

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DU CADRE DE VIE

=====

SECRETARIAT GÉNÉRAL

=====

DIRECTION GÉNÉRALE  
DE LA CONSERVATION  
DE LA NATURE

=====

DIRECTION DU SUIVI ÉCOLOGIQUE

BURKINA FASO

=====

Unité-Progrès-Justice

# TESTS D'APPLICABILITÉ DE MÉTHODES D'INVENTAIRE FORESTIER RAPIDES AU BURKINA FASO



OUAGADOUGOU, AOÛT 2007

CYRILLE KABORÉ

# TESTS D'APPLICABILITÉ DE MÉTHODES D'INVENTAIRE FORESTIER RAPIDES AU BURKINA FASO

Ministère de l'Environnement  
et du Cadre de Vie  
03 BP 7044 Ouagadougou 03  
Tel (226) 50 32 40 74 – 94  
[www.environnement.gov.bf](http://www.environnement.gov.bf)

Éditée par :

Direction du Suivi Ecologique (DSE)

Août 2007

OUAGADOUGOU, AOÛT 2007

CYRILLE KABORÉ

*À Malick Ladjy Sylla  
Pour nous avoir laissé en héritage  
sa méthode du 4<sup>e</sup> arbre*

## Résumé

Des tests d'applicabilité de trois méthodes d'inventaire forestier rapides ont été réalisés sur trois sites au Burkina Faso. Une des trois méthodes résulte de l'échantillonnage *avec des placettes à nombre d'arbres défini* et les deux autres de l'échantillonnage *avec des placettes de taille variable*. Elles ont toutes pour objectif l'estimation rapide du volume bois sur pied.

Dans l'application de chacun des deux types d'échantillonnage, la détermination de la taille d'une placette est basée sur celle d'un rayon  $R_M$  qui est la distance entre le centre de la placette et le  $M^{\text{ième}}$  arbre qui lui est le plus éloigné.

L'échantillonnage *avec des placettes à nombre d'arbres défini* est appliqué avec un nombre d'arbres  $N = 3$  et est de ce fait appelé méthode du 3<sup>e</sup> arbre. Par conséquent, 3 arbres les plus proches du centre de l'unité d'échantillonnage ayant une circonférence  $C_{1,30m} \geq 15$  cm sont uniquement mesurés.

L'échantillonnage *avec des placettes de taille variable*, quant à lui, a été testé avec un nombre d'arbres  $M = 3$  et  $M = 4$ . Dans chaque cas, le rayon de la placette est la distance entre le centre de la placette et le 3<sup>e</sup> ou le 4<sup>e</sup> arbre qui lui est le plus éloigné. L'arbre est ici défini par sa hauteur totale  $h \geq 5$  m. Dans cet échantillonnage, tous les ligneux de  $C_{1,30m} \geq 15$  cm sont mesurés, y compris les  $M$  arbres. La méthode appliquée avec  $M = 4$  arbres est appelée méthode du 4<sup>e</sup> arbre.

Les tests ont montré que les trois méthodes sont bien applicables au Burkina Faso pour l'objectif pour lequel elles ont été conçues. Cependant, le volume de bois sur pied de chaque placette rapporté à l'hectare doit prendre en compte la moitié du volume du  $M^{\text{ième}}$  arbre qui est l'arbre limite. Par ailleurs, la méthode du 4<sup>e</sup> arbre permet de recenser plus d'espèces ligneuses, certainement parce qu'elle permet de compter plus d'arbres. Par conséquent, le choix entre les méthodes d'inventaire forestier rapides doit privilégier la méthode du 4<sup>e</sup> arbre, et la méthode du 3<sup>e</sup> arbre lorsqu'une bonne connaissance de la composition floristique n'est pas nécessaire.

**Mots clés :** inventaire forestier, échantillonnage, placette, taille variable, arbre limite.

## Sommaire

Résumé .....	4
Introduction .....	7
1 - Brève présentation des méthodes d'inventaire forestier rapides testées .....	7
1.1 - Echantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini .....	7
1.1.1 - Principe de la méthode .....	7
1.1.2 - Mesure à l'intérieur de la placette .....	7
1.2 - Echantillonnage avec des placettes circulaires de taille variable .....	7
1.2.1 - Principe de la méthode .....	8
1.2.2 - Mesures à l'intérieur de la placette .....	8
1.3 – Dispositions communes aux deux techniques d'échantillonnage .....	8
2 – Justification et objectif des tests .....	8
2.1 - Justification .....	8
2.2 – Objectifs .....	8
3 – Localisation des sites des tests .....	9
4 – Méthodologie .....	10
4.1 – Elaboration du plan d'échantillonnage .....	10
4.2 - Test de la méthode d'inventaire forestier avec des placettes de taille variable .....	10
4.3 - Echantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini .....	11
4.4 - Équipe d'inventaire forestier .....	11
4.5 – Composition du matériel d'inventaire forestier .....	11
4.6 – Mesure des arbres .....	12
4.7 – Saisie et traitement des données collectées .....	12
4.7.1 – Calcul des volumes de bois sur pied .....	12
4.7.2 - Calcul de la richesse spécifique et de l'abondance des espèces recensées .....	13
5 – Résultats et discussion .....	14
5.1 – Résultats .....	14
5.1.1 - Estimation du volume de bois sur pied sur les sites de Banlo et de Maticoali ...	14
5.1.2 – Comparaison des volumes moyens de bois sur pied obtenus sur le site de Banlo	14
5.1.3 – Comparaison des volumes moyens de bois sur pied obtenus sur le site de	
Maticoali .....	14
5.1.4 – Comparaison des volumes moyens de bois sur pied obtenus sur le site de Sapouy-	
Biéha .....	15
5.1.5 – Temps moyens effectifs de mesure dans les placettes .....	16
5.1.6 – Diversité des espèces recensées .....	16
5.2 – Discussion .....	23
5.2.1 – Avantages et limites des méthodes rapides d'inventaire forestier testées .....	23
5.2.1.1 – Echantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini .....	23
5.2.1.2 – Echantillonnage avec des placettes de taille variable .....	24
5.2.2 – Choix de méthode à appliquer sur le terrain .....	24
5.2.2 – Notion d'estimation minimum probable et quota de prélèvement du bois-énergie	
.....	24
5.2.3 - Règles d'application des méthodes d'inventaire forestier du 3 <sup>e</sup> arbre et du 4 <sup>e</sup> arbre	
.....	26
Conclusion .....	28
Bibliographie .....	29
Annexe 1 : Conventions relatives à la mesure de grosseur des arbres .....	31
Annexe 2 : Fiches types d'inventaire forestier pour la réalisation des tests .....	32
Annexe 3 : Codes des espèces ligneuses .....	37
Annexe 4 : Distribution de t de Student .....	39

## Liste des figures

Figure 1 : Carte de localisation des sites des tests.....	9
Figure 2 : Principe de la mesure de la hauteur au moyen de la taille de l'opérateur .....	11

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Volumes de bois sur pied obtenus à Banlo et à Matiacoli.....	14
Tableau 2 : Tableau d'analyse de variance des volumes moyens obtenus des trois méthodes d'inventaire forestier (Site de Banlo).....	14
Tableau 3 : Tableau d'analyse de variance des volumes moyens obtenus des trois méthodes d'inventaire forestier (Site de Matiacoli) .....	15
Tableau 4 : Résultats du test de comparaison des volumes moyens de bois sur pied avec ou sans le volume de bois de l'arbre limite.....	15
Tableau 5 : Résultats du test de comparaison des volumes moyens de bois sur pied obtenus par les différentes techniques d'échantillonnage .....	16
Tableau 6 : Temps moyens de mesure des placettes par méthode d'inventaire forestier.....	16
Tableau 7 : Richesse spécifique par site et par méthode d'inventaire forestier.....	17
Tableau 8 : Tableau comparatif des richesses spécifiques et des abondances des espèces recensées sur le site de Banlo .....	17
Tableau 9 : Tableau comparatif des richesses spécifiques et des abondances des espèces recensées sur le site de Matiacoli .....	18
Tableau 10 : Tableau comparatif des richesses spécifiques et des abondances des espèces recensées sur le site de Sapouy-Biéha.....	19
Tableau 11 : Les dix espèces les plus abondantes selon le relevé sur le site de Banlo .....	21
Tableau 12 : Les dix espèces les plus abondantes sur le site de Matiacoli .....	21
Tableau 13 : Les dix espèces les plus abondantes sur le site de Sapouy-Biéha.....	22
Tableau 14 : Valeurs de RME obtenues des volumes moyens de bois sur pied (Site de Sapouy-Biéha).....	25

## Introduction

Au Burkina, la promotion d'un aménagement forestier simplifié et durable constitue un souci majeur dans la gestion participative des forêts, tant pour le rendre facilement appropriable par les populations locales que pour réduire son coût autant que possible.

L'estimation du volume ligneux sur pied par des méthodes d'inventaire forestier simplifié qui permettent d'obtenir des résultats de fiabilité statistique satisfaisante, participe de l'aménagement forestier simplifié. C'est à ce titre que des tests de méthodes relativement simples d'inventaire forestier ont été réalisés afin de confirmer leur applicabilité dans les conditions du Burkina. Il s'agit de :

- la technique d'échantillonnage avec des placettes de taille variable et
- la technique d'échantillonnage avec placette à nombre d'arbres défini.

## 1 - Brève présentation des méthodes d'inventaire forestier rapides testées

### 1.1 - Echantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini

Cette technique d'échantillonnage consiste à implanter des placettes circulaires de taille variable à partir d'un nombre défini d'arbres les plus proches des centres des unités d'échantillonnage ; le rayon  $R_N$  du cercle est la distance entre le centre de la placette et le  $N^{\text{ième}}$  arbre qui lui est le plus éloigné (Duplat et Perrotte, 1981). Il a été testé avec satisfaction à double titre au Mali : il a été montré qu'il n'y a pas de différence significative au seuil de probabilité de 95% entre les volumes de bois sur pied obtenus respectivement avec  $N$  est égal à 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 arbres ; par conséquent le nombre minimum de 3 arbres a été fixé pour l'application de cette méthode alors appelée méthode du 3<sup>e</sup> arbre (Kouyaté, 1995) ; par ailleurs, il a été montré qu'il n'y a pas de différence significative au seuil de probabilité de 95% entre les volumes de bois sur pied obtenus, à partir d'un même dispositif de sondage, avec  $N = 3$  et avec des placettes rectangulaires de 25 m x 50 m (Koné, 1997). *Ici, seuls les 3 arbres sont mesurés.*

#### 1.1.1 - Principe de la méthode

- Identifier les 3 arbres les plus proches du point d'arrêt, c'est-à-dire le centre de la placette en tenant compte du seuil du diamètre d'inventaire fixé ( $d_{1,30m} \geq 05$  cm ou  $C_{1,30m} \geq 15$  cm) ;
- Identifier l'arbre le plus éloigné du point d'arrêt, parmi les 3 arbres ;
- Mesurer la distance horizontale ( $R_N$ ) qui sépare l'arbre le plus éloigné et le centre de la placette, à l'aide d'un ruban de 20 m ou de 50 m.

#### 1.1.2 - Mesure à l'intérieur de la placette

Dans les placettes, mesurer  $d_{1,30m} \geq 05$  cm ou  $C_{1,30m} \geq 15$  cm des 3 arbres à l'aide d'une chevillière ou d'un ruban de tailleur.

### 1.2 - Echantillonnage avec des placettes circulaires de taille variable

Cette méthode d'échantillonnage avec des placettes de taille variable a été développée au Mali où elle est appelée la méthode du 4<sup>e</sup> arbre par son auteur (Sylla, 1998, 2001, 2004), car le meilleur volume moyen de bois sur pied a été obtenu avec le nombre d'arbres  $M = 4$ . Elle est dérivée de la technique d'échantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini décrite au § 1.1 ci-dessus : implanter des placettes circulaires de taille variable à partir d'un nombre  $M$  d'arbres les plus proches des centres des unités d'échantillonnage ; le rayon  $R_M$  du cercle est la distance entre le centre de la placette et le  $M^{\text{ième}}$  arbre qui lui est le plus éloigné.

Le caractère rapide de cette technique d'échantillonnage réside dans le fait qu'un nombre minimum de placettes à inventorier peut être fixé à 30, ce chiffre pouvant être augmenté avec l'hétérogénéité de la forêt (Sylla, 2004).

### 1.2.1 - Principe de la méthode

Sur le terrain, et avec  $M = 4$  arbres, on implante un dispositif d'échantillonnage sur des transects ouverts en fonction de la diversité et du mode de répartition de la toposéquence de la forêt à inventorier. Le critère de sélection des 4 arbres les plus proches du centre des placettes est la hauteur totale  $h \geq 7$  m (Sylla, 2004).

### 1.2.2 - Mesures à l'intérieur de la placette

Dans les placettes, mesurer  $d_{1,30m} \geq 05$  cm ou  $C_{1,30m} \geq 15$  cm de tous les ligneux en plus des 4 arbres à l'aide d'une chevillière ou d'un ruban de tailleur.

## 1.3 – Dispositions communes aux deux techniques d'échantillonnage

L'existence normale de vides et de parties claires dans des peuplements forestiers conduit à se fixer une distance maximum du centre de la placette, au-delà de laquelle on arrêtera de toutes façons la recherche du  $M^{\text{ième}}$  arbre (Duplat et Perrotte, 1981). Sylla (2004) préconise dans ce cas d'implanter la placette en prenant comme rayon maximum  $R_{Mx} = 50$  m.

