

Test d'applicabilité de l'échantillonnage horizontal par ligne au Burkina Faso

par

Cyrille Kaboré
Ingénieur des eaux et forêts

Mai 2004

Résumé

Un test d'applicabilité de la technique d'échantillonnage horizontal par ligne a été effectué dans la forêt classée de Maro et dans la forêt protégée de Naborgane. Il ressort des résultats obtenus que la technique d'échantillonnage horizontal par ligne est bien applicable dans les forêts naturelles au Burkina, et partant dans les forêts tropicales sèches du Sahel, pourvu qu'un critère de sélection des arbres à mesurer et une longueur appropriée de la ligne d'échantillonnage soient judicieusement déterminés.

Introduction

Les inventaires forestiers font partie intégrante du processus de planification de la gestion durable des ressources forestières. Or, malgré la riche expérience du Burkina en matière d'aménagement des forêts, la quantification fiable des ressources forestières reste encore entièrement à être maîtrisée. La recherche de méthodes d'inventaire forestier simples d'application sur le terrain, donc peu coûteuses, mais assurant une fiabilité satisfaisante des résultats, est une préoccupation d'importance. Le présent exercice vise à tester l'applicabilité de l'échantillonnage horizontal par ligne pour la quantification du bois de feu sur pied (densité et volume) (Kaboré, 1997a).

1 – Présentation synthétique de l'échantillonnage horizontal par ligne

L'échantillonnage horizontal par ligne (Line-Intersect Sampling) appartient à la famille des techniques de sondage où les probabilités de sélection sont proportionnelles aux dimensions des éléments qui constituent la population. Le développement théorique de la technique est présentée avec force détails par De Vries (1986).

Selon Shiver et Borders (1996), l'échantillonnage horizontal par ligne a été développé pour des applications en inventaire forestier. En particulier, il est largement utilisé pour l'estimation des quantités des rémanents d'exploitation forestière.

La technique d'échantillonnage a été appliquée avec satisfaction pour estimer la biomasse ligneuse sur pied des formations ligneuses (woodlands) à *Pinus monophylla* et à *Juniperus osteosperma* (Meeuwig and Budy, 1980) aux arbres multicaules et bas branchus. En outre, De Vries (1986) affirme que la méthode est bien applicable dans les zones arides et dans les formations forestières de type savanicole (tree savannah).

1.1 - Procédure d'application de la technique

La procédure initiale d'application de la technique consiste à cheminer le long d'une ligne d'échantillonnage de longueur définie et de mesurer la (les) variable(s) d'intérêt sur les arbres dont toute portion de la section transversale à 1,30 m du sol intercepte la ligne.

Cependant, des modifications ont été apportées à cette procédure initiale pour la sélection des arbres à mesurer. Ainsi, une procédure modifiée consiste à retenir les arbres dont toute portion de la projection horizontale du houppier au sol intercepte la ligne d'échantillonnage (Meeuwig and Budy, 1980). C'est cette procédure de sélection qui a été appliquée dans le présent exercice.

Tout arbre dont une portion de la projection horizontale du houppier au sol intercepte la ligne mais qui est situé au-delà et dans le prolongement de la ligne à l'un ou l'autre de ses deux bouts n'est pas sélectionné.

Par définition, le *houppier* d'un arbre est l'ensemble des branches vivantes et des rameaux qui entourent la partie supérieure du tronc. La *couronne* désigne le houppier sur photo aérienne, alors que la *cime* est la partie la plus élevée du houppier (Rondeux, 1993).

Par ailleurs, plusieurs investigations ont porté sur la pertinence de la mesure des diamètres à différents points de contact entre la ligne d'échantillonnage et les rémanents d'exploitation : diamètres aux deux bouts de la tige, diamètre au milieu de la tige, diamètre à tout point où une tige intercepte la ligne. Le résultat surprenant en a été qu'il y a peu ou pas de différence de précision des estimations du volume de bois obtenues avec les différents diamètres (Shiver and Borders, 1996).

