

MÉTHODES ET DISPOSITIFS D'INVENTAIRES FORESTIERS EN AFRIQUE DE L'OUEST : ÉTAT DES LIEUX ET PROPOSITIONS POUR UNE HARMONISATION

A. THIOMBIANO *, R. GLELE KAKAÏ **, P. BAYEN *, J. I. BOUSSIM * & A. MAHAMANE ***

*Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales, Université de Ouagadougou, 03 BP 7021, Burkina Faso

**Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières, Université d'Abomey-Calavi, 03 BP 2819, Cotonou, Bénin

***Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP 10662 Niamey, Niger

RÉSUMÉ

Les inventaires forestiers sont des outils généralement destinés à évaluer l'importance quantitative et qualitative du matériel végétal et son évolution au cours du temps. Les méthodes d'inventaires utilisées dans les différents pays de l'Afrique de l'Ouest sont nombreuses et diversifiées, ce qui constitue un handicap non seulement à la comparaison des résultats entre les différents pays mais aussi à la mise en commun des données pour exploitation régionale. L'objectif de ce travail est de proposer des recommandations pour une harmonisation judicieuse des méthodes et dispositifs d'inventaires forestiers dans les pays ouest africains. Ces recommandations font suite à plusieurs rencontres régionales entre spécialistes de la flore et de la végétation de l'Afrique de l'Ouest.

Mots-clés : végétation ; inventaire ; techniques ; variabilité ; harmonisation ; Afrique de l'Ouest

ABSTRACT

Forest inventories are tools generally intended to assess the quantitative and qualitative importance of plant material and its evolution over time. Inventory techniques used in different countries in West Africa are numerous and diversified; this situation negatively impacts comparison of forest inventory results between different countries and decision making at regional level. The aim of this work is to propose suggestions for adequate harmonization of forest inventory techniques and designs in the West African countries. These recommendations follow several regional meetings between experts of flora and vegetation of West Africa.

Keywords: vegetation; inventory; techniques; variability; harmonization; West Africa

INTRODUCTION

Les inventaires forestiers sont incontournables dans les politiques de gestion durable des ressources ligneuses. De nombreuses méthodes d'inventaire forestier ont été mises au point et sont recensées dans divers ouvrages (Schreuder *et al.* 1993 ; Shiver & Borders, 1996). On peut classer ces méthodes d'une part selon le type de placettes d'inventaires utilisés en chaque point d'inventaire, et d'autre part selon le mode de disposition des points d'inventaires. Parmi les types de placettes d'inventaires, le plus utilisé

en Afrique de l'Ouest c'est celui de la placette de taille fixe ou quadrat. Quant au mode de disposition des points d'inventaire, il se réfère à la façon dont les points d'inventaire sont positionnés dans l'espace. Les points d'échantillonnage peuvent être répartis au hasard (échantillonnage aléatoire) ou de façon régulière sur une grille ou sur des transects (échantillonnage systématique). L'espace peut être préalablement stratifié (échantillonnage stratifié). Enfin, les points d'échantillonnage peuvent être répartis selon des patrons emboîtés les uns dans les autres, par exemple des grappes de points d'inventaires répartis selon une grille régulière (échantillonnage hiérarchique) (Picard, 2006).

Ces méthodes sont à quelques petites différences près les mêmes dans les différents pays de l'Afrique de l'ouest (Sambou, 2004, Wala, 2004 ; Mahamane, 2005, Thiombiano, 2005 ; Ouédraogo, 2006a ; Assogbadjo *et al.*, 2010 ; Houeto *et al.*, 2012). Ces petites différences qui apparemment sont insignifiantes constituent un handicap sérieux non seulement à la mise en commun des données pour une utilisation régionale mais aussi à l'établissement de comparaisons entre les résultats de différents pays. L'harmonisation des méthodes d'études s'avère donc nécessaire afin de faciliter des actions de gestion des ressources naturelles de grande envergure.

