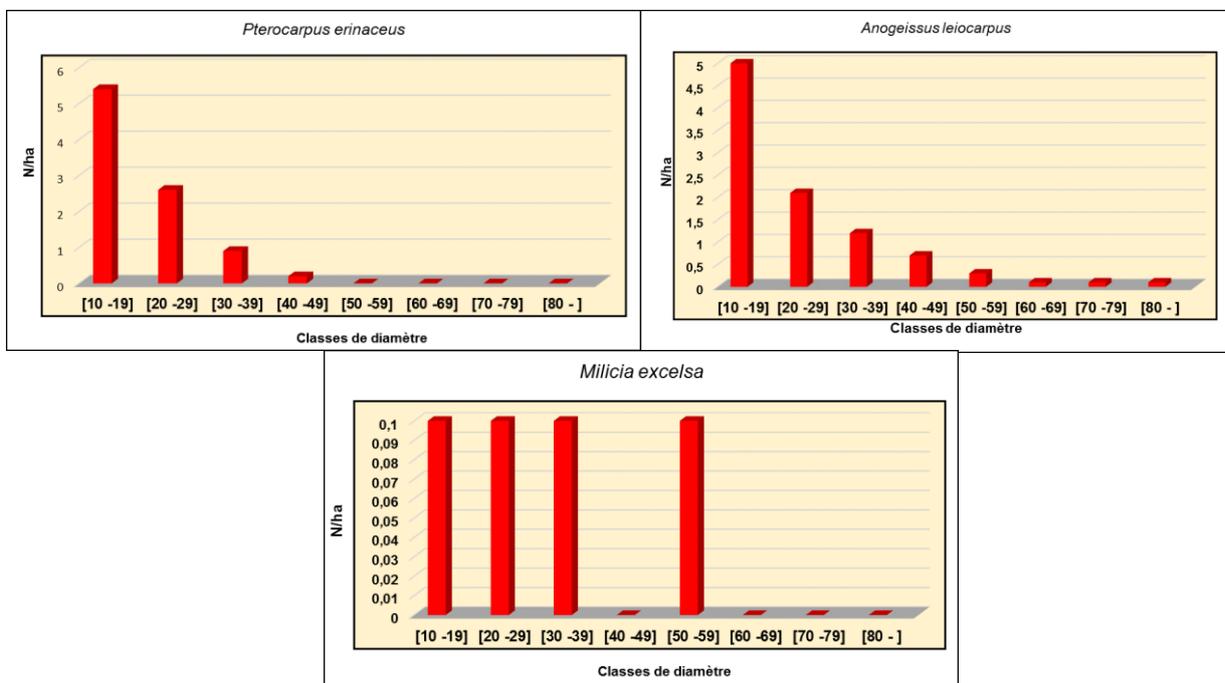


Figure 39. Courbes diamétriques issues d'inventaires d'aménagement

³ ATIBT, 2012

➤ **Densité**

Les densités sont calculées en prenant en compte le nombre de tiges de diamètre supérieur à 20 cm. Par mesure de précaution, les essences présentant des densités totales inférieures à un seuil de 0,02 ou préférentiellement 0,05 pieds/ha devraient être mises hors exploitation afin de laisser sur pied des populations suffisamment importantes pour assurer leur renouvellement. Pour les espèces commerciales présentant des densités inférieures à 0,1 pied/ha, des mesures de maintien de semenciers et/ou de reboisement devraient en outre être prises, surtout si leur structure de population est défavorable.

➤ **Analyse des taux de reconstitution et du DFR**

Pour l'ensemble des essences commerciales, le taux de reconstitution (TR%) ou l'indice de reconstitution (IR%) doivent être étudiés. Si le taux de reconstitution ne satisfait pas les exigences légales, le DMA doit être remonté jusqu'à ce que le TR% obtenu soit suffisant. Par ailleurs, pour assurer une régénération de l'espèce après exploitation, les DMA choisis doivent être supérieurs aux DFR.

5.2 Définition d'une rotation et calcul des taux de reconstitution

Pour l'ensemble des essences objectif, les taux de reconstitution sont obtenus en faisant varier la rotation et le DMA. Le choix des DMA et de la rotation sont à effectuer en fonction du cadre réglementaire et des besoins de l'entreprise.

| Essence | DMA | Taux de reconstitution (%) | | | |
|---------|-------------|----------------------------|------------|------------|-----|
| | | R = 20 ans | R = 25 ans | R = 30 ans | |
| Bilinga | DME | 80 | 15 | 17 | 19 |
| | DME + 10 cm | 90 | 20 | 24 | 27 |
| | DME + 20 cm | 100 | 26 | 31 | 36 |
| Douka | DME | 90 | 7 | 9 | 10 |
| | DME + 10 cm | 100 | 12 | 14 | 16 |
| | DME + 20 cm | 110 | 22 | 26 | 29 |
| Kotibe | DME | 70 | 41 | 49 | 56 |
| | DME + 10 cm | 80 | 66 | 78 | 90 |
| | DME + 20 cm | 90 | 74 | 88 | 100 |