1.2 - Calcul des principales caractéristiques statistiques

Le total par unité de surface est obtenu par : $u = k / L \sum^n u_i / d_i$.

Si l'unité de surface est l'hectare, $k = 10\,000\text{ m}^2$ et $L =$ Longueur de la ligne.

u_i correspond aux variables dépendantes d'intérêt (volume, poids, densité, etc.) et d_i aux variables explicatives considérées (diamètre, circonférence, surface terrière, hauteur, etc.). On peut ainsi estimer différents paramètres de la population; en particulier, la densité par hectare est obtenue par :

$$\text{Densité / ha} = k / L \sum^n 1 / d_i.$$

La variance de l'estimateur obtenu par tirages répétés peut simplement être obtenue par la formule classique :

$$s^2 = \sum^n (u_i - \bar{u})^2 / (n-1) = [\sum u_i^2 - (\sum u_i)^2 / n] / (n-1).$$

De même, le coefficient de variation et l'erreur d'échantillonnage peuvent être calculés comme s'il s'agissait d'un échantillonnage avec des unités de sondage à surface définie (Meeuwig and Budy, 1980).

Cependant, une formule spécifique de la variance est la suivante : $s^2 = (k/L)^2 * \sum^n (u_i / d_i)^2$ (De Vries, 1986).

La détermination de la taille d'un échantillon (n) utilise la formule : $n = t^2 C_v^2 / e^2$, où
 CV = Coefficient de variation exprimée en %,
 e = précision (erreur d'échantillonnage relative) exprimée en %, t (Student) = 2.

Calculer CV à partir des données d'un inventaire forestier antérieur. A défaut, réaliser un inventaire pilote pour son calcul. Prendre un échantillon pilote n = 30 au moins et une ligne d'échantillonnage L appropriée.

2- Réalisation du test d'applicabilité de l'échantillonnage horizontal par ligne

2.1 – Objectif du test

Le test consiste à comparer les résultats obtenus par l'échantillonnage par ligne et ceux d'un échantillonnage par placette qui sont considérés comme les résultats témoins.

2.2 – Sites d'étude

L'échantillonnage horizontal par ligne a été appliqué dans deux massifs forestiers pour tester son applicabilité pour l'estimation du bois-énergie sur pied. Il s'agit de :

- une zone de 1 500 ha dans la Forêt classée (FC) de Maro (province du Houet),
- la forêt protégée de Naborgane couvrant 1 800 hectares environ, dans la province de la Bougouriba) (figure 1).

Sur la base de la Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso (Fontès et Guinko, 1995), le massif forestier choisi dans la FC de Maro est une savane arborée à arbustive et boisée (*Anogeissus leiocarpus*, *Combretum collinum*, *Terminalia* spp, *Detarium microcarpum*, etc.) / Parc à *Butyrospermum paradoxum* ; et la forêt protégée de Naborgane est une savane arborée à boisée et forêt claire (*Isobertinia doka*, *Terminalia* spp, *Burkea africana*, etc.) / Parc à *Butyrospermum paradoxum*.