L'inventaire forestier fait partie intégrante du processus de planification de la gestion durable des ressources forestières (Kaboré, 2004). Il vise à fournir des données nécessaires sur les espèces afin d'asseoir des normes de sylviculture, de simuler la production et l'évolution des ressources et d'analyser les relations station-production (Bergeret & Couteron, 1995 ; Couteron & Serpantié 1995; Fonweban & Houillier, 1997). Ces résultats servent de base de décision à la sylviculture, à l'économie forestière, à la politique forestière et au génie forestier. Les inventaires sont utilisés pour la planification des exploitations et jouent un rôle de plus en plus important en aménagement du territoire et dans la protection de l'environnement.

Ce travail part d'une synthèse bibliographique des méthodes d'inventaires forestiers pour aboutir à des recommandations susceptibles de conduire à une harmonisation judicieuse des méthodes et dispositifs d'inventaire forestier dans les pays ouest africains.

OBJECTIFS DE L'INVENTAIRE FORESTIER

D'une manière générale, les inventaires forestiers visent à évaluer l'état actuel et la dynamique de la végétation ligneuse.

De façon spécifique, les objectifs varient suivant les types d'inventaire forestier. On distingue en général deux types d'inventaire forestiers : les inventaires de gestion et les inventaires nationaux/régionaux (Rondeux, 1999). Pour les inventaires de gestion, le but est d'estimer le matériel sur pied et d'établir des plans de gestion à travers l'étude de la structure et de la dynamique des peuplements, de la dynamique de la régénération.

Quant aux inventaires forestiers nationaux/régionaux, ils sont le plus souvent réalisés sur la base d'échantillonnages systématiques et parfois multiphasés (associant mesures et observations de terrain et analyse de photos aériennes et/ou images satellitaires) et utilisant des placettes permanentes (Poso *et al.* 1995). Ils ont pour objectifs de contribuer à la mise en œuvre de politiques forestières nationales/régionales (orienter globalement la gestion forestière nationale ou régionale : modification des termes d'exploitabilité, des intensités d'éclaircies, encouragement à la plantation de telle ou telle espèce, élaboration des textes législatifs et réglementaires, des programmes d'actions, etc.) ; de promouvoir les industries de bois (pour la valorisation des résultats des inventaires forestiers : surfaces, volumes, disponibilités actuelles et futures des produits de la forêt et répartition géographique des différentes essences) et l'amélioration de la gestion des massifs boisés.

MOYENS ET MATÉRIEL D'INVENTAIRE FORESTIER

Les inventaires forestiers sont généralement assez coûteux et il est toujours important de définir clairement ses objectifs avant de les entreprendre. Souvent, plusieurs équipes sont nécessaires pour réaliser l'inventaire forestier. La mobilisation des moyens financiers, humains et matériels doit correspondre aux objectifs fixés et au temps imparti. Toutefois, un matériel de base est indispensable pour chaque équipe et se compose de :

- 1 GPS
- 1 clinomètre ou une perche graduée
- 1 compas forestier ou un ruban pi
- 1 loupe et des jumelles
- 1 ruban de 50 m et 1 ruban de 30 m
- Des piquets ou des jalons (repères)
- Des fiches d'inventaires et des crayons
- 1 tarière de PRESSLER

Quant aux moyens humains, l'équipe de base se compose au moins de 5 personnes : un spécialiste en systématique, un technicien pour les différentes mesures, une personne pour prendre les notes, un boussolier pour retrouver et installer les placeaux et un manœuvre pour des charges diverses.

Nécessité d'un échantillonnage objectif et représentatif

Du fait que les forêts sont souvent vastes pour faire l'objet d'un inventaire exhaustif, l'inventaire forestier repose presque toujours sur un échantillonnage (Picard, 2006 ; Van Laar & Akça, 2007). Pour les différents fondements de l'échantillonnage, se référer au chapitre 2 portant sur les dispositifs d'inventaire forestier pour les ligneux et pour la régénération.

