

Taille des placeaux de caractérisation des **teckeraies** à sylviculture paysanne au **Sud-Bénin**

Gilbert ATINDOGBE¹
Augustin Kossi Aoudji¹
Noël Houédougbe FONTON¹
Philippe LEJEUNE²
Rodrigue EKPE¹

¹ Université d'Abomey-Calavi
Laboratoire d'étude et de recherche
en statistique appliquée et biométrie
01 BP 526, Cotonou
Bénin

² Université de Liège, Gembloux Agro-Bio-Tech
Unité de gestion des ressources forestières
et des milieux naturels
5030 Gembloux
Belgique



Photo 1.

Jeune plantation de teck de 5 ans et 3 mois sur une petite étendue de parcelle faisant apparaître l'effet de bordure.

Photo G. Atindogbé.

RÉSUMÉ

TAILLE DES PLACEAUX DE CARACTÉRISATION DES TECKERAIES À SYLVICULTURE PAYSANNE AU SUD-BÉNIN

Le succès des plantations domaniales de teck, *Tectona grandis*, a incité les privés à sa culture avec des méthodes inappropriées de plantation et de gestion sylvicole essentiellement orientées vers la satisfaction de leurs besoins. L'évaluation de cette ressource et sa caractérisation ne peuvent donc se faire sans une étude de la représentativité des unités d'échantillonnage. Trois types et douze tailles d'unités d'échantillonnage sont comparés : les placettes à surface définie (1 are, 2 ares, 4 ares et 6 ares) ; les placettes à nombre d'arbres fixé (7, 9, 11, 13 et 15 arbres) et les bandes d'échantillonnage (5, 10 et 15 arbres). Les unités sont implantées aléatoirement avec une à quatre répétitions dans chacune des dix-huit plantations de différents âges, traitées en régime de futaie et de taillis et soumises à un inventaire complet. Les paramètres dendrométriques calculés pour chaque unité d'observation de même que pour l'inventaire complet sont : la densité (N_a/ha), la surface terrière (G), la tige de diamètre moyen arithmétique, la tige de surface terrière moyenne (d_g). Le critère de comparaison est la moyenne quadratique ($RRMSE$) des erreurs relatives par rapport à la valeur de référence, celle de l'inventaire complet. De l'analyse des résultats, il ressort que les $RRMSE$ peuvent atteindre 36 % et sont plus élevées avec les plantations en futaie. Les placettes à surface fixée donnent les meilleures estimations de caractérisation des plantations et une efficacité approximativement identique pour 4 ares et 6 ares avec des $RRMSE$ de 10 % pour (N_a/ha), de 13 % pour (G) et de 7 % pour (d_g). Les bandes d'échantillonnage sont meilleures que les placettes à nombre d'arbres fixé, avec une meilleure estimation de (d_g) de 10 % à 12 %. Tenant compte du coût d'inventaire, les unités d'observation de 4 ares peuvent être recommandées pour une meilleure caractérisation de la ressource en teck à sylviculture paysanne.

Mots-clés : teck, plantations privées, unité d'observation, caractérisation, évaluation, erreur relative.

ABSTRACT

SIZE OF SAMPLE PLOTS USED TO CHARACTERISE TEAK PLANTATIONS UNDER FARM SILVICULTURE IN SOUTHERN BENIN

Success of teak, *Tectona grandis*, plantations in State forests has encouraged involvement of private landowners in this sector, with inadequate planting method and a management system livelihood-improvement oriented. Any assessment and characterisation of this resource therefore demands a study on the representativeness of the sampling units. Three sampling types and twelve sampling units were compared: plots defined by area (100m², 200m², 400m² and 600m²); plots with a fixed number of trees (7, 9, 11, 13 and 15 trees) and strip sampling (5, 10 and 15 trees). The units were established randomly and a full inventory conducted, with one to four iterations in each of the eighteen plantations of different ages managed as high stands and coppices. The dendrometric parameters calculated for each observation unit and for the full inventory are as follows: density (N_a/ha), basal area (G), arithmetical average diameter of stems (d_g), average basal area of stems. The criterion for comparison is the root mean square error relative ($RRMSE$) to the reference value : from the full inventory. The analysis of results shows that $RRMSE$ can be as high as 36%, and even more in high stand plantations. Plots with a fixed surface area produce the best estimations for characterising plantations, with approximately equivalent efficiency for 400 and 600 m² plots, with a $RRMSE$ of 10% for (N_a/ha), 13 % for (G) and 7 % for (d_g). Strip sampling produced better results than plots with a fixed number of trees, with a better (d_g) estimation of 10 % to 12 %. Given the cost of the inventory, 400 m² sampling plots may be recommended to improve the characterisation of teak plantations under farm silviculture.

Keywords: teak, private forest plantations, sampling unit, characterisation, assessment, relative error.

RESUMEN

TAMAÑO DE PARCELAS PARA CARACTERIZACIÓN DE PLANTACIONES DE TECA BAJO SILVICULTURA RURAL EN EL SUR DE BENÍN

El éxito de las plantaciones estatales de teca, *Tectona grandis*, estimuló los cultivos privados con métodos inadecuados de siembra y manejo silvícola esencialmente orientados hacia la satisfacción de sus necesidades. La evaluación de este recurso y su caracterización no puede, por tanto, llevarse a cabo sin un estudio de la representatividad de las unidades de muestreo. Se compararon tres tipos y doce tamaños de unidades de muestreo: las parcelas de área definida (1 área, 2 áreas, 4 áreas y 6 áreas); las parcelas con un número de árboles determinado (7, 9, 11, 13 y 15 árboles) y las bandas de muestreo (5, 10 y 15 árboles). Las unidades se dispusieron al azar con una a cuatro repeticiones en cada una de las dieciocho plantaciones de edades diferentes, con tratamiento de monte alto y bajo y sometidas a un inventario completo. Los parámetros dendrométricos calculados en cada unidad de observación, así como en el inventario completo, son: densidad (N_a/ha), área basal (G), diámetro aritmético medio y diámetro del árbol de área basal media (d_g). El criterio de comparación es el error cuadrático medio relativo ($RRMSE$) con respecto al valor de referencia, es decir, el del inventario completo. Del análisis de resultados se desprende que el $RRMSE$ puede alcanzar valores del 36 % y es mayor en las plantaciones de monte alto. Las parcelas de área definida proporcionan las mejores estimaciones de caracterización de las plantaciones y presentan un desempeño casi idéntico con 4 áreas y con 6 áreas con un $RRMSE$ del 10 % en (N_a/ha), del 13 % en (G) y del 7 % en (d_g). Las bandas de muestreo son mejores que las parcelas con un número de árboles determinado con una mejor estimación de (d_g) del 10 % al 12 %. Teniendo en cuenta el costo de inventario, se pueden recomendar las unidades de observación de 4 áreas para una mejor caracterización de los recursos de teca en silvicultura rural.