## 2 – Justification et objectif des tests

### 2.1 - Justification

L'échantillonnage avec des placettes circulaires de taille variable de rayon  $R_M$  (avec  $M = 4$  arbres), appelé méthode du 4<sup>e</sup> arbre, a été développé dans le cadre de la création de marchés ruraux de bois au Mali (c'est-à-dire l'aménagement forestier villageois) pour lesquels le volume de bois-énergie exploitable des massifs forestiers identifiés par les populations riveraines a besoin d'être rapidement estimé.

Cette méthode d'inventaire forestier rapide a été retenue par l'Atelier régional sur la capitalisation de l'expérience sahélienne en aménagement des forêts naturelles pour la production du bois-énergie, organisé du 27 au 30 avril 2004 à Niamey au Niger par le CILSS dans le cadre de son Programme régional de promotion des énergies domestiques et alternatives au Sahel (PREDAS) ; l'Atelier a recommandé à chaque pays membre du CILSS de tester sa pertinence avant sa vulgarisation (CILSS, 2004).

Par ailleurs, la méthode du 3<sup>e</sup> arbre et la méthode du 4<sup>e</sup> arbre ont toutes deux donné des volumes moyens de bois sur pied statistiquement égaux à ceux obtenus d'un échantillonnage témoin dont l'unité d'échantillonnage est un rectangle de 50 m x 25 m. Sur cette base, l'hypothèse suivante a été émise : à partir d'un même dispositif de sondage, la méthode du 3<sup>e</sup> arbre et l'échantillonnage avec des placettes de taille variable déterminée avec  $M = 3$  vont donner des volumes moyens de bois sur pied statistiquement égaux à celui obtenu avec la méthode du 4<sup>e</sup> arbre.

### 2.2 – Objectifs

Les objectifs des tests sont :

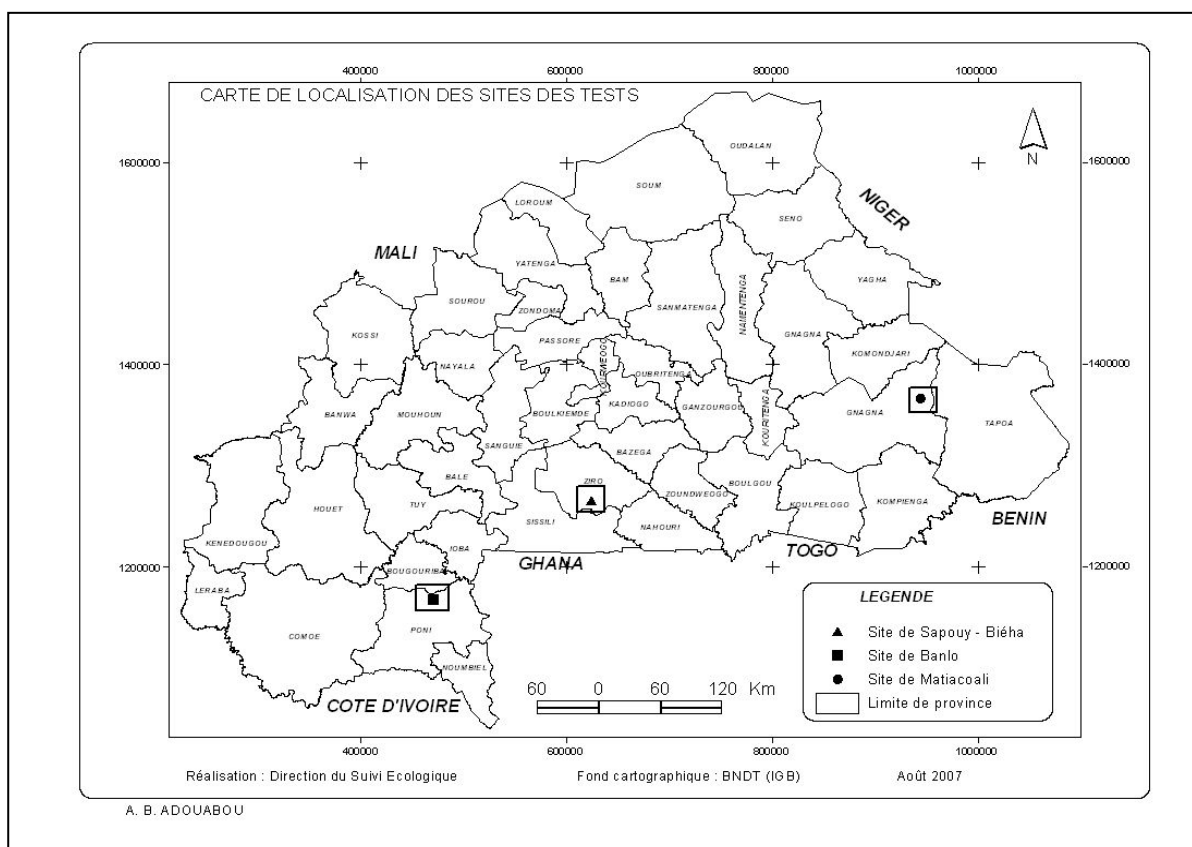
- Objectif 1 : Comparer, à partir d'un même dispositif d'inventaire forestier, les volumes moyens de bois sur pied obtenus avec l'échantillonnage avec des placettes de taille variable (cas de  $M = 3$  arbres et  $M = 4$  arbres) et le volume moyen de bois sur pied obtenu avec l'échantillonnage systématique avec des placettes circulaires de 1 250 m<sup>2</sup> chacune, considéré comme l'échantillonnage témoin.
- Objectif 2 : Comparer les résultats obtenus avec la méthode du 3<sup>e</sup> arbre ( $N = 3$ ) et ceux obtenus avec la méthode du  $M^{\text{ième}}$  (avec  $M = 3$  et  $M = 4$ ) ;

- **Objectif 3** : Comparer les volumes moyens de bois sur pied avec ou sans considération du volume de bois de l'arbre limite, dans l'application des deux méthodes d'inventaire forestier rapides.

### 3 – Localisation des sites des tests

Les tests ont été réalisés sur les sites suivants (fig. 1) :

- Le test relatif à l'objectif 1 a été réalisé dans un massif forestier de 488 ha à prédominance de savane arbustive dans le terroir du village de Banlo, province du Poni, et dans un massif forestier de 496 ha à prédominance de savane arbustive à combrétacées à Matiacoali, province du Gourma;
- le test relatif aux objectifs 2 et 3 a été réalisé dans l'unité d'aménagement forestier 9 (UAF9) d'une superficie de 2 250 ha du chantier d'aménagement forestier (CAF) de Sapouy-Biéha, dans la province du Ziro ; l'UAF9 est constituée par une savane arborée à *Detarium microcarpum*, *Vitellaria paradoxa* et *Terminalia avicennioides*.



**Figure 1 : Carte de localisation des sites des tests**

Source : BNDT (PNGT2/ IGB)

## 4 – Méthodologie

### 4.1 – Elaboration du plan d'échantillonnage

Pour la réalisation du test relatif à l'objectif 1, un plan de sondage systématique a été élaboré sur un fond cartographique extrait de la Base des données d'occupation des terres (BDOT 2002). Le maillage est carré de 200 m x 200 m. La taille de l'échantillon dans chacun des deux sites est  $n = 96$  placettes.

Quant au test relatif aux objectifs 2 et 3, un échantillon de 65 placettes équidistantes de 400 m x 400 m a été retenu. Un plan de sondage systématique a été également élaboré sur un fond cartographique extrait de la Base des données d'occupation des terres (BDOT 2002).

### 4.2 - Test de la méthode d'inventaire forestier avec des placettes de taille variable

- Sur les sites de Banlo et de Matiacoali, deux types d'inventaire forestier ont été réalisés à chaque point d'inventaire (placette) d'un même dispositif de sondage :
  - un inventaire avec une placette circulaire de 1 250 m<sup>2</sup> (inventaire témoin) ;
  - un inventaire avec des placettes circulaires de taille variable dont le rayon  $R_M$  du cercle est la distance entre le centre de la placette et, soit le 3<sup>e</sup> arbre, soit le 4<sup>e</sup> arbre qui lui est le plus éloigné, respectivement.
- Dans l'UAF 9 du CAF de Sapouy-Biéha, l'échantillonnage avec des placettes circulaires de taille variable (avec  $M = 3$  et  $M = 4$ ) et la méthode du 3<sup>e</sup> arbre ont été appliqués à un même dispositif de sondage.

En vue de comparer les volumes avec ou sans considération du volume de bois de l'arbre limite, le 3<sup>e</sup> ou le 4<sup>e</sup> arbre est toujours mesuré le premier dans chaque placette et noté comme tel sur les fiches d'inventaire. En d'autres termes, la circonférence de l'arbre limite (3<sup>e</sup> ou 4<sup>e</sup> arbre) au niveau de chaque placette est toujours mesurée en premier lieu et reportée en tête de la liste des données de la placette.

Dans l'échantillonnage avec des placettes de taille variable, le critère d'identification des 3 ou 4 arbres est la hauteur totale  $h \geq 5$  m (FAO, 1984)<sup>1</sup> : dans la classification UNESCO de la végétation, le seuil de 5 mètres de hauteur est retenu pour distinguer l'arbre de l'arbuste dans les formations forestières tropicales sèches.

Les hauteurs des arbres susceptibles d'éligibilité sont déterminées par une technique expéditive (rapide) mais fiable qui consiste à utiliser la taille d'un des membres de l'équipe d'inventaire forestier comme hauteur de référence pour les mesurer de la manière suivante (fig. 2) :

- l'opérateur se place bien droit au pied de l'arbre dont il veut mesurer la hauteur et à l'aide de la craie, il marque sur le tronc de l'arbre le point qui correspond à sa taille ;
- à l'aide d'un crayon qu'il tient bien vertical entre son pouce et son index, l'opérateur tend bien son bras et marche à reculons jusqu'à ce que la base (visible) du crayon qu'il

<sup>1</sup> FAO, 1984 : *Etudes sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux. 1-Formations forestières sèches*. Etude FAO : Forêts, 51 / 1. Rome. 88 p.

tient entre ses doigts coïncide avec le pied de l'arbre et le bout supérieur du crayon avec la marque de sa taille faite sur le tronc de l'arbre ; à ce moment la longueur de la partie visible du crayon correspond à sa taille ;

- la hauteur totale de l'arbre est estimée avec satisfaction en comptant jusqu'à son sommet le nombre de longueurs du crayon mises bout à bout.

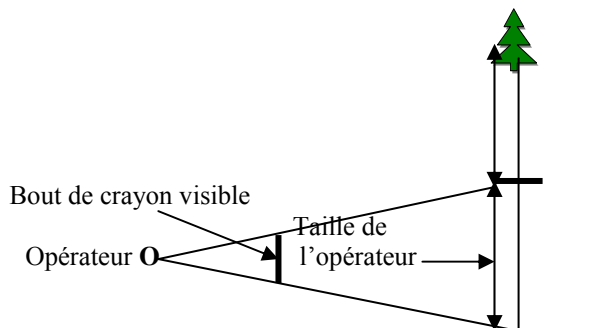


Figure 2 : Principe de la mesure de la hauteur au moyen de la taille de l'opérateur

#### 4.3 - Echantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini

L'échantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini a été appliqué dans l'UAF9 du CAF de Sapouy-Biéha sur le même dispositif de sondage que l'échantillonnage avec des placettes de taille variable (cf. §4.2) ; les étapes sont comme suit :

- Identifier les 3 arbres les plus proches du centre de la placette en tenant compte du seuil du diamètre d'inventaire fixé ( $C_{1,30m} \geq 15$  cm);
- Identifier l'arbre le plus éloigné du centre de la placette, parmi les 3 arbres ;
- Mesurer la distance horizontale ( $R_N$ ) qui sépare l'arbre le plus éloigné et le centre de la placette, à l'aide d'un double décimètre.
- Mesurer  $C_{1,30m} \geq 15$  cm des 3 arbres à l'aide d'un ruban de tailleur.

En vue de comparer les volumes avec ou sans considération du volume de bois de l'arbre limite, le 3<sup>e</sup> arbre est toujours mesuré le premier dans chaque placette et noté comme tel sur les fiches d'inventaire. En d'autres termes, la circonférence de l'arbre limite (3<sup>e</sup> arbre) au niveau de chaque placette est toujours mesurée en premier et reportée en tête de la liste des données de la placette.

#### 4.4 - Équipe d'inventaire forestier

Les tests ont été réalisés par des équipes d'inventaire forestier composées de trois personnes, à savoir :

- deux mesureurs chargés des mesures de circonférence et des appels,
- un pointeur chargé de remplir les fiches d'inventaire aux appels des mesureurs.

#### 4.5 – Composition du matériel d'inventaire forestier

Le matériel d'inventaire forestier nécessaire se compose ainsi qu'il suit par équipe :

*Matériel technique :*

- cartes et plans d'échantillonnage, avec coordonnées géographiques,
- GPS + piles alcalines,
- ruban de 50 m,
- ruban de tailleur,
- jalons,

- craie, crayons, gommages,
- fiches d'enregistrement et porte-bloc.

*Matériel d'accommodation :*

- Boîte à pharmacie,
- Matériel de camping.

Le matériel de chaque équipe est conservé dans un sac. Une liste en a été établie par équipe, et une vérification de celle-ci a été effectuée chaque jour et pendant toute la durée de l'inventaire forestier, avant de quitter la forêt. Cette vérification était de la responsabilité particulière de chaque chef d'équipe.

#### 4.6 – Mesure des arbres

Pour la mesure de la grosseur des arbres (diamètre ou circonférence), diverses conventions sont fixées en relation avec les conditions de terrain et la morphologie des arbres, dans le but de réduire au maximum les diverses sources d'erreurs affectant l'estimation de la grosseur d'un arbre (voir annexe 1).