Le choix d'un dispositif répond à des exigences du terrain ou à des objectifs bien précis et il n'est pas rare qu'un inventaire forestier combine plusieurs types d'échantillonnage. Une présentation plus détaillée des fondements de ces dispositifs est disponible dans la littérature (Jayaraman, 1999 ; Rondeux, 1999 ; Lecomte & Rondeux, 2002 ; Van Laar & Akça, 2007).

Types d'échantillonnage

Les types d'échantillonnage utilisés en inventaire forestier sont : l'échantillonnage aléatoire et simple, l'échantillonnage systématique, l'échantillonnage stratifié, l'échantillonnage en grappes, l'échantillonnage à plusieurs degrés et l'échantillonnage à plusieurs phases (Picard, 2006). Pour plus de détails sur les fondements, avantages et inconvénients de chaque type, se référer au chapitre sur les dispositifs d'inventaire forestier pour les ligneux et pour la régénération. Il en est de même pour le nombre d'échantillons et pour la détermination des taux de sondage.

Nature, forme et taille des placettes

La nature, la forme et la taille des placettes échantillons est un compromis entre l'exactitude, la précision, le temps et le coût de la mesure.

Nature des placettes : on distingue les placettes permanentes et les placettes temporaires.

Placettes permanentes

Les placettes permanentes se réfèrent à des emplacements d'échantillonnage forestier qui sont bornés ou simplement identifiés et remesurés à différents points dans le temps (Köhl *et al.*, 2006). A la différence des placettes temporaires la technique des placettes permanentes consiste à suivre au cours du temps les changements de végétation sur un même espace.

Dans les inventaires de type permanent, les unités sont matérialisées de façon indirecte via un piquet métallique enfoncé au centre ; les arbres sont repérés par l'angle de visée sous lequel ils sont vus à partir du centre et par la distance qui les sépare du piquet (Rondeux, 1999). Ce sont des placettes installées sur le terrain et couvrant une période assez longue (plusieurs années, voire des décennies), ce qui permet de comparer des inventaires successifs. Les placettes permanentes sont matérialisées sur le terrain en leur centre ou aux extrémités (en général par des piquets métalliques ou des bornes). Un état précis des ressources à l'échelle de la forêt est effectué au début de tout suivi (situation de référence). Cette méthode permet de suivre de nombreux descripteurs de manière continue dans le temps, en particulier ceux concernant le peuplement à diamètre non précomptable, la qualité des bois, la diversité biologique, etc. En outre, les placettes permanentes permettent de suivre l'accroissement individuel des arbres, la qualité individuelle des arbres, et certaines variables plus précises comme des mesures de surface ou de volume de houppier.

Placettes temporaires

Les placettes temporaires sont des placettes à usage unique car elles ne sont pas matérialisées sur le terrain (Picard *et al.*, 2010). Ce sont des placettes mesurées une seule fois et caractérisent des peuplements différents à un instant donné, sans prendre en considération la cinétique de croissance (Pauwels *et al.*, 1999). Cette méthode est un peu plus rapide à mettre en œuvre qu'un inventaire de placettes permanentes: le centre n'est pas matérialisé et la position de chaque arbre n'est pas relevée. Mais un tel inventaire ne permet pas de suivre dans le temps certaines variables comme l'accroissement, la qualité, le traitement sylvicole appliqué (exploitation, gestion passée, etc.).

NB : Les placettes temporaires peuvent servir à obtenir des évaluations de l'état actuel de la forêt, alors que les placettes permanentes, ou une combinaison de placettes permanentes et temporaires, sont une condition préalable pour obtenir une estimation des changements dans le temps (Picard *et al.*, 2010).