Palabras clave: teca, plantaciones privadas, unidad de observación, caracterización, evaluación, error relativo.

Introduction

Les plantations de teck, *Tectona grandis* L.f., à petite échelle se sont imposées en raison de la valeur élevée du bois et de la croissance relativement rapide de cette essence. Au Bénin, les reboisements ont débuté en 1916 sur de petites surfaces dans les missions catholiques (BÉHAGHEL, 1999) et se sont poursuivis avec intensification en 1949, le teck étant l'essence principale. Le teck occupe, de toute évidence, la plus grande superficie d'afforestation au Bénin, couvrant une superficie estimée à 21 000 hectares (ha) (LOUPPE *et al.*, 2008). C'est le bois tropical qui a un potentiel économique significatif (NISKANEN, 1998), avec de nombreux opérateurs privés et publics s'y intéressant pour la production de bois d'œuvre (DUPUY *et al.*, 1999). Ces dernières décennies, le Sud du Bénin connaît un regain d'intérêt de la part des propriétaires terriens pour les plantations de teck (photo 1).

Malheureusement, ces plantations privées de teck au Bénin ne sont soumises à aucune sylviculture à proprement parler, comme l'ont d'ailleurs souligné MALDONADO et LOUPPE (1999) pour les plantations villageoises de teck en Côte d'Ivoire. Au Bénin, les peuplements sont irrégulièrement traités en taillis (photo 2) par les propriétaires pour répondre à des besoins ponctuels, principalement en bois de service (perches, piquets, poteaux), et non entretenus (photo 3). Les écartements, souvent très serrés entre lignes et entre arbres, varient d'une plantation à une autre. Les éclaircies sont encore très peu pratiquées par manque de connaissances sylvicoles des planteurs. Il en résulte une faible croissance individuelle des arbres qui découle d'une densité trop élevée (DEMENOIS *et al.*, 2005), comme le montre la photo 4. Ainsi, il est admis que, contrairement aux plantations domaniales dotées d'une sylviculture appropriée, les plantations privées de teck au Sud-Bénin sont majoritairement soumises à une sylviculture paysanne.

La gestion durable de ces ressources forestières requiert donc leur évaluation et leur caractérisation. Ces dernières ne peuvent se baser sur l'application des techniques classiques d'inventaire forestier en raison de ces irrégularités intraplantations, notamment le choix de l'unité d'échantillonnage. Deux questions méritent d'être posées pour le choix de l'unité d'échantillonnage pour une meilleure caractérisation d'une ressource forestière. La première concerne le type d'unité d'échantillonnage et la seconde la forme et la taille de l'unité (HUSCH *et al.*, 2003). Mais la question centrale demeure la taille optimale à choisir. Cela revient dans la pratique soit à minimiser la variance de l'estimateur pour un taux d'échantillonnage fixé (SCHREUDER *et al.*, 1987), soit à minimiser la durée totale de l'inventaire pour une précision donnée de l'estimateur choisi (GAMBILL *et al.*, 1985), ou encore à minimiser la variance de l'estimateur pour la durée totale de l'inventaire (LYNCH, RUSYDI, 1999). Il est important de remarquer que la taille opti-

male de l'unité d'observation dépend aussi du type de peuplement forestier, de sa structure et des caractéristiques morphologiques du site (VAN LAAR, AKÇA, 2007). Dans les plantations forestières relativement homogènes, le coefficient de variation est moins sévèrement affecté par la taille de la placette que dans les forêts naturelles. Des études réalisées en Afrique du Sud dans les plantations de pin, *Pinus radiata*, ont montré que le temps de mesure par unité de surface diminue avec la décroissance de la taille de l'unité d'observation, ce qui n'est pas le cas des études d'échantillonnage réalisées en Allemagne, pour lesquelles les mesures de distance ne sont pas limitées aux arbres de bordure (VAN LAAR, AKÇA, 2007). Il est alors raisonnable de connaître la taille optimale selon les types de plantations. De nombreux travaux d'optimisation ont porté sur les forêts tempérées et les forêts denses tropicales. Seuls les travaux de PICARD *et al.* (2004) et de FONTON *et al.* (2011) ont porté sur la savane tropicale africaine. À part ces travaux, LYNCH et RUSYDI (1999) et MAÎTRE (1983) ont travaillé respectivement sur les plantations domaniales de teck en Indonésie et sur les principales stations d'étude de la croissance du teck en Côte d'Ivoire. Il serait alors intéressant de connaître les unités d'observation qui permettront de caractériser et d'évaluer de façon optimale la ressource en teck dans le cas particulier des plantations privées.

Tenant compte de l'importance de la ressource en teck au Bénin et bien entendu dans les autres pays en Afrique subsaharienne, l'évaluation de cette ressource en teck et sa caractérisation constituent un atout pour une gestion efficace et aussi pour envisager des techniques de gestion forestière appropriées. C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail visant à déterminer la taille optimale des placeaux pour les études dendrométriques des teckeraies à sylviculture paysanne.



Photo 2.

Plantation de teck soumise à une sylviculture paysanne en régime de taillis de 4 ans et objet de prélèvements pour la satisfaction des besoins du propriétaire.
Photo G. Atindogbé.