#### 4.7 – Saisie et traitement des données collectées

Les données collectées du 27 mai au 24 juin 2006 à Banlo, du 03 mai au 02 juin 2006 à Matiacoali, et du 17 au 28 février 2007 à Sapouy-Biéha, ont été saisies et traitées sur Excel. Les paramètres d'intérêt estimés dans chaque méthode d'inventaire forestier sont :

- les temps moyens effectifs de mesure d'une unité d'échantillonnage;
- les volumes moyens du bois sur pied à l'hectare;
- la richesse spécifique et l'abondance des espèces recensées.

Pour le calcul des volumes de bois sur pied, les tarifs de cubage ci-après ont été utilisés (Kaboré, 1997) :

$$\text{- Site de Banlo : } V(m^3) = 0,025383148 - 0,0057955506*d + 0,000549363*d^2 \quad [1]$$

$$\text{- Site de Matiacoali : } V(m^3) : 0,0088478656 - 0,003148652*d + 0,0004457205*d^2 \quad [2]$$

avec  $V$  = volume arbre (en  $m^3$ ) et  $d = d_{1,30m}$  (en cm).

L'estimation du volume de bois sur pied dans l'UAF9 du CAF de Sapouy-Biéha a consisté à calculer d'abord le poids du bois sur pied, puis à le convertir en  $m^3$  grâce à un coefficient de conversion. La fonction de régression utilisée a été élaborée à Sobaka (CAF du Nazinon) (DPF/INERA, 1998) :

$$P \text{ (kg)} = 30,368 - 7,055*d + 0,6775*d^2, \text{ avec } d = d_{1,30m} \text{ (en cm)}. \quad [3]$$

Le coefficient de conversion utilisé est :  $1 m^3 = 985 \text{ kg}$ .

##### 4.7.1 – Calcul des volumes de bois sur pied

Dans l'application de la technique d'échantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini, "Il s'est manifesté un certain consensus pour considérer que tout se passe comme si on avait installé une placette de surface définie :

$$s = \pi R^2_M \quad [4]$$

"contenant les  $M - 1$  premiers arbres et la moitié du  $M^{\text{ième}}$  arbre puisqu'il est à cheval sur le périmètre de la placette". Par conséquent, le nombre  $n$  d'arbres/ha est donné par la formule suivante :

$$n = 10\,000 * \frac{M - 0,5}{\pi R_M^2} \text{ (Duplat et Perrotte, 1981). [5] } R_M \text{ exprimé en m.}$$

Les deux auteurs ci-dessus cités montrent que cette façon de compter pour moitié ( $\mu = 0,5$ ) le  $M^{\text{ième}}$  arbre est erronée et conduit à des mesures biaisées, car la constante  $\mu$  doit être calculée en fonction de la distribution spatiale des arbres de chaque forêt à inventorier. Or, selon eux, on est très généralement incapable de caractériser *a priori* la distribution spatiale des arbres d'un peuplement à inventorier, et donc incapable de choisir la bonne valeur de  $\mu$ . Par pragmatisme, la solution consiste donc à faire systématiquement  $\mu = 0,5$ , mais avec l'inconvénient de conduire à un biais inconnu qui peut être très important.

La méthode du 4<sup>e</sup> arbre énonce aussi cette même formule dans la forme suivante :

$$\text{Densité/ha} = 10\,000 * \frac{\text{densité / placette} - 0,5}{\pi R_M^2}. \text{ [6]}$$

Cependant, la méthode du 3<sup>e</sup> arbre (Kouyaté, 1995) et la méthode du 4<sup>e</sup> arbre (Sylla, 1998, 2001, 2004) ne prennent pas en compte le volume de bois de l'arbre limite dans le calcul du volume de bois sur pied.

Par analogie à la formule [6] ci-dessus, il a été décidé de prendre en compte le volume de bois de l'arbre limite (*c'est-à-dire la moitié du volume de bois du  $M^{\text{ième}}$  arbre*) dans le calcul du volume de bois sur pied de chaque placette rapporté à l'hectare par la formule suivante :

$$\text{Volume/ha} = 10\,000 * \frac{\text{volume / placette} - \text{volume } M^{\text{ième}} \text{ arbre} / 2}{\pi R_M^2} \text{ [7]}$$

Conformément à l'objectif 3 des tests, le volume obtenu par l'application de la formule [7] sera comparé à celui calculé en ignorant le volume de bois de l'arbre limite par la formule suivante :

$$\text{Volume/ha} = 10\,000 * \frac{\text{volume / placette}}{\pi R_M^2} \text{ [8]}$$

#### 4.7.2 - Calcul de la richesse spécifique et de l'abondance des espèces recensées

L'applicabilité des trois méthodes d'inventaire forestier rapides est également étudiée à travers la diversité des espèces qu'elles ont permis de recenser. La raison en est que la valorisation des divers produits forestiers, en particulier des produits forestiers non ligneux, est essentiellement liée aux espèces végétales. La diversité des espèces a été alors mesurée à travers les paramètres suivants (Cemagref et Ecofor, 2004) :

- la *richesse spécifique* qui est le nombre total d'espèces dans la communauté étudiée ;
- l'*abondance* (absolue ou relative) qui tient à la fois compte de la présence et de la quantité d'individus qui représente chaque espèce rencontrée dans la communauté étudiée.

## 5 – Résultats et discussion

Il faut rappeler que les méthodes d'inventaire forestier rapides ont été testées ou conçues pour l'estimation rapide du volume de bois sur pied uniquement. Aussi, la densité des arbres ne figure pas parmi les résultats présentés ci-après.

### 5.1 – Résultats

#### 5.1.1 - Estimation du volume de bois sur pied sur les sites de Banlo et de Matiacoali

Le tableau 1 présente les volumes moyens à l'hectare de bois sur pied obtenus de l'application des méthodes d'inventaire forestier. L'inventaire témoin est représenté par PC1250 et l'échantillonnage avec des placettes de taille variable avec 3 arbres et avec 4 arbres par  $M = 3$  et  $M = 4$ , respectivement.

**Tableau 1 : Volumes de bois sur pied obtenus à Banlo et à Matiacoali**

Sites	Méthodes d'inventaire forestier			
	Paramètres	PC1250	M = 3	M = 4
Banlo	Superficie (ha)	488	488	488
	Nombre de placettes (n)	96	96	96
	Volume moyen/ha (m <sup>3</sup> )	45,07	42,94	43,06
Matiacoali	Superficie (ha)	496	496	496
	Nombre de placettes (n)	96	96	96
	Volume moyen/ha (m <sup>3</sup> )	15,50	29,12	23,81

#### 5.1.2 – Comparaison des volumes moyens de bois sur pied obtenus sur le site de Banlo

Le premier test de comparaison a consisté à faire l'analyse de variance des volumes moyens de bois sur pied obtenus. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Tableau d'analyse de variance des volumes moyens obtenus des trois méthodes d'inventaire forestier (Site de Banlo)**

Source de variation	Degrés de liberté (dl)	Sommes des carrés (SC)	Carrés moyens CM = SC/dl	Rapport F calculé	Valeur tabulaire de F
Entre méthodes d'inventaire	p - 1 = 2	273,868129	CM <sub>a</sub> = 136,9340645	0,01	3,15
Au sein d'une méthode d'inventaire	p(n-1) = 285	4079277,469	CM <sub>r</sub> = 14313,25428		
Total	pn - 1 = 287	4079551,337			

N.B : p = nombre de méthodes d'inventaire (ou traitements); n = nombre de placettes

La valeur de F calculée étant inférieure à la valeur tabulaire de F ( $F_{cal.} = 0,01 < F_{tab.} = 3,15$ ), l'hypothèse d'égalité des trois volumes moyens est acceptée au seuil de probabilité de 95%. En d'autres termes, les trois volumes moyens à l'hectare du bois sur pied obtenus de l'inventaire témoin (PC1250) et de l'échantillonnage avec des placettes de taille variable (M = 3 et M = 4) réalisés sur le site de Banlo sont statistiquement égaux.

#### 5.1.3 – Comparaison des volumes moyens de bois sur pied obtenus sur le site de Matiacoali

L'analyse de variance des volumes moyens obtenus sur le site de Matiacoali a donné les résultats présentés dans le tableau 3.

**Tableau 3 : Tableau d'analyse de variance des volumes moyens obtenus des trois méthodes d'inventaire forestier (Site de Matiacoali)**

Source de variation	Degrés de liberté (dl)	Sommes des carrés (SC)	Carrés moyens CM = SC/dl)	Rapport F calculé	Valeur tabulaire de F
Entre méthodes d'inventaire	p - 1 = 2	9049,998	CM <sub>a</sub> = 4524,999	3,09	3,15
Au sein d'une méthode d'inventaire	p(n-1) = 285	417581,251	CM <sub>r</sub> = 1465,1974		
Total	pn - 1 = 287	426631,249			

**N.B :** p = nombre de méthodes d'inventaire (ou traitements); n = nombre de placettes

La valeur de F calculée étant inférieure à la valeur tabulaire de F ( $F_{cal.} = 3,09 < F_{tab.} = 3,15$ ), l'hypothèse d'égalité des trois volumes moyens est acceptée au seuil de probabilité de 95%. En d'autres termes, les trois volumes moyens à l'hectare du bois sur pied obtenus de l'inventaire témoin (PC1250) et de l'échantillonnage avec des placettes de taille variable (M = 3 et M = 4) réalisés sur le site de Matiacoali sont statistiquement égaux.

#### 5.1.4 – Comparaison des volumes moyens de bois sur pied obtenus sur le site de Sapouy-Biéha

Un test de comparaison de moyennes a été effectué et a donné les résultats présentés dans le tableau 4 suivant. Il vise à vérifier l'hypothèse nulle  $H_0$  : les volumes moyens de bois sur pied obtenus avec ou sans considération du volume de bois de l'arbre limite sont égaux.

**Tableau 4 : Résultats du test de comparaison des volumes moyens de bois sur pied avec ou sans le volume de bois de l'arbre limite**

Technique d'échantillonnage	Taille de l'échantillon (n)	V1 <sub>moy</sub> * (m <sup>3</sup> /ha)	V2 <sub>moy</sub> ** (m <sup>3</sup> /ha)	t calculé (p=0,95)	H <sub>0</sub>
N = 3	65	75,42	60,87	2,99	Rejetée
M = 3	61	68,72	54,42	2,74	Rejetée
M = 4	61	53,15	47,70	5,59	Rejetée

\* : V1<sub>moy</sub>. : Sans considération du volume de bois de l'arbre limite - \*\* : V2<sub>moy</sub>. : Avec considération du volume de bois de l'arbre limite

Le tableau 4 montre dans les trois cas que  $t_{calculé} > t_{tabulaire} = 1,96$ , donc il y a une différence significative au seuil de probabilité de 95% entre les volumes moyens de bois sur pied sans considération du volume de bois de l'arbre limite et les volumes moyens de bois sur pied avec considération du volume de bois de l'arbre limite ( $H_0$  est rejetée). En d'autres termes, il faut tenir compte du volume de bois de l'arbre limite dans le calcul du volume de bois sur pied par hectare à chaque point d'échantillonnage, quelle que soit la méthode d'inventaire forestier utilisée. Dans le cas contraire, on introduit un biais dans l'estimation du volume de bois sur pied.

Plus prosaïquement, et au regard des volumes V1<sub>moy</sub>. et V2<sub>moy</sub>., la non prise en compte du volume de bois de l'arbre limite cause une surestimation du volume moyen de bois sur pied à l'hectare de 23,9%, 26,3% et 11,4%, respectivement avec N = 3, M = 3 et M = 4.

Au vu des résultats du tableau 4, un test de comparaison des volumes moyens par ha de bois sur pied avec considération du volume de l'arbre limite à chaque point d'échantillonnage a donné les résultats présentés dans le tableau 5 ci-après.

**Tableau 5 : Résultats du test de comparaison des volumes moyens de bois sur pied obtenus par les différentes techniques d'échantillonnage**

Méthode d'inventaire forestier	Taille de l'échantillon (n)	V2 <sub>moy.*</sub> (m <sup>3</sup> /ha)	t calculé (p=0,95)	H <sub>0</sub>
N = 3	65	60,87	0,52	Acceptée
M = 3	61	54,42		
Méthode d'inventaire forestier	Taille de l'échantillon (n)	V2 <sub>moy.</sub> (m <sup>3</sup> /ha)	t (p=0,95)	H <sub>0</sub>
N = 3	65	60,87	1,12	Acceptée
M = 4	61	47,7		
Méthode d'inventaire forestier	Taille de l'échantillon (n)	V2 <sub>moy.</sub> (m <sup>3</sup> /ha)	t (p=0,95)	H <sub>0</sub>
M = 3	61	54,42	-1,28	Acceptée
M = 4	61	47,7		

\* : V2moy. = Volume avec considération du volume de bois de l'arbre limite

Le tableau 5 montre dans les trois cas que  $t_{calculé} < t_{tabulaire} = 1,96$ , par conséquent les volumes moyens de bois obtenus par la méthode du 3<sup>e</sup> arbre et par l'échantillonnage avec des placettes circulaires de taille variable sont statistiquement égaux au seuil de probabilité de 95% (H<sub>0</sub> est acceptée).

#### 5.1.5 – Temps moyens effectifs de mesure dans les placettes

Le caractère rapide des méthodes d'inventaire forestier testées a été mesuré par le temps moyen de mesure d'une placette de taille variable (avec M = 3 et M = 4) et comparé au temps moyen de mesure d'une placette circulaire de 1 250 m<sup>2</sup>. Le tableau 6 présente les résultats obtenus.