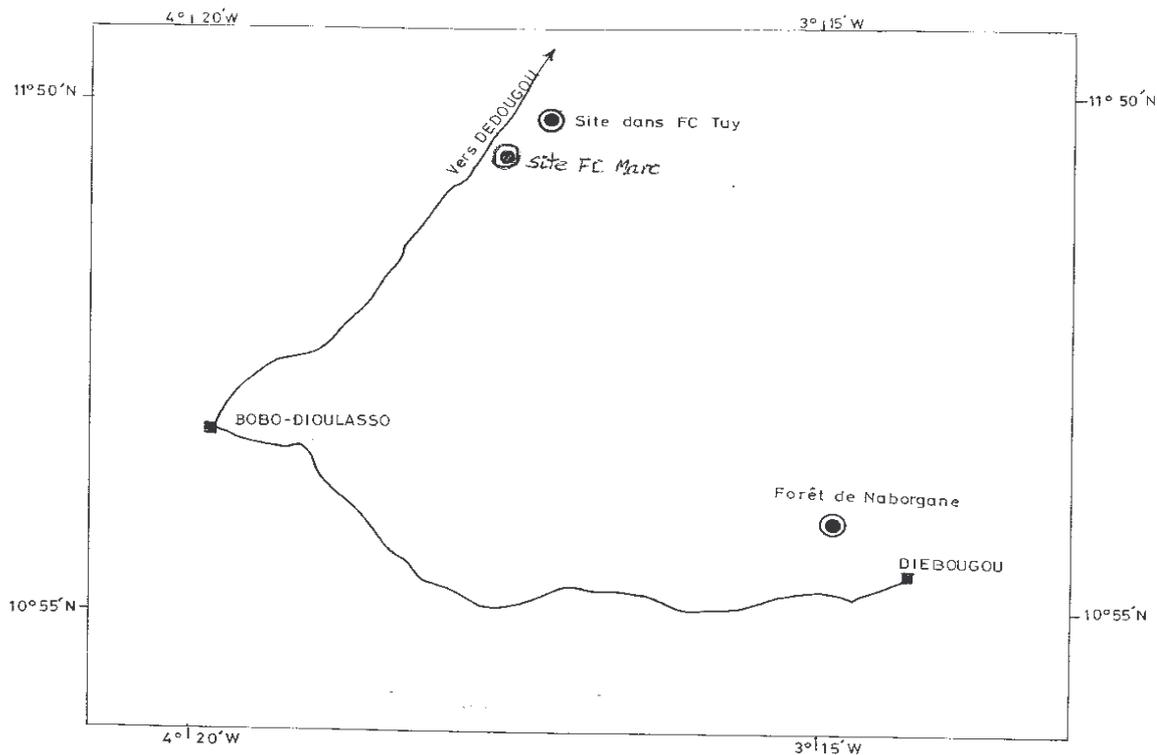


Figure :1 : Localisation des sites d'étude

2.3 – Méthodologie

2.3.1 – Elaboration du plan d'échantillonnage et implantation du dispositif de sondage

Pour réaliser le test d'applicabilité de la technique, un plan de sondage systématique commun aux deux types d'unité d'échantillonnage (placette et ligne) a été élaboré (figure 2). Des placettes circulaires de 1 250 m² ($R = 19,95$ m) ont été implantées. Les lignes, longues de 39,90 m ($39,90$ m = $2R$ = diamètre de la placette circulaire), ont été tracées le long des rayons équidistants de 750 mètres, à partir des centres des unités de sondage, équidistants de 300 m sur le rayon, par double visée à la boussole. Les distances ont été mesurées avec des cordes de 50 m de long chacune. La taille de 1 250 m² a été retenue parce que préconisée par Clément (1982) sur la base des travaux du Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) dans un certain nombre de pays francophones d'Afrique au nord de l'équateur. Par ailleurs, une ligne de 40 m ($\approx 39,90$ m) de long est préconisée par Meeuwig et Budy (1980) pour l'inventaire des formations forestières ouvertes de type savanicole.

Sont sélectionnés pour la mesure les arbres dont toute portion de la projection horizontale du houppier au sol intercepte la ligne d'échantillonnage, et ayant le diamètre d'inventaire retenu.

Le tableau 1 ci-dessous rassemble les données essentielles du plan d'échantillonnage

Tableau 1 : Caractéristiques des plans d'échantillonnage

Forêt	Superficie (ha)	Placette (m ²)	Ligne (m)	Taux de sondage (f)	Taille échantillon (n)	Maille (m x m)
Maro	1 500	1 250	39,90	0,58 %	70	750 x 300
Naborgane	1 800	1 250	39,90	0,53 %	76	750 x 300