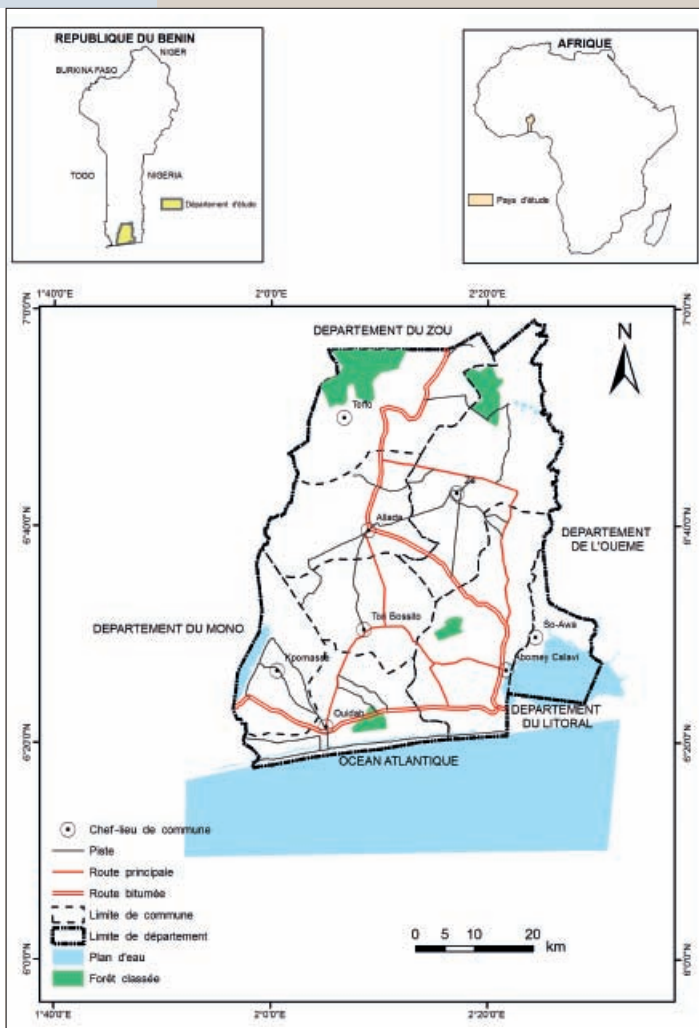


Figure 1.
Situation géographique du milieu d'étude
(département de l'Atlantique).

Matériel et méthodes

Milieu d'étude

Le milieu d'étude est le département de l'Atlantique au Sud du Bénin (Afrique de l'Ouest). Cette région est située entre les latitudes 6°17' et 6°58' Nord et les longitudes 1°56' et 2°31' Est (figure 1). Incluse dans la zone guinéenne, elle est soumise à un climat de type subéquatorial caractérisé par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches alternées. La grande saison pluvieuse s'étend de mars à juillet, tandis que la petite saison des pluies couvre les mois de septembre et d'octobre. La hauteur moyenne annuelle de pluies varie entre 900 et 1 200 mm. La température moyenne annuelle est de 27 °C. Les ressources forestières du département de l'Atlantique sont largement anthropisées et la forêt équatoriale originelle n'existe qu'en petits îlots d'extension négligeable. Actuellement, la végétation est caractérisée par un bush arbustif, associé à des peuplements plus ou moins denses de palmiers à huile qui se retrouvent sur les plateaux soit à l'état naturel, soit en plantations industrielles.

Selon les critères d'âge et de superficie, dix-huit plantations ont été échantillonnées (tableau I) dans les deux types de régime courants de la zone d'étude, à savoir le taillis et la futaie. Ces plantations ont fait l'objet d'un inventaire complet pour des arbres de 5 cm de grosseur minimum. Leur surface respective a été déterminée par arpentage avec l'utilisation du logiciel Arpent.

Unités d'observation

Trois types d'unités d'observation ont été comparés, à savoir les placettes à rayon fixe, les placettes à nombre d'arbres fixé et les bandes d'échantillonnage, ce dernier correspondant à des micro-placettes. Le choix de ces trois types d'unité est dû à leurs caractéristiques propres et à leur usage courant.

Les placettes à rayon fixe sont les unités d'observation les plus utilisées en foresterie (SCOTT, 1998). Elles sont de forme circulaire, qui est incontestablement la plus intéressante et la plus utilisée (RONDEUX, 1999) dans les plantations forestières. Les dimensions retenues sont des surfaces de 1 are, 2 ares, 4 ares et 6 ares.

Tableau I.
Répartition des plantations échantillons par régime, par classe d'âge et par classe de superficie.

Superficie (ha)	Régime					
	Futaie			Taillis		
	]0 - 5[(années)	]5 - 10[(années)	≥ 10 (années)	]0 - 3[(années)	]3 - 6[(années)	≥ 6 (années)
]0 ; 0,5[	P2*	P14	P6	P5	P4	P13
]0,5 ; 1[	P12	P8	P18	P7	P11	P15
≥ 1	P3	P9	P17	P1	P16	P10

* P2 signifie plantation échantillon numéro 2.

Les placettes de forme circulaire à nombre d'arbres fixé ont connu un certain regain ces dernières décennies parce qu'elles sont plus rapides et faciles à mettre en œuvre que les précédentes (PICARD *et al.*, 2005 ; MAGNUSSEN *et al.*, 2008). Elles font partie des stratégies d'échantillonnage pour réaliser les inventaires forestiers et écologiques de façon pratique sur le terrain (KLEINN, VILČKO, 2006a). Cinq dimensions sont retenues, à savoir 7 arbres, 9 arbres, 11 arbres, 13 arbres et 15 arbres.

Les bandes d'échantillonnage ou micro-placettes constituent une forme particulière de la placette rectangulaire. Elles sont constituées des arbres se trouvant sur une ligne de plantation. Elles sont utilisées dans le cas des plantations régulières. Ce type d'unité d'observation est caractérisé par les écartements entre arbres e et entre lignes l (figure 2), le taux de survie t , le nombre de pieds mesurés par bande $Nref$. Pour des écartements entre arbres, d'une part, et entre lignes, d'autre part, très peu variables au sein d'une plantation, la densité peut être déterminée indépendamment de la surface couverte, soit :

$$N(\text{ha}) = \frac{10000 \times t \times Nref \times Nap}{l \times e}$$

avec Nap le nombre d'arbres par pied. Trois dimensions sont retenues, à savoir les bandes à 5 arbres, 10 arbres et 15 arbres.

Le nombre de répétitions (q_i) de chaque unité d'observation varie selon la superficie de la plantation et le type d'unité. Pour les placettes circulaires, une seule répétition est prévue pour les plantations de superficie inférieure à 0,5 ha et deux sur les plantations de superficie supérieure ou égale à 0,5 ha. Pour les bandes, le nombre de répétitions est de deux sur les plantations de superficie inférieure à 0,5 ha et de quatre sur les plantations de superficie supérieure ou égale à 0,5 ha. Ainsi, pour les bandes et pour les placettes circulaires (à surface fixe ou à nombre d'arbres fixé), nous avons respectivement 30 répétitions et 15 répétitions par régime.