**Tableau 6 : Temps moyens de mesure des placettes par méthode d'inventaire forestier**

Site	Méthodes d'inventaire forestier				
	PC1250	M = 3	M = 4	PR1250	N = 3
<b>Banlo</b>	20 mn	4 mn	5 mn	-	-
<b>Matiacoali</b>	14 mn	3 mn	4 mn	-	-
<b>Déh (Mali)</b>	-	-	-	13 mn 50 s	2 mn 14 s

L'examen du tableau 6 montre que les temps moyens consacrés à la mesure d'une placette circulaire de 1 250 m<sup>2</sup> (PC1250) et d'une placette rectangulaire de 1 250 m<sup>2</sup> (PR1250) (Koné, 1997) permettent de mesurer respectivement :

- 4 à 5 placettes de taille variable avec M = 3 et
- 3 à 4 placettes de taille variable avec M = 4, sur chacun des sites de Matiacoali et de Banlo;
- 6 placettes par la méthode du 3<sup>e</sup> arbre (N = 3).

#### 5.1.6 – Diversité des espèces recensées

La richesse spécifique par site et par méthode d'inventaire forestier est donnée dans le tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7 : Richesse spécifique par site et par méthode d'inventaire forestier

Technique d'échantillonnage	Site de Banlo	Site de Matiacoali	Site de Sapouy-B.
PC1250	66 espèces	46 espèces	-
M = 3	40 espèces	38 espèces	37 espèces
M = 4	42 espèces	39 espèces	44 espèces
N = 3	-	-	29 espèces

Les tableaux 8, 9 et 10 comparent en détail la richesse spécifique et l'abondance des espèces recensées dans l'inventaire forestier témoin, l'inventaire par échantillonnage avec des placettes de taille variable, et la méthode du 3<sup>e</sup> arbre.

Tableau 8 : Tableau comparatif des richesses spécifiques et des abondances des espèces recensées sur le site de Banlo

N° Ordre	Nom Espèce	PC1250 Banlo		M=3 Banlo		M=4 Banlo	
		Abondance		Abondance		Abondance	
		absolue	relative (%)	absolue	relative (%)	absolue	Relative (%)
1	<i>Acacia dudgeoni</i>	756	10,13	69	13,27	94	13,07
2	<i>Acacia macrostachya</i>	4	0,05	1	0,19	1	0,14
3	<i>Annona senegalensis</i>	11	0,15	2	0,38	3	0,42
4	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	177	2,37	10	1,92	12	1,67
5	<i>Balanites aegyptiaca</i>	4	0,05	-	-	-	-
6	<i>Bombax costatum</i>	3	0,04	-	-	-	-
7	<i>Bridelia ferruginea</i>	54	0,72	1	0,19	3	0,42
8	<i>Burkea africana</i>	555	7,44	30	5,77	43	5,98
9	<i>Cassia sieberiana</i>	15	0,20	-	-	-	-
10	<i>Celtis integrifolia</i>	1	0,01	-	-	-	-
11	<i>Combretum collinum</i>	93	1,25	5	0,96	9	1,25
12	<i>Combretum ghasalense</i>	640	8,58	54	10,38	69	9,60
13	<i>Combretum molle</i>	124	1,66	6	1,15	7	0,97
14	<i>Cordyla pinnata</i>	1	0,01	-	-	-	-
15	<i>Crossopteryx februfiga</i>	588	7,88	42	8,08	49	6,82
16	<i>Daniella oliveri</i>	172	2,30	9	1,73	10	1,39
17	<i>Detarium microcarpum</i>	858	11,50	49	9,42	63	8,76
18	<i>Dichrostachys cinerea</i>	4	0,05	1	0,19	1	0,14
19	<i>Diospyros mespiliformis</i>	114	1,53	10	1,92	15	2,09
20	<i>Entada africana</i>	92	1,23	6	1,15	9	1,25
21	<i>Ficus gnaphalocarpa</i>	11	0,15	-	-	-	-
22	<i>Ficus platiphylla</i>	11	0,15	1	0,19	1	0,14
23	<i>Gardenia erubescens</i>	1	0,01	-	-	-	-
24	<i>Grewia bicolor</i>	23	0,31	-	-	-	-
25	<i>Grewia lasiodiscus</i>	8	0,11	2	0,38	2	0,28
26	<i>Hannoa undulata</i>	23	0,31	-	-	1	0,14
27	<i>Hexalobus monopetalus</i>	73	0,98	2	0,38	7	0,97
28	<i>Hymenocardia acida</i>	25	0,33	9	1,73	10	1,39
29	<i>Isoberlinia doka</i>	54	0,72	6	1,15	7	0,97
30	<i>Khaya senegalensis</i>	9	0,12	-	-	-	-
31	<i>Landolphia heudoletti</i>	1	0,01	-	-	-	-
32	<i>Lannea acida</i>	66	0,88	9	1,73	12	1,67
33	<i>Lannea microcarpa</i>	19	0,25	1	0,19	2	0,28
34	<i>Lannea velutina</i>	77	1,03	4	0,77	4	0,56
35	<i>Lophira lanceolata</i>	10	0,13	-	-	-	-
36	<i>Maranthos polyandra</i>	183	2,45	7	1,35	14	1,95
37	<i>Mitragyna inermis</i>	168	2,25	2	0,38	2	0,28

38	<i>Nauclea latifolia</i>	109	1,46	15	2,88	23	3,20
39	<i>Parinari curatellifolia</i>	8	0,11	-	-	-	-
40	<i>Parkia biglobosa</i>	103	1,38	14	2,69	21	2,92
41	<i>Pericopsis laxiflora</i>	108	1,45	9	1,73	12	1,67
42	<i>Piliostigma thonningii</i>	93	1,25	10	1,92	16	2,23
43	<i>Prosopis africana</i>	22	0,29	1	0,19	3	0,42
44	<i>Pteleopsis suberosa</i>	80	1,07	4	0,77	3	0,42
45	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	2	0,03	-	-	-	-
46	<i>Saba senegalensis</i>	1	0,01	-	-	-	-
47	<i>Sterculia setigera</i>	5	0,07	-	-	-	-
48	<i>Strychnos spinosa</i>	72	0,96	6	1,15	9	1,25
49	<i>Tamarindus indica</i>	14	0,19	1	0,19	2	0,28
50	<i>Terminalia avicennioides</i>	87	1,17	5	0,96	4	0,56
51	<i>Terminalia laxiflora</i>	589	7,89	32	6,15	46	6,40
52	<i>Vitellaria paradoxa</i>	1006	13,48	80	15,38	122	16,97
53	<i>Vitex doniana</i>	7	0,09	1	0,19	2	0,28
54	<i>Ximenia americana</i>	18	0,24	1	0,19	2	0,28
55	<i>Ziziphus mucronata</i>	3	0,04	-	-	-	-
56	Non déterminée1	12	0,16	-	-	1	0,14
57	Non déterminée2	1	0,01	-	-	-	-
58	Non déterminée3	2	0,03	-	-	-	-
59	Non déterminée4	17	0,23	1	0,19	1	0,14
60	Non déterminée5	6	0,08	-	-	-	-
61	Non déterminée6	2	0,03	-	-	-	-
62	Non déterminée7	38	0,51	2	0,38	2	0,28
63	Non déterminée8	4	0,05	-	-	-	-
64	Non déterminée9	2	0,03	-	-	-	-
65	Non déterminée10	23	0,31	-	-	-	-
66	Non déterminée11	1	0,01	-	-	-	-
<b>Total</b>		<b>7463</b>	<b>100,00</b>	<b>520</b>	<b>100,00</b>	<b>719</b>	<b>100,00</b>

**Tableau 9 : Tableau comparatif des richesses spécifiques et des abondances des espèces recensées sur le site de Matiacoali**

N°	Nom	PC1250 Matiacoali		M = 3 Matiacoali		M = 4 Matiacoali	
		Abondance absolue	Abondance relative (%)	Abondance absolue	Abondance relative (%)	Abondance absolue	Abondance relative (%)
1	<i>Acacia dudgeoni</i>	530	6,63	147	9,58	180	8,14
2	<i>Acacia gourmaensis</i>	199	2,49	32	2,08	56	2,53
3	<i>Acacia macrostachya</i>	42	0,53	8	0,52	8	0,36
4	<i>Acacia pennata</i>	19	0,24	2	0,13	2	0,09
5	<i>Acacia senegal</i>	1	0,01	-	-	-	-
6	<i>Adansonia digitata</i>	3	0,04	1	0,07	2	0,09
7	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	407	5,09	38	2,48	65	2,94
8	<i>Balanites aegyptiaca</i>	61	0,76	9	0,59	17	0,77
9	<i>Bombax costatum</i>	32	0,40	7	0,46	9	0,41
10	<i>Boscia angustifolia</i>	2	0,03	1	0,07	1	0,05
11	<i>Capparis corymbosa</i>	2	0,03	-	-	-	-
12	<i>Combretum aculeatum</i>	1	0,01	-	-	-	-
13	<i>Combretum collinum</i>	64	0,80	12	0,78	19	0,86
14	<i>Combretum glutinosum</i>	417	5,21	94	6,12	154	6,97
15	<i>Combretum micranthum</i>	386	4,83	62	4,04	102	4,61
16	<i>Combretum nigricans</i>	4412	55,16	849	55,31	1234	55,81
17	<i>Commiphora africana</i>	51	0,64	25	1,63	26	1,18
18	<i>Crossopteryx februfiga</i>	155	1,94	24	1,56	36	1,63

19	<i>Detarium microcarpum</i>	150	1,88	56	3,65	65	2,94
20	<i>Dichrostachys glomerata</i>	2	0,03	1	0,07	1	0,05
21	<i>Diospyros mespiliformis</i>	4	0,05	-	-	-	-
22	<i>Entada africana</i>	33	0,41	5	0,33	7	0,32
23	<i>Gardenia erubescens</i>	41	0,51	8	0,52	14	0,63
24	<i>Grewia flavescens</i>	12	0,15	6	0,39	9	0,41
25	<i>Grewia mollis</i>	366	4,58	42	2,74	56	2,53
26	<i>Hymenocardia acida</i>	61	0,76	16	1,04	19	0,86
27	<i>Lannea acida</i>	13	0,16	6	0,39	9	0,41
28	<i>Lannea microcarpa</i>	6	0,08	2	0,13	1	0,05
29	<i>Maerua angolensis</i>	1	0,01	-	-	-	-
30	<i>Maytenus senegalensis</i>	5	0,06	-	-	-	-
31	<i>Parkia biglobosa</i>	2	0,03	-	-	-	-
32	<i>Piliostigma reticulatum</i>	14	0,18	6	0,39	5	0,23
33	<i>Piliostigma thonningii</i>	37	0,46	2	0,13	4	0,18
34	<i>Prosopis africana</i>	10	0,13	1	0,07	1	0,05
35	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	15	0,19	6	0,39	8	0,36
36	<i>Saba senegalensis</i>	1	0,01	2	0,13	2	0,09
37	<i>Sclerocarya birrea</i>	9	0,11	2	0,13	5	0,23
38	<i>Sterculia setigera</i>	40	0,50	6	0,39	11	0,50
39	<i>Stereospermum kunthianum</i>	1	0,01	1	0,07	1	0,05
40	<i>Strychnos spinosa</i>	46	0,58	12	0,78	12	0,54
41	<i>Tamarindus indica</i>	12	0,15	-	-	2	0,09
42	<i>Terminalia avicennioides</i>	102	1,28	8	0,52	18	0,81
43	<i>Vitellaria paradoxa</i>	220	2,75	29	1,89	43	1,94
44	<i>Ximения americana</i>	4	0,05	3	0,20	3	0,14
45	<i>Ziziphus mauritiana</i>	2	0,03	2	0,13	2	0,09
46	<i>Ziziphus mucronata</i>	6	0,08	2	0,13	2	0,09
<b>Total</b>		<b>7999</b>	<b>100,00</b>	<b>1535</b>	<b>100,00</b>	<b>2211</b>	<b>100,00</b>

**Tableau 10 : Tableau comparatif des richesses spécifiques et des abondances des espèces recensées sur le site de Sapouy-Biéha**

N°	Technique de sondage : Nom	M = 4 – Sapouy-Biéha		M = 3 - Sapouy-Biéha		N = 3 - Sapouy-Biéha	
		Fréquence absolue	Fréquence relative	Fréquence absolue	Fréquence relative	Fréquence absolue	Fréquence relative
1	<i>Acacia dudgeoni</i>	17	2,90	17	3,63	7	3,59
2	<i>Acacia macrostachya</i>	10	1,70	9	1,92	2	1,03
3	<i>Acacia seyal</i>	2	0,34	2	0,43	1	0,51
4	<i>Adansonia digitata</i>	1	0,17	-	-	-	-
5	<i>Afromosia laxiflora</i>	11	1,87	9	1,92	3	1,54
6	<i>Balanites aegyptiaca</i>	2	0,34	2	0,43	2	1,03
7	<i>Bombax costatum</i>	1	0,17	1	0,21	-	-
8	<i>Bridelia ferruginea</i>	6	1,02	5	1,07	3	1,54
9	<i>Burkea africana</i>	39	6,64	29	6,20	13	6,67
10	<i>Combretum glutinosum</i>	3	0,51	4	0,85	3	1,54
11	<i>Combretum molle</i>	2	0,34	2	0,43	-	-
12	<i>Combretum nigricans</i>	7	1,19	6	1,28	3	1,54
13	<i>Cordyla pinnata</i>	1	0,17	1	0,21	1	0,51
14	<i>Crossopteryx februfiga</i>	37	6,30	35	7,48	10	5,13
15	<i>Daniella oliveri</i>	8	1,36	5	1,07	-	-
16	<i>Detarium microcarpum</i>	133	22,66	91	19,44	46	23,59
17	<i>Dichrostachys cinerea</i>	1	0,17	-	-	-	-
18	<i>Diospyros mespiliformis</i>	1	0,17	1	0,21	-	-