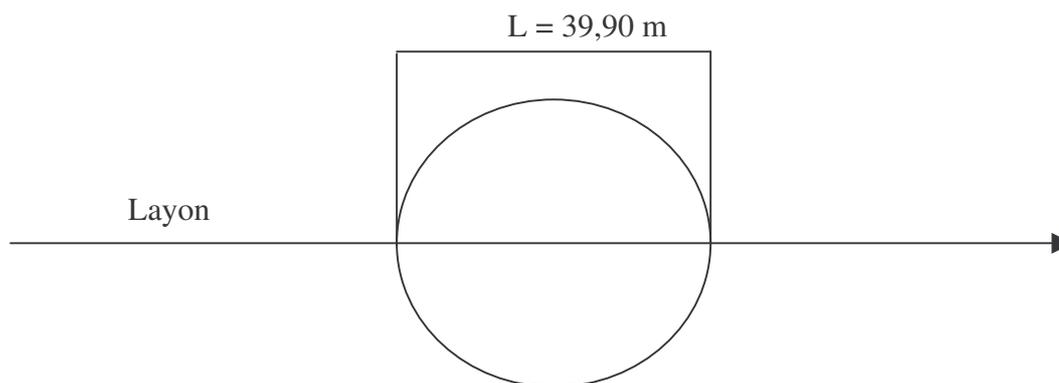


Figure 2 : Dispositif commun aux deux types d'unité d'échantillonnage

2.3.2 – Les variables mesurées

Seulement trois variables à mesurer ont été retenues dans le souci de contribuer à simplifier la collecte des données sans porter préjudice au nombre et à la qualité des résultats attendus; ces variables sont :

- i - Nom de l'espèce,
- ii - Etat sanitaire de l'arbre au moment du relevé. Cinq états sanitaires ont été définis ainsi qu'il suit :

<u>Etat sanitaire</u> :	<u>Code</u>
Ligneux sans défaut visible	1
Ligneux ébranché	2
Ligneux brûlé (présence de trous ou crevasses dans le bois)	3
Ligneux semi-mort ou avec cime ± desséchée	4
Ligneux mort sur pied	5

Un pied peut présenter plus d'un état sanitaire; dans ce cas, on retient le plus marquant.

- iii - Diamètre à hauteur de poitrine (dhp) .

La réduction du nombre et des types de données à collecter résulte du fait que l'expérience montre que bien souvent certaines données collectées sur le terrain sont peu ou pas du tout judicieusement exploitées; il s'agit généralement des données descriptives du milieu physique : géomorphologie, types de sol, occupation des terres dont les défrichements agricoles, passage des feux, etc. L'expérience montre également que ces données descriptives du milieu physique (géomorphologie et types de sol, surtout) sont généralement collectées par des personnes n'ayant pas toujours la compétence requise en la matière; alors que leur part dans le

coût des inventaires forestiers est importante en termes de temps et d'argent. Par conséquent, une manière plus simple et fiable de prendre en compte ces informations sur le milieu naturel, qui sont bien pertinentes pour la conception de la gestion forestière durable à mettre en œuvre, consiste à superposer le plan de sondage sur des cartes thématiques (géomorphologie, pédologie, ressources en sols, formations végétales, occupation des terres, etc.) pour l'analyse des résultats de l'inventaire forestier.

2.4 – Résultats obtenus

2.4.1 - Temps moyens de mesure

Le tableau 2 présente les temps de mesure moyens (t_m) sur chaque type d'unité de sondage par forêt, enregistrés au chronomètre électronique.

Tableau 2 : Temps moyens de mesure dans les unités de sondage

Forêt	n	Temps moyens de mesure (t_m)	
		PC1250	L39,90
Maro	62	18 mn	04 mn
Naborgane	40	14 mn	04 mn

On constate (tableau 2) qu'avec la ligne d'échantillonnage, le temps de mesure des caractéristiques dendrométriques des arbres est pratiquement le même dans la forêt de Maro que dans celle de Naborgane (04 minutes). Par contre, il est plus long à Maro (18 minutes) qu'à Naborgane (14 minutes) pour ce qui concerne la placette de 1 250 m². Cette différence s'explique sans doute par les types de formations forestières principales rencontrées : des savanes essentiellement arbustives à Maro et des savanes arborées à forêts claires à Naborgane. Ces dernières sont relativement plus ouvertes, rendant les déplacements entre les arbres à mesurer, par ailleurs moins nombreux, plus faciles.