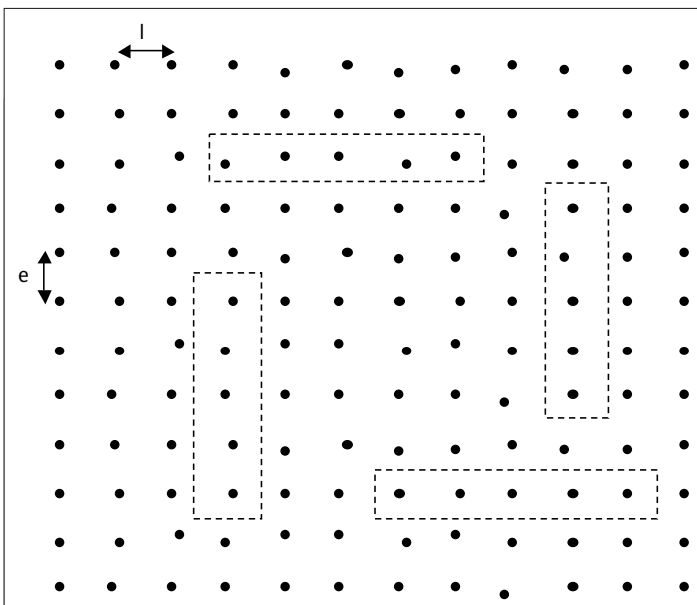


Figure 2. Présentation du dispositif d'échantillonnage d'unités en bandes d'échantillonnage dans une plantation de teck, *Tectona grandis* L. f.



Photo 3. Plantation de 4 ans non entretenue.
Photo G. Atindogbé.

Pour ce qui concerne l'implantation des unités d'échantillonnage, les centres des placettes circulaires et les débuts des bandes ont été choisis de façon aléatoire. Les unités d'échantillonnage sont situées à l'intérieur des plantations pour éviter les effets de bordure. Quant à leurs répétitions, elles ont été réalisées de façon à couvrir l'intégralité de la plantation tout en tenant compte de l'homogénéité des zones (végétation, sol, pente). Une distance minimale de 10 à 20 m a été respectée entre les répétitions.

Critères de comparaison

Pour la caractérisation des plantations échantillons, des paramètres dendrométriques ont été calculés par unité d'observation. Il s'agit de la densité en nombre de pieds par hectare (Np/ha), la densité en nombre d'arbres par hectare (Na/ha), du nombre moyen d'arbres par pied (Na/p), la surface terrière à l'hectare (G/ha), la tige de diamètre moyen arithmétique (\bar{d}), la tige de surface terrière moyenne (d_g) et la tige de surface terrière médiane (d_{med}).

Deux critères de comparaison ont été calculés pour l'ensemble des plantations et par régime pour chaque type de peaux. Ils permettent de mesurer l'écart des valeurs des paramètres dendrométriques (Na/ha , G/ha , d_g) de chaque unité d'observation à ceux de l'inventaire complet. Il s'agit de :

$$RBIAIS = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{q_i} \left(\frac{\hat{G}_{ij} - G_i}{G_i} \right)}{\sum_{i=1}^p q_i} \quad \text{et} \quad RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{q_i} \left(\frac{\hat{G}_{ij} - G_i}{G_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^p q_i}}$$

avec (G_i), la valeur du paramètre dendrométrique de l'inventaire complet de la plantation i ($i=1, \dots, p$) et (\hat{G}_{ij}), la valeur estimée du paramètre dendrométrique relative à la répétition j ($j=1, \dots, q_i$) de l'unité d'observation dans la plantation i . $RBIAIS$ est le biais relatif et $RRMSE$ est l'erreur quadratique moyenne relative (*Relative Root Mean Square Error*). Cette dernière est le premier critère de comparaison des statistiques calculé parce qu'elle est équivalente à un critère global de comparaison en estimation (ENGEMAN *et al.*, 1994) qui rend compte à la fois du biais et de la dispersion des erreurs autour de leur moyenne (NIELSON *et al.*, 2004). Ces deux paramètres sont équivalents à ceux de MESHGI et KHALILI (2007). Il en est déduit que l'unité d'échantillonnage qui estime mieux un paramètre dendrométrique est celle qui donne la plus faible valeur de $RRMSE$.

Résultats

Caractérisation des plantations échantillons

Les écartements entre lignes et entre pieds varient d'une plantation à une autre. Ils vont de 1,4 m à 6,3 m entre lignes et de 1,3 m à 3,2 m entre pieds sur les lignes. Les deux plus grandes valeurs d'écartement obtenues sont celles de la plantation P17 qui se trouve à sa deuxième éclaircie, avec une intensité de coupe estimée à 1/2. Sa densité actuelle est de 476 arbres à l'hectare avec un taux de survie moyen de 85 %.

Comme le montre le tableau II, le diamètre moyen arithmétique varie entre 5,8 cm et 15,7 cm et est légèrement inférieur au diamètre de la tige de surface terrière moyenne qui varie entre 6,0 cm et 16,9 cm. La surface terrière, quant à elle, varie de 5,8 m²/ha à 26,9 m²/ha avec une moyenne de 11,1 m²/ha. En ce qui concerne la densité en termes de nombre de pieds à l'hectare, elle varie de 435 à 2 629 pieds avec une moyenne de 1 616 pieds. Quant à la densité en termes de nombre d'arbres à l'hectare, elle est de 476 à 3 717 arbres avec une moyenne de 2 098 arbres. Il faut noter que c'est la seule plantation ayant subi des éclaircies qui a la plus faible densité. Le nombre d'arbres par pied varie entre 1 et 1,9. Néanmoins, plus de 50 % des pieds ont des nombres d'arbres allant de 2 à 5 dans les taillis. Pour l'ensemble des plantations, le diamètre moyen par plantation est de 10,1 cm et de 6,9 cm respectivement pour les futaies et les taillis.

Comparaison des unités d'échantillonnage

Importance des erreurs moyennes quadratiques relatives (RRMSE)

Les erreurs moyennes quadratiques relatives sont calculées pour les trois paramètres dendrométriques les plus utilisés pour la caractérisation des plantations forestières, à savoir la densité en nombre d'arbres par hectare (N_a/ha), la surface terrière à l'hectare (G/ha), la tige de surface terrière moyenne (d_g). Pour l'ensemble des plantations échantillons, elles sont de l'ordre de 0,10 à 0,33 pour N_a/ha , de 0,13 à 0,36 pour G/ha et de 0,07 à 0,21 pour d_g , ce qui correspond à une erreur relative minimum en de 10 %, 12,7 % et 6,7 % respectivement pour N_a/ha , G/ha et d_g . Les plus faibles valeurs sont obtenues avec le régime taillis, avec des valeurs minimales de 7,6 %, 11,4 % et 4,8 % respectivement pour N_a/ha , G/ha et d_g , tandis que pour le régime futaie les valeurs minimales sont respectivement de 12,3 %, 13,5 % et 8,6 %. Quel que soit le régime, les erreurs les plus faibles sont obtenues sur d_g et les plus fortes sur la surface terrière.

Tableau II.
Caractérisation des plantations échantillons à partir des données de l'inventaire complet.