19	<i>Entada africana</i>	17	2,90	18	3,85	9	4,62
20	<i>Feretia apodanthera</i>	1	0,17	1	0,21	1	0,51
21	<i>Gardenia erubescens</i>	11	1,87	8	1,71	3	1,54
22	<i>Grewia bicolor</i>	1	0,17	1	0,21	-	-
23	<i>Hannoa undulata</i>	5	0,85	4	0,85	1	0,51
24	<i>Isoberlinia doka</i>	1	0,17	1	0,21	1	0,51
25	<i>Lannea acida</i>	29	4,94	21	4,49	11	5,64
26	<i>Lannea microcarpa</i>	4	0,68	2	0,43	-	-
27	<i>Maytenus senegalensis</i>	3	0,51	-	-	-	-
28	<i>Ostryoderris stuhlmannii</i>	3	0,51	2	0,43	2	1,03
29	<i>Parinari polyandra</i>	1	0,17	-	-	-	-
30	<i>Piliostigma thonningii</i>	25	4,26	21	4,49	7	3,59
31	<i>Prosopis africana</i>	3	0,51	2	0,43	1	0,51
32	<i>Pseudocedrela kotschyi</i>	1	0,17	1	0,21	1	0,51
33	<i>Pteleopsis suberosa</i>	8	1,36	4	0,85	1	0,51
34	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	11	1,87	8	1,71	3	1,54
35	<i>Pterocarpus lucens</i>	3	0,51	2	0,43	3	1,54
36	<i>Securidaca longepedunculata</i>	1	0,17	-	-	-	-
37	<i>Sterculia setigera</i>	3	0,51	3	0,64	-	-
38	<i>Strychnos spinosa</i>	11	1,87	10	2,14	5	2,56
39	<i>Tamarindus indica</i>	1	0,17	-	-	-	-
40	<i>Terminalia avicennioides</i>	74	12,61	65	13,89	27	13,85
41	<i>Terminalia laxiflora</i>	2	0,34	2	0,43	-	-
42	<i>Trichilia emetica</i>	1	0,17	-	-	-	-
43	<i>Vitellaria paradoxa</i>	81	13,80	70	14,96	23	11,79
44	<i>Ximenia americana</i>	4	0,68	3	0,64	2	1,03
<b>Total</b>	-	<b>587</b>	<b>100,00</b>	<b>468</b>	<b>100,00</b>	<b>195</b>	<b>100,00</b>

Les tableaux 11, 12 et 13, quant à eux, présentent les dix espèces les plus dominantes (abondantes) par site et par méthode d'inventaire forestier.

Tableau 11 : Les dix espèces les plus abondantes selon le relevé sur le site de Banlo

N°	PC1250 Banlo			M=3 Banlo			M=4 Banlo			
	Nom	Abondance		Nom	Abondance		Nom	Abondance		
		Ordre	Espèce		absolue	relative (%)		Espèce	absolue	relative (%)
1		<i>Vitellaria paradoxa</i>	1006	13,48	<i>Vitellaria paradoxa</i>	80	15,38	<i>Vitellaria paradoxa</i>	122	16,97
2		<i>Detarium microcarpum</i>	858	11,50	<i>Acacia dudgeoni</i>	69	13,27	<i>Acacia dudgeoni</i>	94	13,07
3		<i>Acacia dudgeoni</i>	756	10,13	<i>Combretum ghasalense</i>	54	10,38	<i>Combretum ghasalense</i>	69	9,60
4		<i>Combretum ghasalense</i>	640	8,58	<i>Detarium microcarpum</i>	49	9,42	<i>Detarium microcarpum</i>	63	8,76
5		<i>Terminalia laxiflora</i>	589	7,89	<i>Crossopteryx februfiga</i>	42	8,08	<i>Crossopteryx februfiga</i>	49	6,82
6		<i>Crossopteryx februfiga</i>	588	7,88	<i>Terminalia laxiflora</i>	32	6,15	<i>Terminalia laxiflora</i>	46	6,40
7		<i>Burkea africana</i>	555	7,44	<i>Burkea africana</i>	30	5,77	<i>Burkea africana</i>	43	5,98
8		<i>Maranthes polyandra</i>	183	2,45	<i>Nauclea latifolia</i>	15	2,88	<i>Nauclea latifolia</i>	23	3,20
9		<i>Anogeissus leiocarpus</i>	177	2,37	<i>Parkia biglobosa</i>	14	2,69	<i>Parkia biglobosa</i>	21	2,92
10		<i>Daniella oliveri</i>	172	2,30	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	10	1,92	<i>Piliostigma thonningii</i>	16	2,23
<b>Total</b>		-	<b>5524</b>	<b>74,02</b>	-	<b>395</b>	<b>75,96</b>	-	<b>546</b>	<b>75,94</b>

Tableau 12 : Les dix espèces les plus abondantes sur le site de Matiacoali

N°	PC1250 Matiacoali			M = 3 Matiacoali			M = 4 Matiacoali			
	Nom	Abondance		Nom	Abondance		Nom	Abondance		
		Ordre	Espèce		absolue	relative (%)		Espèce	absolue	relative (%)
1		<i>Combretum nigricans</i>	4412	55,16	<i>Combretum nigricans</i>	849	55,31	<i>Combretum nigricans</i>	1234	55,81
2		<i>Acacia dudgeoni</i>	530	6,63	<i>Acacia dudgeoni</i>	147	9,58	<i>Acacia dudgeoni</i>	180	8,14
3		<i>Combretum glutinosum</i>	417	5,21	<i>Combretum glutinosum</i>	94	6,12	<i>Combretum glutinosum</i>	154	6,97
4		<i>Anogeissus leiocarpus</i>	407	5,09	<i>Combretum micranthum</i>	62	4,04	<i>Combretum micranthum</i>	102	4,61
5		<i>Combretum micranthum</i>	386	4,83	<i>Detarium microcarpum</i>	56	3,65	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	65	2,94
6		<i>Grewia mollis</i>	366	4,58	<i>Grewia mollis</i>	42	2,74	<i>Detarium microcarpum</i>	65	2,94
7		<i>Vitellaria paradoxa</i>	220	2,75	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	38	2,48	<i>Acacia gourmaensis</i>	56	2,53
8		<i>Acacia gourmaensis</i>	199	2,49	<i>Acacia gourmaensis</i>	32	2,08	<i>Grewia mollis</i>	56	2,53
9		<i>Crossopteryx februfiga</i>	155	1,94	<i>Vitellaria paradoxa</i>	29	1,89	<i>Vitellaria paradoxa</i>	43	1,94
10		<i>Detarium microcarpum</i>	150	1,88	<i>Commiphora africana</i>	25	1,63	<i>Crossopteryx februfiga</i>	36	1,63
<b>Total</b>		-	<b>7242</b>	<b>90,54</b>	-	<b>1374</b>	<b>89,51</b>	-	<b>1991</b>	<b>90,05</b>

Tableau 13 : Les dix espèces les plus abondantes sur le site de Sapouy-Biéha

N° Ordre	M = 4 Sapouy-Biéha			M = 3 Sapouy-Biéha			N = 3 Sapouy-Biéha		
	Nom Espèce	Abondance		Nom Espèce	Abondance		Nom Espèce	Abondance	
		absolue	relative (%)		absolue	relative (%)		absolue	relative (%)
1	<i>Detarium microcarpum</i>	133	22,66	<i>Detarium microcarpum</i>	91	19,44	<i>Detarium microcarpum</i>	46	23,59
2	<i>Vitellaria paradoxa</i>	81	13,80	<i>Vitellaria paradoxa</i>	70	14,96	<i>Terminalia avicennioides</i>	27	13,85
3	<i>Terminalia avicennioides</i>	74	12,61	<i>Terminalia avicennioides</i>	65	13,89	<i>Vitellaria paradoxa</i>	23	11,79
4	<i>Burkea africana</i>	39	6,64	<i>Crossopteryx februfiga</i>	35	7,48	<i>Burkea africana</i>	13	6,67
5	<i>Crossopteryx februfiga</i>	37	6,30	<i>Burkea africana</i>	29	6,20	<i>Lannea acida</i>	11	5,64
6	<i>Lannea acida</i>	29	4,94	<i>Lannea acida</i>	21	4,49	<i>Crossopteryx februfiga</i>	10	5,13
7	<i>Piliostigma thonningii</i>	25	4,26	<i>Piliostigma thonningii</i>	21	4,49	<i>Entada africana</i>	9	4,62
8	<i>Acacia dudgeoni</i>	17	2,90	<i>Entada africana</i>	18	3,85	<i>Acacia dudgeoni</i>	7	3,59
9	<i>Entada africana</i>	17	2,90	<i>Acacia dudgeoni</i>	17	3,63	<i>Piliostigma thonningii</i>	7	3,59
10 ex aequo	<i>Afromosia laxiflora</i>	11	1,87	<i>Strychnos spinosa</i>	10	2,14	<i>Strychnos spinosa</i>	5	2,56
10 ex aequo	<i>Gardenia erubescens</i>	11	1,87	-	-	-	-	-	-
10 ex aequo	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	11	1,87	-	-	-	-	-	-
10 ex aequo	<i>Strychnos spinosa</i>	11	1,87	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	-	<b>496</b>	<b>84,50</b>	-	<b>377</b>	<b>80,56</b>	-	<b>158</b>	<b>81,03</b>

L'examen du tableau 11 montre que les dix espèces les plus abondantes comptent pour au moins 74% à presque 76% des espèces recensées sur le site de Banlo. Parmi ces dix espèces, *Vitellaria paradoxa* (karité) est l'espèce la plus dominante (13,48% à 16,97%) indépendamment de la méthode d'inventaire forestier utilisée. Cependant, cette dominance est modérée en comparaison avec les neuf autres espèces les plus abondantes sur le site de Banlo.

Tel n'est pas le cas sur le site de Matiacoali (tableau 12) où *Combretum nigricans* est la plus dominante des dix espèces les plus abondantes, avec respectivement 55,16%, 55,31% et 55,81% des relevés selon la méthode d'inventaire forestier appliquée. Les dix espèces les plus abondantes représentent, quant à elles, 89,51% à 90,54% des espèces recensées sur le site de Matiacoali. De ces dix espèces, quatre espèces de combrétacée forment à elles seules 67,95% à 70,28%, en relation avec la méthode d'inventaire forestier appliquée. Ces chiffres montrent bien que le site de Matiacoali est occupé de formations forestières à combrétacées.

*Il découle de l'analyse ci-dessus que les espèces dominantes recensées avec l'échantillonnage témoin et avec la méthode du 4<sup>e</sup> arbre permettent de caractériser pratiquement les mêmes types de peuplement forestier (avec les 5 premières espèces dominantes, par exemple).*

Quant au site de Sapouy-Biéha (tableau 13), trois espèces émergent des dix espèces les plus abondantes : il s'agit de *Detarium microcarpum*, *Vitellaria paradoxa* et *Terminalia avicennioides*. Ces trois espèces représentent 48,29% à 49,23% des relevés selon la méthode d'inventaire forestier appliquée ; *Detarium microcarpum* présente une dominance plus ou moins nette par rapport à l'espèce immédiatement suivante.

*On constate en outre que les espèces dominantes inventoriées par la méthode du 3<sup>e</sup> arbre et par la méthode du 4<sup>e</sup> arbre permettent de caractériser des types de peuplement forestier quelque peu différents, sans doute à cause de la sous-estimation plus importante de la diversité spécifique par la méthode du 3<sup>e</sup> arbre.*

## 5.2 – Discussion

La discussion porte essentiellement sur les conditions d'application des méthodes d'inventaire forestier rapides dont l'applicabilité a été confirmée par les différents tests.

### 5.2.1 – Avantages et limites des méthodes rapides d'inventaire forestier testées

Les avantages et les limites des méthodes d'inventaire forestier rapides sont appréciés par rapport aux méthodes d'inventaire forestier témoins (échantillonnage systématique avec des placettes circulaires de 1 250 m<sup>2</sup>, et des placettes rectangulaires de 1 250 m<sup>2</sup>).