La méthode de calcul du taux de reconstitution retenue est celle proposée par Durrieu de Madron et Forni (1997), où l'indice de reconstitution (IR) est calculé par essence en fonction

du nombre de tiges. Cet indice est fonction des dégâts d'exploitation, de l'accroissement et de la mortalité :

$$\text{IR (\%)} = \frac{[N_0 \cdot (1 - \Delta) \cdot (1 - \alpha)^r / N_p] R}{DME} \times 100$$

Avec :

- IR** : pourcentage de reconstitution de l'effectif actuel des tiges exploitables (> DME)
- N₀** : effectif des classes de diamètre inférieur au DME susceptibles d'atteindre le diamètre d'exploitabilité après la rotation à venir
- N_p** : effectif total actuellement exploitable
- α** : taux de mortalité annuel
- Δ** : taux de dégâts dû à l'exploitation sur le peuplement résiduel
- R** : durée de la rotation

Pour le calcul de N₀, la borne de la classe de diamètre (D_{bi}) qui doit passer au-dessus du DME pendant la durée de la rotation est obtenue en appliquant la formule suivante :

$$D_{bi} = DME - (R \times AAM)$$

Avec :

- D_{bi}** : Diamètre de la borne inférieure de la classe diamètre considérée
- DME** : Diamètre Minimum d'Exploitabilité
- R** : Durée de la rotation
- AAM** : Accroissement Annuel Moyen sur le diamètre

Les paramètres utilisés sont :

-  le taux de mortalité naturelle (α)

Le taux de mortalité naturelle (α) est considéré comme constant par classes de diamètre et est de l'ordre de 1% par an. Ce résultat découle notamment des données obtenues sur les dispositifs de Mopri et de Mbaïki (Côte d'Ivoire et RCA).

-  le taux de dégâts dus à l'exploitation (Δ)

Le taux de dégâts dus à l'exploitation (Δ) dépend d'un grand nombre de facteurs. Néanmoins, sur la base d'études menées au Cameroun et en RCA, le choix d'une valeur moyenne de 10% est recommandé (Durrieu de Madron & Forni, 1997, Maître et al., 1993).

-  l'accroissement annuel moyen sur le diamètre (AAM)

Les données des AAM couramment utilisés en Afrique centrale proviennent des dispositifs et méthodes suivants :

-  les circuits permanents implantés ;

- 🌳 les mesures périodiques effectuées dans différents dispositifs permanents synthétisés par Detienne *et al.* (1998) ;
- 🌳 les études de cernes synthétisés par Detienne *et al.* (1998).

REFERENCES UTILES

- ATIBT, 2012. Amélioration des plans d'aménagement forestier en matière sociale et environnementale - Synthèse des connaissances -. Fiche thématique : Suivi et gestion des populations d'essences commerciales. 24 p (en cours d'édition).
- CTFT, 1989. Mémento du Forestier. Techniques rurales en Afrique. 3^{ème} édition, 1257 p.
- Bedel F., Durrieu de Madron L., Dupuis B., Favrichon V., Maitre H.F., Bar hen A., Narboni P., 1998. Dynamique de croissance dans les peuplements exploités et éclaircis de forêt dense africaine – dispositif de M'Baiki en République Centrafricaine – Série FORAFRI, doc. 172 p.
- Detienne P., Oyono F., Durrieu de Madron L., Demarquez B., Nasi R., 1998. L'analyse de cernes : applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense africaine. Série Forafri document 15. CIRAD-Forêt, Montpellier, France, 40 p.
- Dagnelie P., Rondeux J., Palm R., Thill A., 1985. Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers, Presses Agro. de Gembloux, 148 p.
- Doucet et al., 2007. Dynamique des peuplements forestiers d'Afrique Centrale. Module de formation ATIBT, 134 p.
- Durrieu de Madron L., Nasi R., Detienne P., 2000. Accroissements diamétriques de quelques essences en forêt dense africaine. Bois et Forêts des Tropiques 263, 63 - 70.
- Kouadio, L., 2009. Mesures sylvicoles en vue d'améliorer la gestion d'essences forestières commerciales de l'Est du Cameroun. Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, thèse de doctorat, 278p.
- Picard N., Gourlet-Fleury S., 2008. Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo. COMIFAC, Yaoundé, 265 p.
- Rondeux J., 1999. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. 2nde édition -Presses Agronomiques de Gembloux., 521 p.
- Sepulchre F., Kammer F., Adjossou K., 2015. Instructions pour l'exécution de l'IFN du Togo. Projet ProREDD/GIZ/MERF, Lomé-Togo, 104p.
- Sepulchre F. et Kammer, F. 2015. Méthodologie pour la réalisation d'IFN au Togo. Projet ProREDD/GIZ/MERF, Lomé-Togo, 153 p.