Forme des placettes

Parmi les différents types d'inventaires, on distingue habituellement les placettes de taille fixe ou quadrat et les placettes de taille variable. Les placettes de taille fixe ou quadrat sont les plus utilisées en Afrique de l'Ouest. Les placettes d'inventaire peuvent avoir une forme circulaire, carrée ou rectangulaire (Kenkel & Podani, 1991 ; Rondeux, 1999 ; Kangas & Maltamo,

2007). Les placettes circulaires représentent la figure géométrique de plus faible périmètre pour une forme donnée; elles réduisent de ce fait le nombre d'arbres de bordure par rapport aux placettes d'autres formes mais de même superficie (Kangas & Maltamo, 2007) et sont par conséquent les plus utilisées dans les inventaires forestiers nationaux et internationaux (Lecomte & Rondeux, 2002). Néanmoins, les placettes rectangulaires dont la longueur coïncide avec les lignes de plantation sont plus adéquates dans les plantations forestières (Van Laar & Akça, 2007). En effet, pour une même aire, les placettes rectangulaires permettent de recenser plus d'espèces que les autres formes (Jyrki *et al.*, 1998). Dans les formations tropicales, cependant, il est plus convenable d'utiliser les placettes carrées ou rectangulaires (Van Laar & Akça, 2007). Ceci est confirmé par de récentes études qui indiquent que les placettes carrées sont les plus recommandées dans les forêts claires et denses de la zone tropicale (Houéto *et al.*, 2013 ; Salako *et al.*, 2013).

Taille des placettes

La taille des placettes d'inventaire représente une caractéristique importante dans la précision d'estimation des paramètres de végétation. Toutefois, le choix de la taille optimale des placettes dépend de plusieurs caractéristiques liées au peuplement considéré. En effet, la densité des arbres, leur âge, leur grosseur et leur structure spatiale dans le peuplement sont autant d'éléments qui influenceraient la taille optimale des placettes (Rondeux, 1999; Van Laar & Akça, 2007). Ainsi, Houéto *et al.* (2013) suggèrent des placettes carrées de 1500 m² et 1000 m² pour l'analyse de la composition floristique de la végétation ligneuse en forêt dense semi-décidue et en forêt claire respectivement. Salako *et al.* (2013) suggèrent des placettes carrées de 2000 m² et 1800 m² pour l'analyse structurale en forêt dense et en forêt claire respectivement. Ouédraogo *et al.* (2006a), Bognounou *et al.* (2009) et Sop *et al.* (2010) suggèrent des placettes de 1000 m² en forêt claire et en savane. La méthode « classique » d'inventaire des formations savanicoles est un inventaire systématique stratifié utilisant des placettes de taille fixe, souvent comprise entre 1000 et 1250 m² (en l'occurrence des rectangles 20 × 50 m ou 25 × 50 m) (Arbonnier, 1990) mais pouvant aller jusqu'à 2500 m².

Ligneux adultes

Pour la strate arborescente, il est recommandé des surfaces d'aire minimale au moins pour les principales formations forestières. Les valeurs de ces aires minimales, consécutives aux différents travaux dans les différentes régions

de l'Afrique de l'Ouest, sont consignées dans le tableau 1 (Projet SUN-UE, 2008).

Tableau 1. Valeurs d'aires minimales pour étudier les différents types de végétation

Type de végétation	Superficie (m ²)
Forêts denses et galeries forestières	500 (50 m x 10 m)
Savanes et forêts claires: placettes de forme carré	900 (30 m x 30 m)
Savanes et forêts claires: placettes de forme rectangulaire	1000 (50 m x 20 m)
Steppes	2500 (50 m x 50 m)
Systèmes agroforestiers	2500 (50 m x 50 m)
Formations contractées	2500 (100 m x 25 m)
Prairie aquatique	16 (4 m x 4 m)

La différence de tailles des placettes installées dans les savanes et les forêts claires s'explique essentiellement par les aspects pratiques de mise en place des carrés et des rectangles sur le terrain (Houéto *et al.*, 2013 ; Salako *et al.*, 2013). Ainsi, il est plus facile d'installer une placette carré de 900 m² (c'est-à-dire 30 m de côté) plutôt que 1000 m². De même, pour un rectangle, il est plus facile d'installer 1000 m² avec 50 m et 20 m respectivement pour la longueur et la largeur. La seconde raison réside dans le fait que beaucoup de travaux ont été exécutés en utilisant ces 2 superficies qui ne présentent pas une grande différence en terme d'impact sur les données des ligneux (Sinsin, 1993 ; Hahn-Hadjali, 1998 ; Mahamane, 2005 ; Thiombiano, 2005).