#### 5.2.1.1 – Echantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini

- Les avantages de la méthode du 3<sup>e</sup> arbre sont :
  - Réduction du temps de travail et partant des coûts de mesure des placettes (cf. §5.1.5);
  - Collecte des informations par placette aisée ;
  - Prise en compte de la répartition spatiale des arbres ;
  - Absence de placettes vides.
- Les limites de la méthode sont :
  - Diversité spécifique très sous-estimée, c'est-à-dire qu'elle rend moins compte de la composition floristique des forêts inventoriées;

- Densité des arbres à l'hectare sous-estimée (Koné, 1997). *Garder à l'esprit que la méthode est applicable pour l'estimation rapide du volume de bois sur pied.*

#### 5.2.1.2 – Echantillonnage avec des placettes de taille variable

- Les avantages de la méthode du M<sup>ième</sup> sont :
  - Réduction du temps de travail et partant des coûts de mesure des placettes (cf. §5.1.5);
  - Collecte des informations par placette aisée ;
  - Prise en compte de la répartition spatiale des arbres ;
  - Absence de placettes vides.
- Les limites de la méthode sont :
  - Exigence de rigueur dans l'identification des M arbres ;
  - Diversité spécifique sous-estimée, c'est-à-dire qu'elle rend moins compte de la composition floristique des forêts inventoriées;
  - Surestimation de la densité des arbres à l'hectare (Kaboré, 2006). *Garder à l'esprit que la méthode est conçue pour l'estimation rapide du volume de bois sur pied.*

#### 5.2.2 – Choix de méthode à appliquer sur le terrain

Le choix de l'une des quatre (04) méthodes d'inventaire forestier dépend avant tout de l'objectif de l'inventaire forestier à réaliser. Mais l'on doit retenir que la gestion intégrée par la valorisation des produits forestiers non ligneux notamment, requiert une bonne connaissance de la composition floristique et de l'abondance des espèces ligneuses des forêts à aménager. De ce point de vue, et étant donné que les quatre méthodes d'inventaire forestier permettent d'obtenir des volumes de bois sur pied statistiquement égaux, celles-ci peuvent être classées selon l'ordre de préférence suivant (cf. §5.1.6) :

1. Echantillonnage systématique avec des placettes circulaires de 1 250 m<sup>2</sup> chacune ;
2. Echantillonnage avec des placettes de taille variable avec M = 4 (méthode du 4<sup>e</sup> arbre);
3. Echantillonnage avec des placettes de taille variable avec M = 3 ;
4. Echantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini à 3 (méthode du 3<sup>e</sup> arbre).

***Le choix entre les méthodes d'inventaire forestier rapides doit privilégier :***

- la méthode du 4<sup>e</sup> arbre parce qu'elle permet de recenser plus d'espèces ligneuses avec une différence de temps de mesure d'une placette peu significative (une minute) par rapport à M = 3 ;
- la méthode du 3<sup>e</sup> arbre lorsqu'une bonne connaissance de la composition floristique n'est pas nécessaire.

#### 5.2.2 – Notion d'estimation minimum probable et quota de prélèvement du bois-énergie

Un des soucis majeurs de la gestion forestière durable au Sahel en général et au Burkina en particulier est la possibilité de prévoir avec une fiabilité acceptable les productions forestières attendues et partant les quotas annuels de prélèvement du bois pendant toute la durée de l'aménagement forestier. A cet égard, de nombreuses théories relatives au quota annuel de prélèvement existent, mais leur applicabilité aux écosystèmes forestiers sahéliens et soudaniens n'est pas du tout évidente (Kaboré, 2002 et 2005). Pour pallier cette difficulté, des formules de fixation des quotas, propres aux formations forestières du Sahel, sont proposées (Kaboré *et al.* 2005).

Mais dans la pratique au Burkina, le quota de bois-énergie à prélever chaque année dans une parcelle de coupe est habituellement déterminé à partir du volume moyen à l'hectare de bois sur pied calculé lors de l'inventaire forestier initial entrant dans le cadre de la rédaction du plan d'aménagement forestier ; alors que l'idéal est que le quota soit fixé à partir du résultat d'un inventaire forestier réalisé avant la coupe d'une parcelle. Il s'en suit que l'application de ce volume moyen de bois sur pied calculé pour une forêt donnée à une parcelle de coupe conduit le plus souvent à une surestimation du quota de prélèvement et partant à une surexploitation des parcelles forestières concernées.

Une des solutions supplémentaires à ce problème va consister à fixer le quota de bois-énergie à prélever à l'aide de l'estimation minimum probable (Husch *et al.* 1972 ; FAO, 1981).

L'estimation minimum probable (Reliable Minimum Estimate = RME, en anglais) exprime la quantité minimum probable à un seuil de probabilité donné. Ainsi, l'on recherchera le quota minimum de bois-énergie à prélever au seuil de probabilité de 95%, déterminé à partir de la valeur de RME donnée par la formule suivante :

$$\text{RME} = \bar{x} - s_{\bar{x}} t = \bar{x} - 1,64 s_{\bar{x}}, \text{ quand } n \geq 30. \text{ Avec :}$$

$\bar{x}$  = volume moyen /ha de bois sur pied  
 $s_{\bar{x}}$  = Ecart-type de la moyenne et  
 $t$  = valeur de  $t$  de Student.

La valeur de  $t$  est lue dans la sous colonne « 5% » de la colonne « *Test unilatéral* » de la table de distribution de  $t$  de Student, avec  $n-1$  degrés de liberté (ddl) ;  $n$  = taille de l'échantillon de placettes inventoriées (*Annexe 4*). Au seuil de probabilité de 95%,  $t = 1,64$  quand  $n$  est grand ( $n \geq 30$ ). Quand  $n$  est petit ( $n < 30$ ), la valeur de  $t$  doit être lue dans la sous colonne « 5% » de la colonne « *Test unilatéral* » de la table (*Annexe 4*), avec  $n - 1$  ddl.

En guise d'illustration, le tableau 14 présente les valeurs de RME calculées à partir des volumes moyens à l'hectare de bois sur pied avec considération du volume de bois de l'arbre limite obtenus sur le site de Sapouy-Biéha.

**Tableau 14 : Valeurs de RME obtenues des volumes moyens de bois sur pied (Site de Sapouy-Biéha)**

Type d'échantillonnage	Taille Echantillon	Volumes moyens	$s_{\bar{x}} t$	RME
Site de sapouy-Biéha	(n)	(m <sup>3</sup> /ha)	$t (p=0,95) = 1,64$	(m <sup>3</sup> /ha)
M = 4 - SAPOUY-BIEHA	61	47,70	10,25	37,45
M = 3 - SAPOUY-BIEHA	61	54,42	12,38	42,04
N = 3 - SAPOUY-BIEHA	65	60,87	16,13	44,74

Les écarts entre les volumes moyens et les valeurs de RME sont d'autant plus grands que les erreurs d'échantillonnage associées aux volumes moyens sont grandes.

Par ailleurs, il n'est pas interdit d'utiliser tout simplement la limite inférieure de l'intervalle de confiance (IC) au seuil de probabilité de 95% pour fixer le quota minimum de bois-énergie à prélever dans une parcelle annuelle de coupe :

$$\text{IC} = \bar{x} \pm s_{\bar{x}} t = \bar{x} \pm 1,96 s_{\bar{x}}, \text{ quand } n \geq 30.$$

Quand  $n < 30$ , lire la valeur de  $t$  dans la sous colonne « 5% » de la colonne « *Test bilatéral* » (*Annexe 4*), avec  $n - 1$  ddl.

### 5.2.3 - Règles d'application des méthodes d'inventaire forestier du 3<sup>e</sup> arbre et du 4<sup>e</sup> arbre

Les règles suivantes doivent être respectées en vue de garantir la fiabilité des résultats obtenus de l'application des méthodes du 3<sup>e</sup> arbre et du 4<sup>e</sup> arbre :

- Règle 1 : La méthode du 3<sup>e</sup> arbre et la méthode du 4<sup>e</sup> arbre s'appliquent uniquement aux inventaires forestiers au niveau local (forêt, unité d'aménagement forestier, parcelle forestière) pour estimer rapidement le volume de bois-énergie sur pied. Elles ne conviennent pas a priori aux inventaires forestiers régionaux, a fortiori nationaux.
- Règle 2 : l'échantillon de placettes à mesurer ( $n$ ) doit être systématiquement réparti sur l'ensemble du massif forestier qui fait l'objet d'inventaire forestier, comme il est de règle dans l'échantillonnage systématique.

Pour l'application de méthode du 4<sup>e</sup> arbre, la règle veut que l'on trace un ou quelques transects selon la toposéquence à travers le massif forestier, le long duquel sont implantées systématiquement au minimum 30 placettes en fonction de l'hétérogénéité des peuplements de la forêt (Sylla, 2004). Ce procédé comporte une part très importante de subjectivité dans le choix de l'emplacement du (ou des) transect(s), ce qui entache à coup sûr la fiabilité des résultats. En effet, et dans la pratique, il est préconisé, pour l'application de cette méthode d'inventaire forestier rapide, d'élaborer le plan de sondage sur soit une carte topographique, soit une carte sommaire réalisée au GPS ou dans le meilleur des cas une carte de végétation actualisée; il n'est pas prévu la réalisation préalable d'une cartographie détaillée et actuelle de l'occupation des terres de la forêt à inventorier. Dans ces conditions et dans un contexte foncier caractérisé par un rythme effréné de changements d'occupation des terres que subissent les superficies forestières, on mesure toute l'importance d'un échantillonnage systématique classique ; celui-ci va en effet compenser la non disponibilité de cartes d'occupation des terres convenables sans rien enlever au caractère rapide de la méthode du 4<sup>e</sup> arbre, et contribuer ainsi à assurer une fiabilité satisfaisante des résultats.

- Règle 3 : Déterminer la taille de l'échantillon  $n$  par la formule :  $n = \frac{t^2 CV^2}{e^2}$ ,

où  $CV$  = coefficient de variation exprimé en %,

$e$  = précision (erreur d'échantillonnage relative) souhaitée des résultats, exprimée en %,

$t$  (Student) = 2.

Calculer  $CV$  à partir des données d'un inventaire forestier antérieur ; à défaut, réaliser un inventaire forestier pilote pour son calcul, avec la méthode retenue pour l'inventaire forestier proprement dit de la forêt : prendre alors un échantillon de taille  $n = 30$  placettes au moins. Ou alors se fixer un échantillon de taille  $n$  en fonction du temps et des moyens, surtout financiers, disponibles. Dans ce dernier cas, on ne contrôle pas la précision des résultats de l'inventaire forestier.

La précision réaliste et acceptable du fait de la modicité des moyens financiers généralement disponibles pour la réalisation des inventaires forestiers sera  $e = 10\%$ .

- Règle 4 : dans le souci de minimiser le temps de cheminement entre les placettes sur un même layon, un maillage rectangulaire sera privilégié pour offrir la possibilité de fixer à souhait la distance entre les placettes.

La formule suivante permet de calculer la surface d'une maille :  $S_m = \frac{S}{n}$

avec :  $S_m$  = surface de la maille;  $S$  = surface totale de la forêt à inventorier;  $n$  = taille de l'échantillon (nombre de placettes).

Dans le cas d'un maillage carré, le côté d'une maille est égal à  $\sqrt{S_m}$ . Lorsqu'il s'agit d'un maillage rectangulaire, une distance de marche de 200 m à 400 m au maximum entre les placettes (largeur du rectangle) sera privilégiée. La distance entre les layons (longueur du rectangle) se déduit de la formule de la surface d'un rectangle. Les nœuds des mailles d'un plan d'échantillonnage, c'est-à-dire les sommets des quadrilatères, constituent les centres des placettes.

- *Règle 5 : les 3 arbres ou les 4 arbres doivent être minutieusement identifiés à chaque point de sondage, quelle que soit la distribution spatiale des arbres afin d'éviter l'erreur d'implantation de la placette.*

En effet, l'implantation d'une unité d'échantillonnage doit se faire avec beaucoup de précaution car "l'erreur sur la taille de la placette est la plus grave qui puisse affecter l'inventaire par échantillonnage" (Duplat et Perrotte, 1981). L'existence de vides et de parties claires dans des peuplements forestiers conduit à se fixer une distance maximum du centre de la placette, au-delà de laquelle on arrêtera de toutes façons la recherche du 3<sup>e</sup> arbre ou du 4<sup>e</sup> arbre. Dans ce cas, l'expérience recommande que la placette soit implantée en prenant comme rayon maximum  $R_{Mx} = 50$  m.

**Le critère d'identification des 4 arbres est la hauteur totale  $h \geq 5$  m** : l'identification *rigoureuse* des 4 arbres passe par la mesure correcte des hauteurs des arbres susceptibles d'éligibilité (cf. §4.2 et fig.2).

- *Règle 6 : à l'intérieur de la placette implantée, seuls les 3 arbres de  $C_{1,30cm} \geq 15$  cm ou de  $d_{1,30m} \geq 05$  cm sont mesurés dans le cas de la méthode du 3<sup>e</sup> arbre. Dans le cas de la méthode du 4<sup>e</sup> arbre, tous les arbres, y compris les 4 arbres, de  $C_{1,30cm} \geq 15$  cm ou de  $d_{1,30m} \geq 05$  cm sont mesurés. Le 3<sup>e</sup> arbre ou le 4<sup>e</sup> arbre doit être  systématiquement et toujours mesuré le premier, immédiatement après l'implantation de la placette. Le volume de bois du 3<sup>e</sup> arbre ou du 4<sup>e</sup> arbre comptera pour moitié dans le calcul du volume de bois sur pied de chaque placette. Pour permettre d'identifier aisément le 3<sup>e</sup> arbre ou le 4<sup>e</sup> arbre au moment de la saisie et du traitement des données, sa  $C_{1,30cm}$  ou son  $d_{1,30m}$  sera noté, sur la fiche de relevé, en tête de la liste des données de chaque placette.*

Il faut insister sur le fait que c'est le volume de bois du 3<sup>e</sup> arbre ou du 4<sup>e</sup> arbre qui est divisé par 2, et non sa grosseur ( $C_{1,30cm}$  ou  $d_{1,30m}$ ). Autrement dit, le volume de bois de l'arbre limite n'est pas estimé par application d'un tarif de cubage à son demi  $d_{1,30m}$  ou à sa demi  $C_{1,30cm}$ , mais à sa grosseur normale ( $C_{1,30cm}$  ou  $d_{1,30m}$ ). Le volume de bois qui en résulte est alors divisé par 2.