Régime	Plantation	N_p	N_a	$N_{a/p}$	\bar{d}	G/ha	d_g	d_{med}
Taillis	P1	1 594	2 218	1,4	5,8	6,4	6,1	6
	P4	1 050	1 959	1,9	8,5	12,5	9,0	11
	P5	2 063	2 902	1,4	6,3	9,3	6,4	7
	P7	1 897	3 234	1,7	5,9	9,1	6,0	6
	P10	1 918	3 717	1,9	7,5	17,9	7,8	9
	P11	2 332	2 917	1,3	6,6	10,7	6,8	7
	P13	2 272	2 945	1,3	7,9	15,6	8,2	9
	P15	1 834	2 487	1,4	6,8	10,1	7,2	8
Futaie	P16	1 510	2 308	1,5	7,5	8,9	7,0	7
	P2	1 787	1 805	1,0	6,3	5,9	6,4	7
	P3	2 312	2 481	1,1	6,9	9,6	7,0	7
	P6	1 722	1 722	1,0	13,4	26,9	14,1	16
	P8	1 129	1 212	1,1	10,9	12,3	10,9	13
	P9	720	802	1,1	10,4	7,4	10,8	12
	P12	2 629	2 658	1,0	6,7	9,7	6,8	7
	P14	1 389	1 389	1,0	9,1	9,9	9,5	10
	P17	435	475	1,1	11,9	5,8	12,5	14
	P18	492	525	1,1	15,7	11,8	16,9	21

N_p = densité (pieds/ha) ; N_a = densité (arbres/ha) ; $N_{a/p}$ = nombre moyen d'arbres par pied ; \bar{d} = tige de diamètre moyen arithmétique ; G/ha = surface terrière (à l'hectare) ; d_g = tige de surface terrière moyenne ; d_{med} = tige de surface terrière médiane.

Comparaison globale

Pour l'ensemble des 18 plantations échantillons, il ressort que les placettes à surface définie sont caractérisées par les plus faibles valeurs de *RRMSE* quel que soit le paramètre dendrométrique. Ces erreurs sont relativement proportionnelles à la surface de la placette. Elles sont suivies des bandes et viennent ensuite les placettes à nombre d'arbres fixé, comme le montre la figure 3.

Au sein des placettes circulaires à surface définie, celles de 4 ares et de 6 ares donnent les meilleures estimations des paramètres dendrométriques avec des *RRMSE* de 10 %, 13 % et 7 % respectivement pour *Na/ha*, *G/ha* et d_g . En ce qui concerne les bandes, les erreurs sont relativement identiques quelle que soit la taille, de l'ordre de 25 % à 29 %, 21 % à 26 % et 10 % à 12 % respectivement pour *Na/ha*, *G/ha* et d_g . Il en est de même pour les placettes à nombre d'arbres fixé avec 28 % à 33 %, 33 % à 36 % et 16 % à 20 % respectivement pour *Na/ha*, *G/ha* et d_g . De même, en considérant les erreurs relatives *RBIAS* calculées pour chaque type d'unité, les placettes de 4 ares et de 6 ares ont les plus faibles valeurs.

Analyse par régime

Pour les taillis, les placettes à surface définie présentent, comme pour l'ensemble des plantations échantillons et de façon générale, les meilleurs résultats. Elles sont suivies par les bandes, puis par les placettes à nombre d'arbres fixé (figure 4). Les placettes de 4 ares et de 6 ares sont caractérisées par la plus faible *RRMSE*, de l'ordre de 7 % pour *Na/ha*, de 12 % pour *G/ha* et de 5 % pour d_g . Les erreurs quadratiques moyennes relatives pour les unités en bandes sont pratiquement identiques de l'ordre de 7 % pour *Na/ha*, de 12 % pour *G/ha* et de 5 % pour d_g . Pour ce qui est des unités à nombre d'arbres fixé, en dehors de la placette de 7 arbres qui se caractérise par les erreurs les plus fortes, les autres unités donnent des erreurs de même ordre de grandeur, soit 25 % à 28 %, 31 % à 36 % et 14 % à 15 % respectivement pour *Na/ha*, *G/ha* et d_g .

L'analyse des *RRMSE* des plantations échantillons en futaie conduit aux mêmes résultats d'efficacité des placettes à surface définie sur les autres formes de placettes, avec une efficacité approximativement identique des placettes de 4 ares et de 6 ares. Pour celles-ci, l'erreur quadratique relative en pour cent est de l'ordre de 13 % avec la densité *Na/ha*, de 14 % à 15 % pour *G/ha* et de 8,6 % pour d_g , comme le montre la figure 5. Il est à noter que les erreurs quadratiques moyennes observées sur les plantations en futaie sont plus élevées que celles des taillis.

Ainsi, quel que soit le régime, ce sont les placettes à surface définie qui donnent les meilleurs résultats. Elles sont suivies des bandes puis des placettes à nombre d'arbres fixé. Les placettes de 4 ares et de 6 ares estiment mieux les paramètres dendrométriques pour le type des placettes à surface définie. Les bandes de 10 pieds estiment également mieux les paramètres dendrométriques que les bandes de 5 et de 15 pieds. Parmi le type des placettes à nombre d'arbres fixé, les placettes de 15 arbres donnent les meilleurs résultats en régime de taillis. Par contre, en régime de futaie, ce sont les placettes de 13 arbres qui estiment mieux la surface terrière et la densité.

Discussion et conclusion

Le caractère paysan de la sylviculture caractéristique des plantations privées de teck au Sud-Bénin se justifie déjà dans la mise en terre des plants. En effet, les écartements pratiqués sont en moyenne de l'ordre de 1,4 m tandis que, selon le régime d'éclaircie des plantations de teck en Côte d'Ivoire, la densité à la plantation est de 1 450 pieds et l'écartement de 2,6 m (MAÎTRE, 1983). La recherche de la taille optimale des unités d'échantillonnage pour la caractérisation et l'évaluation de cette ressource trouve ainsi son intérêt.