Mais on retiendra surtout que le temps de mesure sur la ligne de 40 m de long est 04 fois plus court que celui mis pour inventorier la placette de 1 250 m².

2.4.2 - Densités d'arbres et volumes de bois obtenus par type d'unité de sondage

Des tarifs de cubage existants pour la forêt classée de Maro et les forêts de Nabéré dont fait partie la forêt de Naborgane (Kaboré, 1997b) ont été appliqués aux données collectées dans cet exercice pour calculer le volume du bois sur pied.

Le tableau 3 présente les quantités moyennes à l'hectare des paramètres estimés de la population : densité des tiges et volume du bois sur pied.

Tableau 3 : Valeurs des paramètres de la population mesurés

Forêt	Paramètres mesurés	PC1250 m ²	L39,90 m
Maro	Taille échantillon (n)	70	70
	Volume moyen / ha	17,93	6,57
	Densité moyenne / ha	569	321
Naborgane	Taille échantillon (n)	76	76
	Volume moyen / ha	18,69	9,07
	Densité moyenne / ha	346	210

Un test de comparaison de deux moyennes, réalisé pour chacun des sites d'étude, a montré qu'au seuil de probabilité de 95%, il y a une différence significative entre les volumes moyens et les densités moyennes.

Le fait que les densités moyennes et les volumes moyens à l'hectare obtenus avec les deux types d'unité d'échantillonnage soient statistiquement différents n'est pas synonyme de non applicabilité de la technique d'échantillonnage horizontal par ligne dans les formations forestières étudiées, mais signifie tout simplement que la longueur de 40 m préconisée par Meeuwig et Budy (1980) n'est pas appropriée ici. Il suffit alors de déterminer une longueur appropriée pour la ligne.

A cet égard, les temps de déplacement entre lignes d'échantillonnage, les temps de leur implantation et de mesure des arbres, enregistrés dans la forêt protégée de Naborgane au moyen d'un chronomètre électronique ont permis de calculer une longueur optimale $L_{op} = 202$ m par la formule de Zeide (1980) cité par Rondeux (1993) :

$$L_{op} = L_t (t_d/t_m)^2 \text{ avec :}$$

$L_t = 39,90$ m; t_d (temps moyen de déplacement entre lignes d'échantillonnage voisines) = 9 minutes; t_m (temps moyen d'implantation de la ligne et de mesure des arbres) = 4 minutes.

Une autre formule qui permet de calculer L_{op} est la suivante :

$$L_{op} = (4L_t/e^2) * [\sum^n(u_i / d_i)^2] / [\sum^n(u_i / d_i)]^2$$
 (De Vries, 1986) avec e = précision (ou erreur d'échantillonnage relative) exprimée en %.

A titre de comparaison, cette dernière formule a été appliquée aux données relatives à la densité des arbres de la forêt de Naborgane, avec une précision recherchée des résultats $e = 10\%$. On a obtenu une longueur optimale de la ligne d'échantillonnage $L_{op} = 333$ m.

Dans les deux cas, la longueur optimale L_{op} est suffisamment très grande pour favoriser les erreurs d'omission ou de double comptage généralement attachées aux unités de sondage de grande dimension d'une part, et un temps de mesure relativement excessif d'autre part.

De façon générale, ces différents résultats montrent la difficulté qu'il y a à fixer la dimension d'une unité d'échantillonnage, celle-ci dépendant en premier lieu de la variabilité locale du paramètre à estimer. Dans la recherche de solutions pratiques à ce problème, des règles ont été édictées par différents auteurs. Un des guides est de considérer une dimension assez grande pour inclure un nombre d'arbres suffisamment représentatif, mais aussi assez petite pour que

le temps consacré aux mesures ne soit pas excessif. Pour Pardé (1961) cité par Rondeux (1993), par exemple, la dimension de l'unité d'échantillonnage doit être suffisamment grande pour inclure 10 à 20 arbres mesurables en moyenne.