En prenant en compte le volume de bois de l'arbre limite (3<sup>e</sup> arbre ou 4<sup>e</sup> arbre), le volume de bois sur pied rapporté à l'hectare à chaque point d'échantillonnage est obtenu par la formule suivante :

$$Volume/ha = 10\,000 * \frac{volume / placette - volume M^{ième} arbre / 2}{\pi R_M^2}$$

## Conclusion

Le caractère simplifié de la méthode du 3<sup>e</sup> arbre et de la méthode du 4<sup>e</sup> arbre réside également dans le mode de calcul du volume moyen de bois sur pied à l'hectare. Les opérations du calcul sont les suivantes (Kouyaté, 1995 ; Sylla, 1998, 2001, 2004) :

1 - Comptage du nombre total d'arbres par type de bois (bois vert ou bois mort) et par classe de circonférence, contenu dans une placette ;

2 - Passage de l'effectif au volume d'une placette par application des quotients définis pour chaque classe de circonférence en fonction du zonage climatique [*Exemple de fiche de dépouillement (Placettes confondues) ci-dessous*] OU

3 - Calcul du volume à partir des tarifs de cubage ;

Variable	Classes de circonférence													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Effectif total	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14
Quotient	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14
Volume	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14

4 - Volume total des placettes :  $V = \sum_{i=1}^{n'} V_i$ , avec  $V_i = E_i * Q_i$ ;  $E_i$  = effectif par classe de circonférence et  $n'$  = nombre de classes de circonférence;

5 - Volume moyen par placette :  $V_m = \frac{V}{n}$ ;  $n$  = nombre de placettes ;

6 - Rayon moyen de placette :  $R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_{pi}}{n}$ ;  $R_{pi}$  = rayon de placette  $i$  ;  $n$  = nombre de placettes ;

7 - Surface moyenne de placette :  $S_m = \pi * R_m^2$  ;

8 - Volume moyen à l'hectare =  $\frac{V_m}{S_m}$  (ha).

Le quotient  $Q_i$  est calculé comme suit : par classe de circonférence, déterminer le volume individuel d'un échantillon de  $x_i$  arbres.  $Q_i$  par classe de circonférence  $i$  est obtenu par la formule suivante :  $Q_i = \frac{V_i'}{x_i}$ ,  $V_i'$  étant le volume total des  $x_i$  arbres par classe de circonférence.

L'inconvénient majeur de ce mode de calcul, en plus du fait qu'il ignore le volume de bois de l'arbre limite, est qu'il n'offre pas la possibilité de calculer la précision du volume moyen de bois sur pied estimé à l'hectare, indicateur de la qualité des estimations par échantillonnage. L'effet combiné de ces deux inconvénients est la surestimation plus ou moins importante selon que l'échantillon de placettes inventoriées est représentatif ou non, des quotas de prélèvement du bois-énergie déterminés à partir des volumes moyens/ha de bois sur pied fournis par les deux méthodes du 3<sup>e</sup> arbre et du 4<sup>e</sup> arbre. A cet égard, les règles 2 et 3 des règles d'application des méthodes du 3<sup>e</sup> arbre et du 4<sup>e</sup> arbre d'inventaire forestier rapide (cf. §5.2.3) sont pleinement justifiées.

## Bibliographie

**Cailliez, F., 1980** : *Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers avec référence particulière aux forêts tropicales. Vol. 1 : estimation des volumes.* Etude FAO : Forêts 22/1, Rome. 99 p.

**Cemagref et Ecofor, 2004** : *Biodiversité et gestion forestière. Connaître pour préserver. Synthèse bibliographique.* Coordination : Marion Gosselin, Olivier Laroussinie. Etudes Gestion des territoires 20. Cemagref, Gip-Ecofor, 1<sup>ère</sup> édition. 320 p.

**CILSS, 2004** : *Capitalisation de l'expérience sahélienne en aménagement des forêts naturelles pour la production du bois-énergie. Actes de l'atelier régional – Niamey, 27 – 30 avril 2004.* CILSS, Ouagadougou. 52 p.

**Dagnelie, 1975** : *Théorie et méthodes statistiques. Application agronomique. Volume 2 : Les méthodes de l'inférence statistique.* Deuxième édition. Les Presses Agronomiques de Gembloux. 463 p.

**DPF/INERA, 1998** : *Assistance scientifique au projet/PNUD/BKF/93/003. Aménagement des forêts naturelles.* Rapport n° 004/DPF/INERA, Ouagadougou, 121 p + annexes.

**Diabaté, S., 2007** : *Comparaison de deux méthodes d'inventaire forestier rapides : Echantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini et échantillonnage avec des placettes de taille variable.* Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme d'Inspecteur des Eaux et forêts. MECV/ENEF, Bobo-Dioulasso. 66 p.

**Duplat, P. et Perrotte, G., 1981** : *Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers.* O.N.F., Section Technique, Paris. 432 p.

**FAO, 1981** : *Manuel d'inventaire forestier, avec références particulières aux forêts tropicales hétérogènes.* Etude FAO : Forêts, 27. Rome, 200 p.

**FAO, 1984** : *Etudes sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux. Formations forestières sèches.* Etudes FAO : Forêts, 51/1. Rome. 88 p.

**Fontès, J. et Guinko, S., 1995** : *Carte de la végétation et de l'occupation du sol au Burkina Faso – Notice explicative.* IDR, Université de Ouagadougou. 67 p.

**Husch, B. ; Miller, C.I. ; Beers, T.W., 1972** : *Forest Mensuration.* Second Edition. John Wiley & Sons. 410 p.

**Jayaraman, K., 1999** : *Manuel de statistique pour la recherche forestière.* FO: GCP/RAS/163/NET – FO :GCP/INT/679/EC. FAO, Rome. 235 p.

**Kaboré, C., 1997** : *Outils de cubage du bois pour les forêts de Maro et de Nabéré.* ETF/PNGT, Bobo-Dioulasso, 24 p.

**Kaboré, C., 2002**: *Aménagement des forêts au Sahel - Point sur vingt années de pratiques au Burkina Faso.* 138 p.

**Kaboré, C., 2004** : *Référentiel technique d'aménagement des forêts au Burkina Faso.* 133 p.

**Kaboré, C., 2005** : *Aménagement des forêts au Sahel - Point sur vingt années de pratiques au Burkina Faso*. 2<sup>e</sup> édition. 142 p.

**Kaboré, C., 2006** : *Tests d'applicabilité de méthodes d'inventaire forestier rapides réalisés à Banlo (province du Poni) et à Matiacoali (province du Gourma)*. Mise en œuvre du Protocole cadre de collaboration N° 05-006/MECV/SG/PROGEREF du 21 novembre 2005. DGCN / DSE, Ouagadougou. 47 p.

**Kaboré, C., Adamou, I., Elhadji Mahamane, M.L., Khennas, S., Konandji, H., Bertrand, A., 2005** : *Guide méthodologique d'aménagement forestier villageois pour la production du bois énergie*. CRC PREDAS, CILSS. 62 p.

**Koné, S., 1997** : *Etude comparative de deux méthodes d'estimation de volume dans les formations savaniques (Cas du terroir villageois de Déh)*. Mémoire de fin d'études. Institut de formation et de recherche appliquée (IRP/IFRA), Université du Mali. 35 p. + annexes.

**Kouyaté, A.M., 1995** : *Contribution à l'étude de méthode d'estimation rapide du volume dans les formations savaniques. Cas du terroir villageois de Siani au Mali*. Mémoire de DEA en sciences forestières – Option Aménagement et sylviculture. Université d'Antananarivo, Madagascar. 48 p.

**Sylla, M.L., 1997** : *Evaluation rapide de la productivité et de la production des formations végétales : bassins de Bamako et de Ségou*. Rapport de mission. Stratégie Energie domestique, Cellule Combustibles ligneux, Bamako. 27 p.

**Sylla, M.L., 1998** : *Méthodologie d'évaluation rapide de la production des formations savaniques*. Communication présentée au Séminaire international sur l'aménagement intégré des forêts naturelles des zones tropicales sèches en Afrique de l'Ouest, Ouagadougou du 16 au 20 novembre 1998. 6 p.

**Sylla, M.L., 2001** : *Méthodologie d'évaluation rapide de la production des formations savaniques*. Revue Malienne de Science et de Technologie, N° 5, septembre 2001. pp. 78-85.

**Sylla, M.L., 2004** : *Méthode rapide d'inventaire de bois énergie au Sahel – Guide méthodologique*. CILSS/PREDAS, Ouagadougou. 26 p.

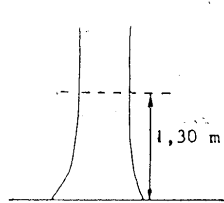
# Annexe 1 : Conventions relatives à la mesure de grosseur des arbres

(Source : Cailliez, 1980)

DIAMETRE DE REFERENCE

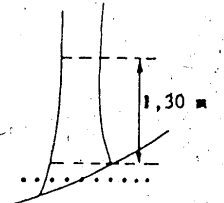
Terrain plat

Arbre droit sans contrefort ou à contrefort inférieur à 1 mètre ou à racines aériennes inférieures à 1 mètre.



Terrain incliné  
Arbre vertical

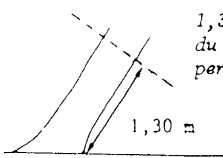
En principe, la base de l'arbre est le niveau marqué .... (place de la graine). Pour des raisons pratiques, on mesure 1,30m côté amont.



Arbres penchés

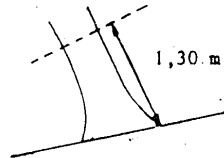
La longueur 1,30m doit être mesurée parallèlement à l'arbre et non verticalement. La section mesurée doit être perpendiculaire à l'axe de l'arbre et non horizontale.

Terrain plat



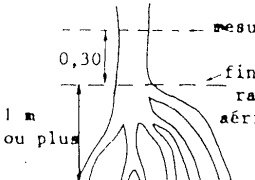
1,30 m est mesuré du côté où l'arbre penche.

Terrain incliné



1,30 m est mesuré du côté amont.

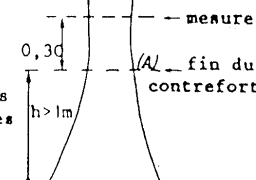
Arbres à racines aériennes supérieures à 1 mètre



0,30 m  
1 m ou plus  
mesure  
fin des racines aériennes

Arbre à contrefort supérieur à 1 mètre

Pour bien apprécier le niveau (A) s'éloigner de l'arbre.

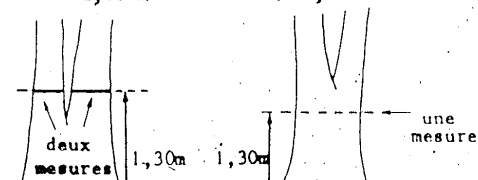


0,30 m  
h > 1m  
mesure  
(A) fin du contrefort

h est en général inférieur à 6m.

Arbres fourchus

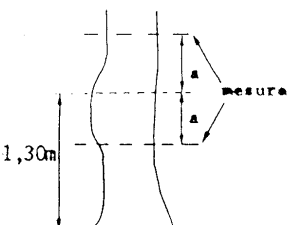
Creux de la fourche



inférieur à 1,30 m  
supérieur à 1,30 m  
deux mesures  
une mesure

Considérer qu'il y a deux arbres.

Anomalie à 1,30 m (noeud, bosse, déformation...)

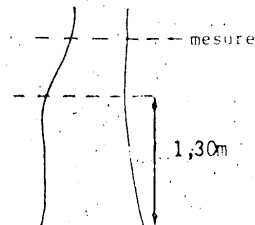


1,30m  
mesures

Les mesures doivent être faites en dehors de la partie déformée.

Faire si possible 2 mesures à égale distance du niveau 1,30m et prendre la moyenne.

Mais il se peut qu'une seule mesure soit possible.



mesure  
1,30m

**Annexe 2 : Fiches types d'inventaire forestier pour la réalisation des tests**

**Type d'échantillonnage : Echantillonnage systématique avec placette circulaire de 1 250 m<sup>2</sup>**(Tout arbre de  $d_{1,30\text{cm}} \geq 05$  cm ou  $C_{1,30\text{cm}} \geq 15$  cm, mesuré)

Inventaire de la forêt de : -----

N° Layon : ----- N° Placette : -----

Coordonnées géographiques du centre de la placette :

Longitude : ----- Latitude : -----

Chef d'équipe : ----- Date : -----

Nom Espèce	N°	Code espèce	Etat sanitaire	C <sub>1,30m</sub> ou d <sub>1,30m</sub> (cm)
	01			
	02			
	03			
	04			
	05			
	06			
	07			
	08			
	09			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			

Codes des états sanitaires des espèces ligneuses :Ligneux vivant : **1**; Ligneux émondé : **2**; Ligneux parasité : **3**; Ligneux semi-mort : **4**; Ligneux mort sur pied : **5**.**N.B. : Si un sujet présente plus d'un état sanitaire, retenir celui qui est plus marquant.**

**Type d'échantillonnage : Echantillonnage avec placette de taille variable (M = 3)**(Tout arbre de  $d_{1,30\text{cm}} \geq 05$  cm ou  $C_{1,30\text{cm}} \geq 15$  cm, mesuré)

Inventaire de la forêt de : -----

N° Layon : ----- N° Placette : ----- R (rayon de la placette, en m) : -----

Coordonnées géographiques du centre de la placette :

Longitude : ----- Latitude : -----

Chef d'équipe : ----- Date : -----

Nom Espèce	N°	Code espèce	Etat sanitaire	$C_{1,30\text{m}}$ ou $d_{1,30\text{m}}$ (cm)
	01			
	02			
	03			
	04			
	05			
	06			
	07			
	08			
	09			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			

Codes des états sanitaires des espèces ligneuses :

Ligneux vivant : 1; Ligneux émondé : 2; Ligneux parasité : 3 ; Ligneux semi-mort : 4 ; Ligneux mort sur pied : 5.