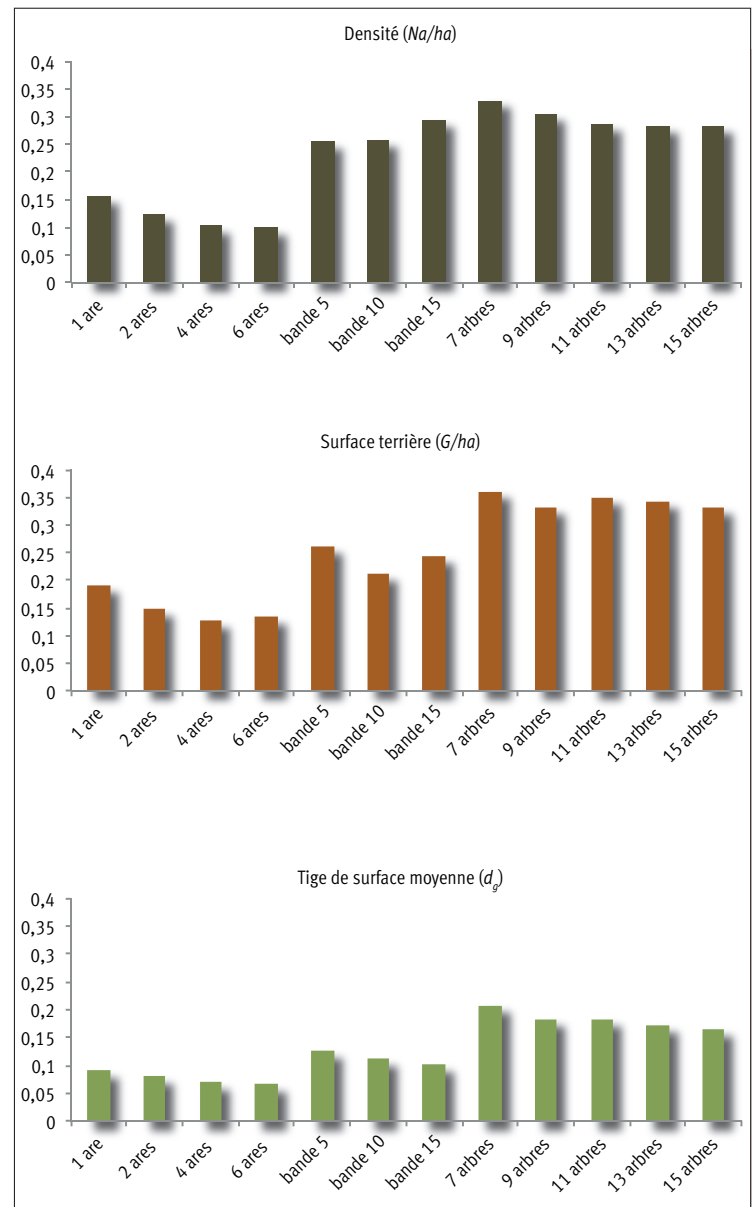


Figure 3.

Importance des *RRMSE* par type d'unité d'échantillonnage pour la densité en nombre d'arbres (*Na/ha*) pour la surface terrière (*G/ha*) et pour le diamètre quadratique moyen (d_g) calculée sur les 18 plantations.

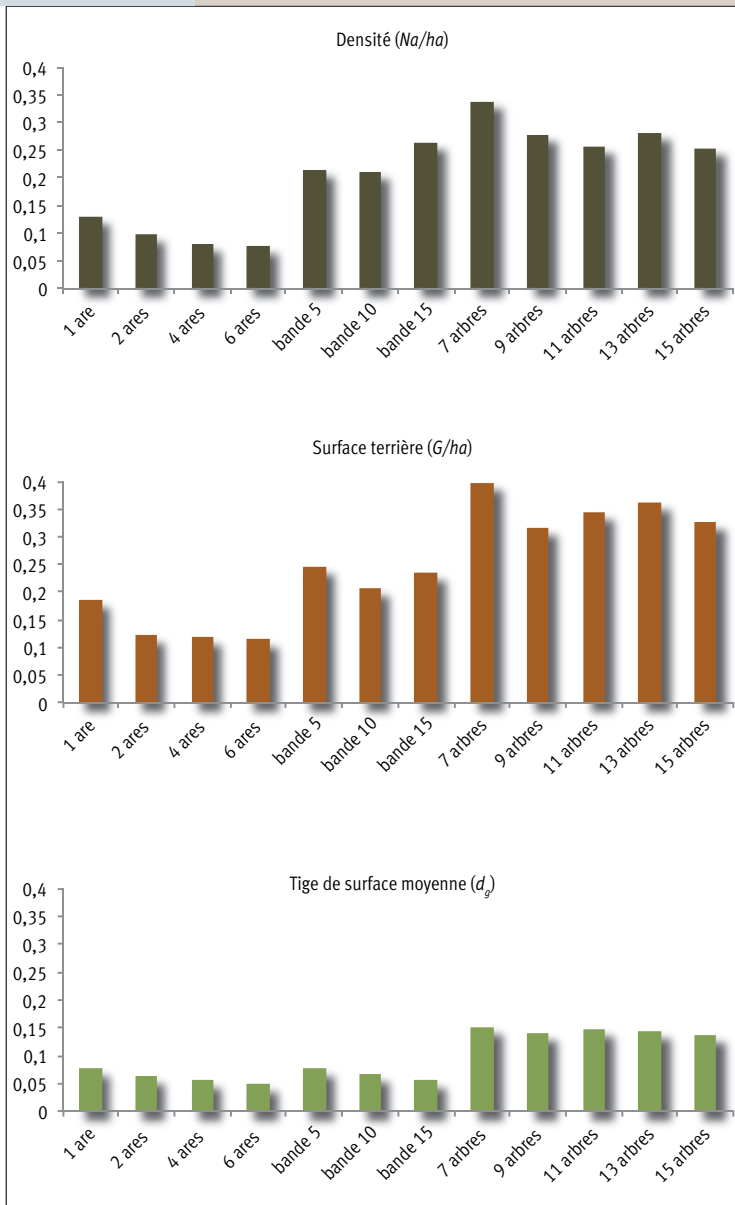


Figure 4.

Importance des *RRMSE* par type d'unité d'échantillonnage pour la densité en nombre d'arbres (*Na/ha*) pour la surface terrière (*G/ha*) et pour le diamètre quadratique moyen (d_g) calculée sur les 18 plantations.