Régénération ligneuse

En ce qui concerne la régénération ligneuse, la taille des placettes varie aussi en fonction des types de végétation (Ouédraogo et Thiombiano, 2012 ; Donou *et al.*, 2014 ; Gnonlonfoun *et al.*, 2015). Le tableau ci-dessous donne à titre indicatif les valeurs d'aires minimales pour étudier la régénération naturelle de différents types de végétation.

Tableau 2. Superficie d'inventaire de la régénération naturelle de différents types de végétation

Type de végétation	Superficie (m ²)
Systèmes agroforestiers, steppe et formations contractées	25 (5 m x 5 m)
Savanes et forêts claires	25 (5 m x 5 m)
Forêts denses et galeries forestières	1 (1 m x 1 m)

Les quadrats d'inventaire de la régénération peuvent être installés suivant la diagonale (Dessard & Bar-Hen, 2004) de la placette des ligneux ou aux différents angles et au centre de la placette (Glèlè Kakai & Sinsin 2009) (Figure 1).

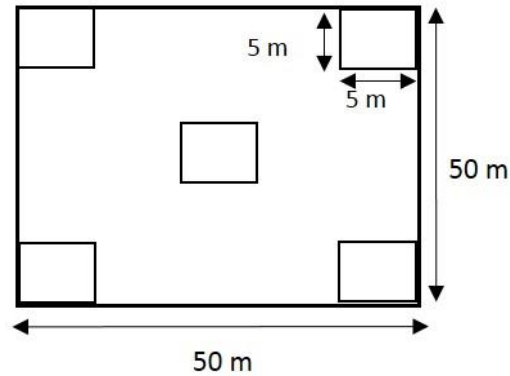


Figure 1. Dispositif pour inventorier la régénération dans la placette des ligneux

Des travaux récents en forêt dense semi-décidue ont montré que les quadrats rectangulaires de 72 m² (12 m x 6 m) étaient adéquats pour l'estimation de la densité globale des régénérations (Donou *et al.*, 2014) et que des quadrats de 100 m² rectangulaires (14 m x 7 m) et carrés (10 m x 10 m) sont optimaux pour l'analyse structurale (densité et structure en classe de diamètre) de la régénération des espèces d'arbres ayant respectivement une distribution spatiale agrégative et aléatoire (Gnonlonfoun *et al.*, 2015).

COLLECTE DES DONNÉES

Facteurs stationnels ou environnementaux majeurs

Avant la récolte proprement dite des données sur les individus d'espèces, il convient de noter toutes les informations stationnelles qui peuvent permettre de mieux expliquer les observations. Ainsi, les informations suivantes sont recommandées : le nom de la localité, la date, les coordonnées géographiques, le type de sol selon la classification de IUSS Working Group WRB (2006), la topographie, le type de formation végétale, le recouvrement global et par strate, les facteurs de perturbation du milieu (pression pastorale, feux de brousse, etc.). Le niveau de précision de ces informations environnementales peut être approfondi.

Paramètres dendrométriques

Tous les paramètres dendrométriques sont généralement consignés dans une fiche conçue à cet effet (Tableau 3). En plus du nom de l'essence, on recueille les données relatives au diamètre, à la hauteur, à l'état sanitaire, à la forme et à la phénologie. Il faut noter que les mesures des paramètres

peuvent varier en fonction du type de formation végétale en présence et du type biologique de certaines espèces.