**N.B. : Si un sujet présente plus d'un état sanitaire, retenir celui qui est plus marquant.**

**Type d'échantillonnage : Echantillonnage avec placette de taille variable (M = 4)**(Tout arbre de  $d_{1,30\text{cm}} \geq 05$  cm ou  $C_{1,30\text{cm}} \geq 15$  cm mesuré)

Inventaire de la forêt de : -----

N° Layon : ----- N° Placette : ----- R (rayon de la placette, en m) : -----

Coordonnées géographiques du centre de la placette :

Longitude : ----- Latitude : -----

Chef d'équipe : ----- Date : -----

Nom Espèce	N°	Code espèce	Etat sanitaire	$C_{1,30\text{m}}$ ou $d_{1,30\text{m}}$ (cm)
	01			
	02			
	03			
	04			
	05			
	06			
	07			
	08			
	09			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			

Codes des états sanitaires des espèces ligneuses :Ligneux vivant : **1**; Ligneux émondé : **2**; Ligneux parasité : **3**; Ligneux semi-mort : **4**; Ligneux mort sur pied : **5**.**N.B. : Si un sujet présente plus d'un état sanitaire, retenir celui qui est plus marquant.**

**Type d'échantillonnage : Echantillonnage avec des placettes à nombre d'arbres défini (N = 3)**  
(Seuls, les 3 arbres sont mesurés)

Inventaire de la forêt de : -----

N° Layon : ----- N° Placette : ----- R (rayon de la placette, en m) : -----

Coordonnées géographiques du centre de la placette :

Longitude : ----- Latitude : -----

Chef d'équipe : ----- Date : -----

Nom Espèce	N°	Code essence	Etat sanitaire	C <sub>1,30m</sub> ou d <sub>1,30m</sub> (cm)
	01			
	02			
	03			

N° Layon : ----- N° Placette : ----- R (rayon de la placette, en m) : -----

Coordonnées géographiques du centre de la placette :

Longitude : ----- Latitude : -----

Chef d'équipe : ----- Date : -----

Nom Espèce	N°	Code essence	Etat sanitaire	C <sub>1,30m</sub> ou d <sub>1,30m</sub> (cm)
	01			
	02			
	03			

N° Layon : ----- N° Placette : ----- R (rayon de la placette, en m) : -----

Coordonnées géographiques du centre de la placette :

Longitude : ----- Latitude : -----

Chef d'équipe : ----- Date : -----

Nom Espèce	N°	Code essence	Etat sanitaire	C <sub>1,30m</sub> ou d <sub>1,30m</sub> (cm)
	01			
	02			
	03			

**Codes des états sanitaires des espèces ligneuses :**

Ligneux vivant : 1; Ligneux émondé : 2; Ligneux parasité : 3 ; Ligneux semi-mort : 4 ; Ligneux mort sur pied : 5.

**N.B. : Si un sujet présente plus d'un état sanitaire, retenir celui qui est plus marquant.**

### Annexe 3 : Codes des espèces ligneuses

Code des espèces ligneuses		(Source : Notice de la carte de la végétation du Burkina Faso - 1995)	
Code	Espèce	Code	Espèce
1	<i>Acacia ataxacantha</i>	47	<i>Cassia sieberiana</i>
2	<i>Acacia dudgeoni</i>	48	<i>Cassia singueana</i>
3	<i>Acacia ehrenbergiana</i>	49	<i>Celtis integrifolia</i>
4	<i>Acacia gourmaensis</i>	50	<i>Cissus debilis</i>
5	<i>Acacia hockii</i>	51	<i>Cissus populnea</i>
6	<i>Acacia laeta</i>	52	<i>Cissus quadrangularis</i>
7	<i>Acacia macrostachya</i>	53	<i>Chlorophora excelsa</i>
8	<i>Acacia nilotica var. adansonii</i>	54	<i>Cola cordifolia</i>
9	<i>Acacia nilotica var. tomentosa</i>	55	<i>Cola laurifolia</i>
10	<i>Acacia nilotica ssp. nilotica</i>	56	<i>Combretum aculeatum</i>
11	<i>Acacia pennata</i>	57	<i>Combretum collinum</i>
12	<i>Acacia polyacantha</i>	58	<i>Combretum crotonoides</i>
13	<i>Acacia senegal</i>	59	<i>Combretum ghasalense</i>
14	<i>Acacia seyal</i>	60	<i>Combretum glutinosum</i>
15	<i>Acacia sieberiana</i>	61	<i>Combretum lamprocarpum</i>
16	<i>Acacia tortilis</i>	62	<i>Combretum micranthum</i>
17	<i>Adansonia digitata</i>	63	<i>Combretum molle</i>
18	<i>Afrormosia laxiflora</i>	64	<i>Combretum nigricans</i>
19	<i>Afzelia africana</i>	65	<i>Combretum paniculatum</i>
20	<i>Albizia boromoensis</i>	66	<i>Combretum sericeum</i>
21	<i>Albizia chevalieri</i>	67	<i>Combretum velutinum</i>
22	<i>Albizia zygia</i>	68	<i>Commiphora africana</i>
23	<i>Ampelocissus grantii</i>	69	<i>Commiphora pedunculata</i>
24	<i>Ampelocissus multistriata</i>	70	<i>Cordia myxa</i>
25	<i>Andira inermis</i>	71	<i>Cordyla pinnata</i>
26	<i>Annona senegalensis</i>	72	<i>Crossopteryx februfiga</i>
27	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	73	<i>Cussonia barteri</i>
28	<i>Anthostema senegalense</i>	74	<i>Dalbergia bignoniae</i>
29	<i>Antidesma venosum</i>	75	<i>Dalbergia melanoxydon</i>
30	<i>Baïssea multiflora</i>	76	<i>Daniella oliveri</i>
31	<i>Balanites aegyptiaca</i>	77	<i>Detarium microcarpum</i>
32	<i>Bombax costatum</i>	78	<i>Dialium guineense</i>
33	<i>Borassus aethiopum</i>	79	<i>Dichrostachys cinerea</i>
34	<i>Boscia angustifolia</i>	80	<i>Dichrostachys glomerata</i>
35	<i>Boscia salicifolia</i>	81	<i>Diospyros mespiliformis</i>
36	<i>Boscia senegalensis</i>	82	<i>Elaeis guineensis</i>
37	<i>Boswellia dalzielii</i>	83	<i>Entada africana</i>
38	<i>Bridelia ferruginea</i>	84	<i>Euphorbia basalmifera</i>
39	<i>Bridelia scleroneura</i>	85	<i>Faidherbia albida</i>
40	<i>Burkea africana</i>	86	<i>Fadogia agrestis</i>
41	<i>Cadaba farinosa</i>	87	<i>Fagara zanthoxyloides</i>
42	<i>Calotropis procera</i>	88	<i>Feretia apodanthera</i>
43	<i>Capparis corymbosa</i>	89	<i>Ficus capensis</i>
44	<i>Capparis tomentosa</i>	90	<i>Ficus glumosa</i>
45	<i>Carapa procera</i>	91	<i>Ficus gnaphalocarpa</i>
46	<i>Carissa edulis</i>	92	<i>Ficus platiphylla</i>

Code	Espèce
93	<i>Ficus thonningii</i>
94	<i>Ficus umbellata</i>
95	<i>Ficus vogelii</i>
96	<i>Gardenia aqualla</i>
97	<i>Gardenia erubescens</i>
98	<i>Gardenia imperialis</i>
99	<i>Gardenia sokotensis</i>
100	<i>Gardenia ternifolia</i>
101	<i>Gardenia triacantha</i>
102	<i>Grewia bicolor</i>
103	<i>Grewia cissoïdes</i>
104	<i>Grewia flavescens</i>
105	<i>Grewia lasiodiscus</i>
106	<i>Grewia mollis</i>
107	<i>Grewia tenax</i>
108	<i>Grewia villosa</i>
109	<i>Guiera senegalensis</i>
110	<i>Hannoa undulata</i>
111	<i>Heeria insignis</i>
112	<i>Hexalobus monopetalus</i>
113	<i>Holarrhena floribunda</i>
114	<i>Hymenocardia acida</i>
115	<i>Hyphaene thebaïca</i>
116	<i>Isobertinia dalzielii</i>
117	<i>Isobertinia doka</i>
118	<i>Khaya senegalensis</i>
119	<i>Kigelia africana</i>
120	<i>Landolphia heudoletti</i>
121	<i>Lannea acida</i>
122	<i>Lannea barteri</i>
123	<i>Lannea microcarpa</i>
124	<i>Lannea velutina</i>
125	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>
126	<i>Loeseneriella africana</i>
127	<i>Lonchocarpus laxiflorus</i>
128	<i>Lophira lanceolata</i>
129	<i>Maerua angolensis</i>
130	<i>Maerua crassifolia</i>
131	<i>Manilkara multinervis</i>
132	<i>Maranthes polyandra</i>
133	<i>Maytenus senegalensis</i>
134	<i>Mimusops kummel</i>
135	<i>Mitragyna inermis</i>
136	<i>Monodora tenuifolia</i>
137	<i>Monotes kerstingii</i>
138	<i>Morelia senegalensis</i>
139	<i>Nauclea latifolia</i>
140	<i>Opilia celtidifolia</i>

Code	Espèce
141	<i>Ostryoderris stuhlmannii</i>
142	<i>Pandanus candelabrum</i>
143	<i>Parinari congensis</i>
144	<i>Parinari curatellifolia</i>
145	<i>Parinari polyandra</i>
146	<i>Parkia biglobosa</i>
147	<i>Pavetta crassipes</i>
148	<i>Pericopsis laxiflora</i>
149	<i>Piliostigma reticulatum</i>
150	<i>Piliostigma thonningii</i>
151	<i>Prosopis africana</i>
152	<i>Pseudoedrela kotschyi</i>
153	<i>Pteleopsis suberosa</i>
154	<i>Pterocarpus erinaceus</i>
155	<i>Pterocarpus lucens</i>
156	<i>Saba senegalensis</i>
157	<i>Salvadora persica</i>
158	<i>Sapium ellipticum</i>
159	<i>Sclerocarya birrea</i>
160	<i>Securidaca longepedunculata</i>
161	<i>Securinega virosa</i>
162	<i>Spondias mombin</i>
163	<i>Sterculia setigera</i>
164	<i>Stereospermum kunthianum</i>
165	<i>Strychnos innocua</i>
166	<i>Strychnos spinosa</i>
167	<i>Swartzia madagascarensis</i>
168	<i>Syzygium guineense</i>
169	<i>Tamarindus indica</i>
170	<i>Terminalia albida</i>
171	<i>Terminalia avicennioides</i>
172	<i>Terminalia glaucescens</i>
173	<i>Terminalia laxiflora</i>
174	<i>Terminalia macroptera</i>
175	<i>Trichilia emetica</i>
176	<i>Trichilia roka</i>
177	<i>Uapaca togoensis</i>
178	<i>Vitellaria paradoxa</i>
179	<i>Vitex chrysocarpa</i>
180	<i>Vitex doniana</i>
181	<i>Vitex madiensis</i>
182	<i>Vitex simplicifolia</i>
183	<i>Voacanga africana</i>
184	<i>Ximenia americana</i>
185	<i>Ziziphus mauritiana</i>
186	<i>Ziziphus mucronata</i>
187	<i>Ziziphus spina-christi</i>

## Annexe 4 : Distribution de $t$ de Student

(Source : Jayaraman, 1999)

### Annexe : Distribution de $t$ de Student

Cette table donne les points de pourcentage de la distribution de  $t$  avec  $\nu$  degrés de liberté. Ce sont les valeurs de  $t$  pour lesquelles un pourcentage donné,  $P$ , de la distribution de  $t$  est situé en dehors de la fourchette allant de  $-t$  à  $+t$ . Au fur et à mesure que le nombre de degrés de liberté augmente, la distribution se rapproche de la distribution normale standard.

Degré de liberté ( $\nu$ )	Test unilatéral		Test bilatéral	
	Pourcentage ( $P$ )			
	5%	1%	5%	1%
1	6.31	31.8	12.7	63.7
2	2.92	6.96	4.30	9.92
3	2.35	4.54	3.18	5.84
4	2.13	3.75	2.78	4.60
5	2.02	3.36	2.57	4.03
6	1.94	3.14	2.45	3.71
7	1.89	3.00	2.36	3.50
8	1.86	2.90	2.31	3.36
9	1.83	2.82	2.26	3.25
10	1.81	2.76	2.23	3.17
11	1.80	2.72	2.20	3.11
12	1.78	2.68	2.18	3.05
13	1.77	2.65	2.16	3.01
14	1.76	2.62	2.14	2.98
15	1.75	2.60	2.13	2.95
16	1.75	2.58	2.12	2.92
17	1.74	2.57	2.11	2.90
18	1.73	2.55	2.10	2.88
19	1.73	2.44	2.09	2.86
20	1.72	2.53	2.09	2.85
22	1.72	2.51	2.07	2.82
24	1.72	2.49	2.06	2.80
26	1.71	2.48	2.06	2.78
28	1.70	2.47	2.05	2.76
30	1.70	2.46	2.04	2.75
35	1.69	2.44	2.03	2.72
40	1.68	2.42	2.02	2.70
45	1.68	2.41	2.01	2.69
50	1.68	2.40	2.01	2.68
55	1.67	2.40	2.00	2.67
60	1.67	2.39	2.00	2.66
$\infty$	1.64	2.33	1.96	2.58