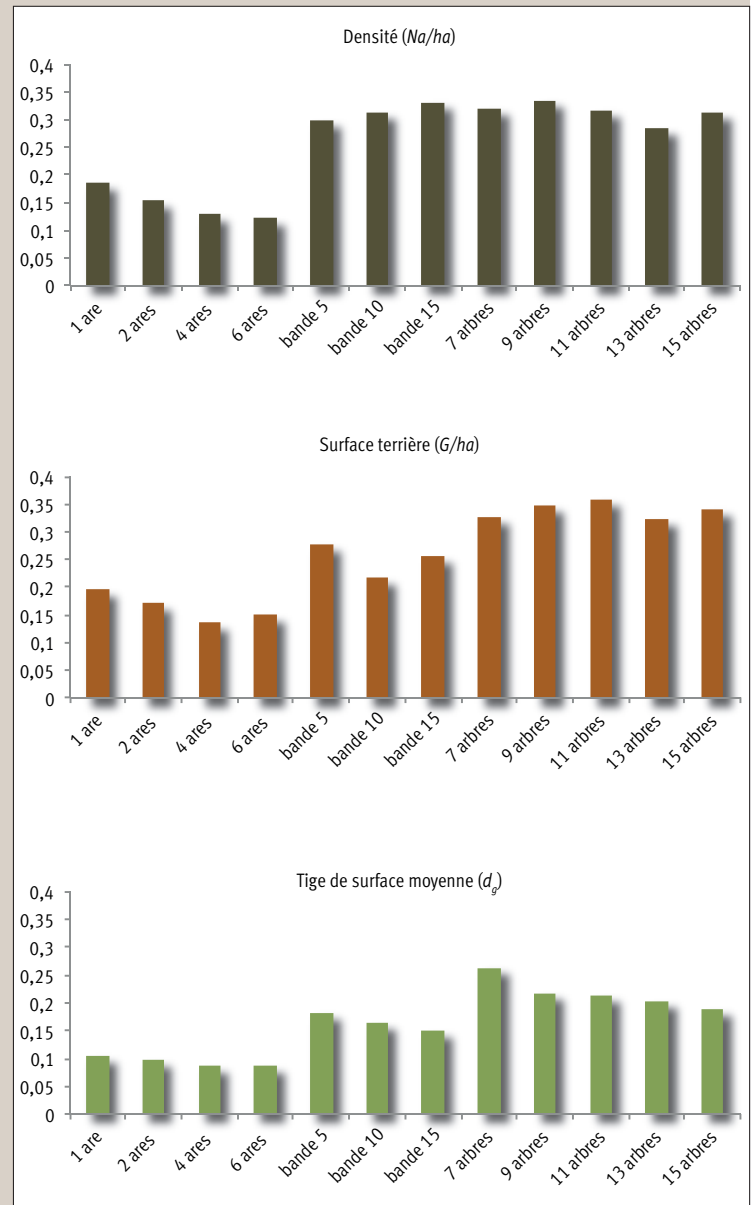


Figure 5.

Importance des *RRMSE* par type d'unité d'échantillonnage pour la densité en nombre d'arbres (*Na/ha*) pour la surface terrière (*G/ha*) et pour le diamètre quadratique moyen (d_g) pour le régime futaie.

L'analyse des résultats a révélé que les placettes à surface définie donnent en général les *RRMSE* les plus faibles par rapport aux autres types de placettes. Elles fournissent par conséquent les meilleures estimations des paramètres dendrométriques. Elles sont suivies des bandes. Le type de placettes à nombre d'arbres fixé apparaît moins indiqué.

En effet, pour LESSARD *et al.* (1995), les placettes à nombre d'arbres fixé sont plus variables que les autres types de placettes. De même, LYNCH et RUSYDI (1999) ont comparé les placettes à nombre d'arbres (*n*-arbres) fixé à plusieurs autres techniques d'échantillonnage et ont trouvé que les placettes à *n*-arbres fixé

sous-estiment le volume et la densité dans les plantations échantillonnées en Indonésie. LESSARD *et al.* (2002) ont ensuite comparé les placettes à *n*-arbres fixé aux placettes à surface fixée pour l'estimation de la densité. Ils ont montré que les estimateurs de la méthode des *n*-arbres fixés sont en général moins précis que ceux des placettes à surface définie dans les plantations. Ces résultats sont conformes à ceux de SCHREUDER (2004) qui a prouvé que l'utilisation de la méthode d'échantillonnage à *n*-arbres fixé peut être dangereuse et affirme que cette méthode est biaisée. Il ajoute que cette méthode ne satisfait pas le besoin des techniques traditionnelles d'échantillonnage habituellement utilisées.



Photo 4.

Jeune plantation de teck de 7 ans avec des écartements très serrés reflétant la compétition intraspécifique.
Photo G. Atindogbé.

L'efficacité des placettes à surface définie sur les unités d'échantillonnage en bandes peut se justifier par le fait que les bandes sont sans biais seulement dans le cas des plantations rigoureusement régulières (KLEINN, VILČKO, 2006b ; MAGNUSSEN *et al.*, 2008). En effet, les estimateurs des paramètres dendrométriques des bandes sont basés sur les écartements moyens entre arbres. L'itinéraire technique de la sylviculture de la ressource en teck a révélé que les plantations sont mises en place sans piquetage et, en conséquence, les écartements sont très variables entre arbres et d'un endroit à l'autre de la plantation.

Parmi les placettes à surface définie, les placettes de 4 ares et de 6 ares sont les unités d'observation qui estiment au mieux les paramètres dendrométriques des plantations de teck. Ces dimensions d'unité sont conformes aux formes habituelles adoptées dans les plantations en Afrique, qui vont de 400 m² selon FONTON *et al.* (2002) à 1 000 m² selon PARDÉ et BOUCHON (1988). Leur intérêt réside dans le fait qu'elles fournissent une bonne estimation de la densité et de la surface terrière à l'hectare par leur taille. La meilleure estimation des paramètres dendrométriques obtenue avec les placettes de 4 ares et de 6 ares peut se justifier par le nombre élevé d'arbres échantillons, qui est en moyenne de 86 arbres par placette.

Le nombre raisonnable d'arbres des unités d'échantillonnage pour les inventaires des plantations forestières préconisé dans la littérature forestière serait difficile d'application dans les conditions des plantations privées à sylviculture paysanne. En effet, LAURENT et RONDEUX (1985) préconisent des nombres d'arbres de 15 à 20 pour des futaies en conditions de densité normale. DUPLAT et PERROTTE (1981) proposent des unités d'observation de 10 à 12 arbres à condition que

les placettes n'englobent pas de vide anormal. Aucune de ces conditions n'est remplie dans notre cas. En effet, les plantations ne sont pas rigoureusement soumises à des opérations sylvicoles ; elles sont caractérisées par des prélèvements qui indiquent de grandes variabilités dues à la distribution spatiale des arbres au sein des plantations.

Les deux régimes présentent plus ou moins les mêmes variations. Mais au sein de chaque régime, quelques variations ont été observées. Si la variation au niveau des taillis réside dans la discontinuité des coupes, celle des futaies provient des regarnissages et prélèvements, étant donné que la plupart, soit 89 %, n'ont pas subi d'éclaircie à proprement parler. D'autres unités d'échantillonnage comme la placette de 2 ares donnent aussi une bonne précision pour les taillis. Quant aux futaies, quelques placettes à nombre d'arbres fixé donnent de bonnes précisions dans les plantations âgées.