Tableau 3. Fiche d'inventaire

	DHP (cm)	Hauteur (cm)	Eta sanitaire 1 : sain 2 : affecté 3 : mort	Forme 1 : dressé 2 : penché 3 : couché	Phénologie		
					Fe 1 : début 2 : optimum ; 3 : fin	Fl 1 : début 2 : optimum 3 : fin	Fr 1 : début 2 : optimum 3 : fin
Essence 1							
Essence 2							
Essence 3							
Essence 4							
.							
.							
Essence n							

Mesure du diamètre

Généralement les mesures dendrométriques prennent en compte le diamètre ou la circonférence de chaque individu adulte à 1,30 m du sol soit à hauteur de poitrine (DHP). Pour ce faire on utilise un compas forestier ou un ruban pi (Figure 2 & Figure 3). Les mesures se font généralement dans un sens prédéfini selon les points cardinaux (dans le sens de l'est, l'ouest, le nord ou le sud). Lors des mesures on peut être confronté à plusieurs situations.



Figure 2 : Mesure de circonférence dans le Parc Régional du W



Figure 3 : Mesure de diamètre dans le Parc Régional du W

Au cas où l'arbre à mesurer est fourchu, deux possibilités peuvent se présenter. Si la fourche est au-dessus de 1,30 m, cet individu est considéré comme un. Cependant, lorsque l'arbre est fourchu avant 1,3 m du sol, les

différentes fourches sont mesurées et on procède au calcul du diamètre quadratique (d) selon la formule suivante :

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^w ds_i^2} \quad ds_i = \text{diamètre de la fourche } i ;$$

Dans le cas des steppes et formations contrastées (brousses tigrés par exemple), la mesure du diamètre se fait à 20 cm au-dessus du sol en raison de la prédominance d'individus à petits diamètres. En tenant compte du type biologique, les mesures doivent être adaptées pour certaines espèces. On a par exemple les espèces du genre *Gardenia* pour lesquelles on recommande la mesure du diamètre au collet. Pour les arbustes de hauteur inférieure à 1,3 m (régénération) les mesures se font également au collet.

En fonction de la morphologie de l'arbre ou des conditions de terrain, on peut se référer aux conventions telles qu'arrêtées dans Rondeux (1999).

En général, pour chaque inventaire, un diamètre minimum d'intérêt est défini. Ainsi, il est généralement admis 10 cm pour la zone forestière, 5 cm pour la zone soudanienne sèche et le sahel. Pour certaines formations particulières comme les steppes et les brousses tigrées, il est de 4 cm, mais les mesures doivent se faire à 20 cm du sol.

Mesure de la hauteur

La mesure de la hauteur concerne aussi bien les individus adultes que jeunes. C'est un paramètre indispensable quand on veut estimer le volume de bois ou la productivité des peuplements. Il existe plusieurs types de hauteur mais celle qui nous concerne ici est la hauteur totale qui est la distance verticale séparant le niveau du sol du sommet de l'arbre c'est-à-dire le bourgeon terminal (Rondeux, 1999). Il existe de nombreux instruments de mesure mais les plus couramment utilisés sont la perche graduée et le clinomètre.

Appréciation de l'état sanitaire

L'appréciation de l'état sanitaire est très importante dans tout inventaire. En effet, il permet de connaître les proportions de l'état des différents individus (sain, malade ou mort) en vue d'une bonne gestion des stocks. Une codification est utilisée à cet effet comme suit : 1 : sain, 2 : affecté, 3 : mort.

Appréciation de la forme

La forme permet d'apprécier la conformation des individus de peuplements végétaux ainsi que d'espèces. Ainsi, dans le cadre de la gestion efficiente, ces informations sont capitales pour identifier les sujets à prélever et ceux à conserver pour assurer des peuplements meilleurs au plan architectural. Une codification à 3 échelles est utilisée comme suit: 1: droit, 2 : penché ou courbé, 3 : couché.

Évaluation de la phénologie

La cotation de la phénologie est faite selon l'échelle du Tableau 4. Dans l'appréciation d'un stade phénologique donné, il convient de considérer au moins 30 individus. Les principales phases phénologiques sont la feuillaison, la floraison et la fructification.