Sur la base du critère de Pardé, qui à notre avis convient bien à nos formations forestières caractérisées par des densités hétérogènes, le nombre moyen d'arbres mesurables par ligne de 39,90 m est 10 à Maro et 08 à Naborgane. En détail, 38 lignes (dont 03 lignes vides) sur un total de 70, soit 54,3%, présentent des effectifs inférieurs à 10 à Maro. A Naborgane, ce sont 53 lignes (dont 09 lignes vides) sur 76, soit 69,7%, qui ont des effectifs inférieurs à 10.

De ce qui précède, nous proposons que la longueur minimale de la ligne d'échantillonnage soit comprise entre 50 m et 100 m. La longueur convenable, c'est-à-dire celle qui va permettre d'obtenir en moyenne au moins 10 arbres mesurables, sera déterminée par la réalisation d'un inventaire forestier pilote dans lequel des distances allant de 50 m à 100 m seront testées, avec une progression arithmétique de raison 5 m ou 10 m, selon les cas. En effet, au-delà de 100 m de long, le temps d'installation de la ligne d'échantillonnage, d'identification et de mesure des arbres sélectionnés deviendra inévitablement excessif. Or, comme le dit si bien Tardif (1965) cité par Rondeux (1993), le choix de la dimension d'une unité d'échantillonnage peut très bien reposer sur un compromis entre les coûts d'installation et la précision recherchée.

Par ailleurs et pour faciliter leur tracé, les nœuds des mailles du plan de sondage (centres des unités de sondage) seront les points de départ des lignes d'échantillonnage et non leurs milieux.

2.4.3 – Fréquence des espèces les plus abondantes

En vue de tester davantage l'applicabilité de l'échantillonnage horizontal par ligne, il a été décidé d'analyser un autre résultat d'inventaire forestier qui nous semble tout aussi important pour une meilleure connaissance des forêts à aménager; il s'agit de la fréquence relative des espèces ligneuses dominantes (les plus abondantes) qui permet d'élaborer la carte des types de peuplement forestier. Les tableaux 4a et 4b en présentent les résultats.

Tableau 4a : Fréquence des principales espèces ligneuses recensées (FC Maro)

N°	Placette circulaire de 1 250 m ²	Fréquence (%)	Ligne de 39,90 m de long	Fréquence (%)
1	<i>Combretum collinum</i>	12,2	<i>Combretum collinum</i>	14,04
2	<i>Vitellaria paradoxa</i>	10,31	<i>Vitellaria paradoxa</i>	9,74
3	<i>Terminalia avicennioides</i>	7,19	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	6,88
4	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	5,10	<i>Terminalia avicennioides</i>	6,16
5	<i>Detarium microcarpum</i>	4,35	<i>Detarium microcarpum</i>	4,73
6	<i>Piliostigma thonningii</i>	3,72	<i>Piliostigma thonningii</i>	4,58
7	<i>Dichrostachys glomerata</i>	3,63	<i>Combretum ghasalense</i>	3,72
8	<i>Combretum glutinosum</i>	3,31	<i>Combretum glutinosum</i>	3,72
9	<i>Pteleopsis suberosa</i>	3,02	<i>Strychnos spinosa</i>	2,58
10	<i>Combretum ghasalense</i>	2,72	<i>Pteleopsis suberosa</i>	2,58
11	<i>Combretum nigricans</i>	2,63	<i>Combretum nigricans</i>	2,44
12	<i>Maytenus senegalensis</i>	2,51	<i>Terminalia laxiflora</i>	2,29
13	<i>Afromosia laxiflora</i>	2,37	<i>Afromosia laxiflora</i>	2,29
14	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	2,36	<i>Gardenia erubescens</i>	2,01
15	<i>Gardenia erubescens</i>	2,31	<i>Cassia sieberiana</i>	2,01
16	<i>Terminalia laxiflora</i>	2,10	<i>Grewia mollis</i>	2,01
17	-	-	<i>Acacia seyal</i>	2,01