Les résultats obtenus montrent que, par rapport à l'inventaire complet, les placettes à surface définie estiment mieux les paramètres dendrométriques que les autres types d'unités d'observation (bande et nombre d'arbres fixé). Le type d'unités en bande est meilleur que les unités à nombre d'arbres fixé. Parmi les placettes à surface définie, et tenant compte du coût d'inventaire, les unités d'observation de 4 ares peuvent être recommandées pour une meilleure caractérisation de la ressource en teck à sylviculture paysanne.

Références bibliographiques

- BÉHAGHEL I., 1999. État des plantations de teck dans le monde. *Bois et Forêts des Tropiques*, 262 : 6-18.
- DEMENOIS J., HEURTAUX A., DEPOMMIER D., PATIL S., 2005. Filière et développement du teck en Inde du Sud : quel avenir pour les plantations privées ? *Bois et Forêts des Tropiques*, 286 : 41-53.
- DUPLAT P., PERROTTE G., 1981. Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers. Fontainebleau, France, Office national des forêts, Section technique, 432 p.
- DUPUY B., MAÎTRE H.-F., N'GUESSAN KANGA A., 1999. Table de production du teck (*Tectona grandis*) : l'exemple de la Côte d'Ivoire. *Bois et Forêts des Tropiques*, 261 : 5-16.
- ENGEMAN R. M., SUGIHARA R. T., PANK L. F., DUSENBERRY W. E., 1994. A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation. *Ecology*, 75: 1769-1779.
- FONTON N. H., GLÈLÈ KAKAI R., RONDEUX J., 2002. Étude dendrométrique d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. en mélange sur vertisol au Bénin. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 6 (1) : 29-37.
- FONTON N. H., ATINDOGBE G., HOUNKONNOU N. M., ODJO DOHOU R., 2011. Plot size for modelling the spatial structure of sudanian woodland trees. *Annals of Forest Science*, 68: 1315-1321. Doi 10.1007/s13595-011-0111-1.
- GAMBILL C. W., WIANT H. V. JR, YANDLE D. O., 1985. Optimum plot size and BAF. *Forest Science*, 31 (3): 587-594.
- HUSCH B., BEERS T. W., KERSHAW J. A., 2003. *Forest Mensuration*. Hoboken, NJ, États-Unis, John Wiley and Sons, 443 p.
- KLEINN C., VILČKO F., 2006a. A new empirical approach for estimation in k-tree sampling. *Forest Ecology and Management*, 237: 522-533.
- KLEINN C., VILČKO F., 2006b. Design-unbiased estimation for point-to-tree distance sampling. *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 1407-1414.
- LAURENT C., RONDEUX J., 1985. Étude comparative de diverses unités d'échantillonnage à nombre de bois prédéterminé (cas de forêts résineuses équiennes). Gembloux, Belgique, Faculté des sciences agronomiques, Centre de recherche et de promotion forestières Irsia, Section « Aménagement et Production », Document 85-2, 21 p.
- LESSARD V. C., REED D. D., DRUMMER T. D., 1995. N-tree distance sampling compared to fixed radius plot and variable radius point sampling in forest inventory estimation of basal area per acre. *In: Proceedings, Monte Verità Conference on Forest Survey Designs: "Simplicity versus Efficiency" and Assessment of Non-Timber Resources*, 2-7 mai 1994, Monte Verità, Ascona (Suisse). Köhl M., Brassel P. (Eds). Birmensdorf, Suisse, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research ; Zurich, Suisse, Swiss Federal Institute of Technology, Section of Forest Inventory and Planning, p. 81-90.
- LESSARD V. C., REED D. D., DRUMMER T. D., 2002. Precision of density estimates from fixed-radius plots compared to N-tree distance sampling. *Forest Science*, 48: 1-6.
- LOUPPE D., OTENG-AMOAKO A. A., BRINK M. (ÉD.), 2008. *Resources végétales de l'Afrique tropicale*. Prota 7 (1) : Bois d'œuvre. Wageningen, Pays-Bas, Prota, 785 p.
- LYNCH T. B., RUSYDI R., 1999. Distance sampling for forest inventory in Indonesian teak plantations. *Forest Ecology and Management*, 113: 215-221.
- MAGNUSSEN S., KLEINN C., PICARD N., 2008. Two new density estimators for distance sampling. *European Journal of Forest Research*, 127: 213-224.
- MAÎTRE H.-F., 1983. Table de production provisoire du teck (*Tectona grandis*) en Côte d'Ivoire. Nogent-sur-Marne, France, Centre technique forestier tropical (Ctft), 71 p.
- MALDONADO G., LOUPPE D., 1999. Les plantations villageoises de teck en Côte d'Ivoire. *Bois et Forêts des Tropiques*, 262 : 9-30.
- MESHGI A., KHALILI D., 2007. Comprehensive evaluation of regional flood frequency analysis by L- and LH-moments. II. Development of LH-moments parameters for the generalized Pareto and generalized logistic distributions. *Stockholm Environment Research Risk Access*, 23: 119-135. Doi 10.1007/s00477-007-0202-6.
- NIELSON R. M., SUGIHARA R. T., BOARDMAN T. J., ENGEMARAN R. M., 2004. Optimization of ordered distance sampling. *Environmetrics*, 15: 119-128.
- NISKANEN A., 1998. Financial and economic profitability of reforestation in Thailand. *Forest Ecology and Management*, 104: 57-68.
- PARDÉ J., BOUCHON J., 1988. *Dendrométrie*. Nancy, France, Engref, 51 p.
- PICARD N., SYLLA M. L., NOUVELLET Y., 2004. Relationship between plot size and the variance of the density estimator in West African savannas. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 2018-2026.
- PICARD N., KOUYATÉ A. M., DESSARD H., 2005. Tree density estimations using a distance method in Mali savanna. *Forest Science*, 51 (10): 7-18.
- RONDEUX J., 1999. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Gembloux, Belgique, Les Presses agronomiques de Gembloux, 2^e éd., 521 p.
- SCHREUDER H. T., 2004. Sampling using a fixed number of trees per plot. US Department of Agriculture, Forest Service, Research Note, RMRS-RN-17, 5 p.
- SCHREUDER H. T., BANYARD S. G., BRINK G. E., 1987. Comparison of three sampling methods in estimating stand parameters for a tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 21: 119-127.
- SCOTT C. T., 1998. Sampling methods for estimating change in forest resources. *Ecological Applications*, 8 (2): 228-233.
- VAN LAAR A., AKÇA A., 2007. *Forest Mensuration*. Dordrecht, Pays-Bas, Springer, Managing Forest Ecosystems, vol. 13, 383 p.