Tableau 4b : Fréquence des principales espèces ligneuses recensées (Forêt de Naborgane)

N°	Placette circulaire de 1 250 m ²	Fréquence (%)	Ligne de 39,90 m de long	Fréquence (%)
1	<i>Vitellaria paradoxa</i>	14,52	<i>Vitellaria paradoxa</i>	14,55
2	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	8,68	<i>Terminalia avicennioides</i>	9,20
3	<i>Terminalia avicennioides</i>	8,61	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	7,19
4	<i>Combretum collinum</i>	7,15	<i>Isobertia doka</i>	6,52
5	<i>Burkea africana</i>	4,96	<i>Burkea africana</i>	5,35
6	<i>Combretum glutinosum</i>	4,66	<i>Combretum collinum</i>	5,35
7	<i>Detarium microcarpum</i>	4,51	<i>Combretum ghasalense</i>	5,35
8	<i>Strychnos spinosa</i>	3,93	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	4,68
9	<i>Combretum ghasalense</i>	3,87	<i>Combretum glutinosum</i>	4,18
10	<i>Acacia dudgeoni</i>	3,68	<i>Detarium microcarpum</i>	3,51
11	<i>Mitragyna inermis</i>	3,26	<i>Piliostigma thonningii</i>	3,18
12	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	3,20	<i>Mitragyna inermis</i>	3,01
13	<i>Isobertia doka</i>	2,92	<i>Strychnos spinosa</i>	2,84
14	<i>Piliostigma thonningii</i>	2,47	<i>Combretum nigricans</i>	2,68
15	-	-	<i>Gardenia ternifolia</i>	2,34
16	-	-	<i>Ostryoderris stuhlmannii</i>	2,17

L'analyse des tableaux 4a et 4b ci-dessus montre que, dans chacune des forêts étudiées, les cartes de types de peuplement forestier élaborées à partir des résultats obtenus de l'utilisation des deux types d'unité d'échantillonnage seront pratiquement identiques. Cela constitue une fois de plus la preuve que l'échantillonnage horizontal par ligne est effectivement applicable dans les forêts tropicales sèches du Sahel.

Conclusion

A résultats statistiquement égaux, la technique d'échantillonnage horizontal par ligne offre sans aucun doute l'avantage d'être d'application plus rapide sur le terrain. Cependant, on peut se demander, dans le présent exercice, s'il est techniquement correct de comparer les résultats obtenus avec les deux types d'unité d'échantillonnage (placette et ligne). A cette question, Shiver et Borders (1996) apportent une réponse affirmative en signalant que des études de simulation par ordinateur ont porté sur la comparaison de ces deux mêmes unités d'échantillonnage utilisées dans différents types de populations. La pertinence du présent exercice s'en trouve ainsi confirmée.

Bibliographie

Clément, J., 1982 : *Estimation des volumes et de la productivité des formations mixtes forestières et graminéennes tropicales*. Revue Bois et Forêts des Tropiques, n° 198, 4° trimestre. pp 35-58.

De Vries, P.G., 1986 : *Sampling Theory for Forest Inventory. A Teach-Yourself Course*. Springer-Verlag. 399 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.

Kaboré, C., 1997a : *Etude sur les méthodes d'inventaire forestier : cas de tests réalisés dans les forêts de Maro, Tuy et Naborgane*. ETF/PNGT, Bobo-Dioulasso, 38 p.

Kaboré, C., 1997b : *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.

Meeuwig, R.O., Budy, J.D., 1980 : *Point and Line-Intersect Sampling in Pinyon-Juniper Woodlands*. USDA Forest Service General Technical Report INT-104. 38 p.

Rondeux, J., 1993 : *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Les Presses Agronomiques de Gembloux. 512 p.

Shiver, B.D. and B.E. Borders, 1996 : *Sampling Techniques for Forest Resource Inventory*. John Wiley and Sons, Inc. 356 p.