Tableau 4. Stades phénologiques

Phases	Stades		
	1	2	3
Feuillaison	Fe1	Fe2	Fe3
Floraison	Fl 1	Fl 2	Fl 3
Fructification	Fr 1	Fr2	Fr 3

1 : début ; 2 : pleine ; 3 : fin

Évaluation de la régénération

Les individus non mesurables c'est-à-dire ceux dont le DHP est inférieur au diamètre minimum sont considérés comme des individus juvéniles et pris en compte dans l'évaluation de la régénération. Il en est de même pour ceux dont la hauteur n'atteint pas 1,30 m. L'inventaire consiste à compter ces individus en classes de hauteur 0-0,5 m ; 0,5-1 m ; 1-1,5 m ; 1,5-2 m ; 2-2,5 m ; 2,5-3 m. La hauteur totale et le diamètre au collet peuvent être mesurés pour tous les individus considérés dans la placette de régénération.

- CALCUL DES PARAMETRES

Il est recommandé de disposer de connaissances en biométrie pour assurer un traitement optimum des données. On peut générer de multitudes de paramètres en fonction des objectifs qu'on s'est fixé au départ de l'étude. Ce sont ces paramètres qui rentrent en ligne de compte dans la gestion efficiente des ressources forestière surtout en matière de planification. Leur niveau de précision dépend naturellement de la qualité des données collectées sur le terrain.

Les paramètres dendrométriques peuvent être générés par placette ou par communauté végétale. Ils permettent généralement d'apprécier à travers des figures ou des tests statistiques, la dynamique spatio-temporelle des populations d'espèces et de dégager celles qui présentent des difficultés de conservation en vue d'actions appropriées. Ainsi, plusieurs travaux se sont intéressés à la dynamique de certaines espèces dans la sous-région (Rondeux, 1999 ; Ouédraogo et al. 2006b ; Mbayngone et al. 2008 ; Bonou *et al.*, 2009 ; Glélé & Sinsin, 2009 ; Samabré *et al.*, 2011 ; Gnoumou *et al.*, 2011 ; Nacoulma *et al.*, 2011 ; Traoré, 2013 ; Atakpama *et al.*, 2014 ; Bayen, *et al.*, 2015). En outre, certaines variables peuvent être générées pour la description de la composition des espèces dans les placettes :

$$\text{Densité des arbres (N)} = \frac{\text{Nombre total d'arbres de la placette}}{\text{Superficie de la placette (exprimée en hectare ha)}}$$

$$\text{Diamètre quadratique moyen (d)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^t ds_i^2}{t}}$$

où dsi représente les diamètres des différentes ramifications du tronc.

$$\text{Surface terrière d'un individu} = D^2_{1,30} \times \frac{\pi}{4}$$

$$\text{Contribution en surface terrière d'une espèce} = \frac{\text{Surface terrière des arbres d'une essence donnée}}{\text{Surface terrière de l'ensemble des arbres}} \times 100$$

$$\text{Surface terrière d'une espèce} = \text{des surfaces terrières de tous ses individus}$$

$$\text{Densité relative d'une espèce} = \frac{\text{Nombre d'individus de l'espèce}}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100$$

$$\text{Dominance relative d'une espèce} = \frac{\text{Surface terrière totale d'une espèce}}{\text{Surface terrière totale de toutes les espèces}} \times 100$$

$$\text{Fréquence} = \frac{\text{Nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente}}{\text{Nombre total de relevés}}$$

$$\text{Fréquence relative d'une espèce} = \frac{\text{Fréquence de l'espèce}}{\text{Somme de toutes les fréquences}} \times 100$$

$$\text{Diversité relative} = \frac{\text{Nombre d'espèces d'une famille}}{\text{Nombre total d'espèces}} \times 100$$

$$\text{Diversité relative d'une famille} = \frac{\text{Nombre d'espèces d'une famille}}{\text{Nombre total d'espèces}} \times 100$$

L'indice de valeur d'importance (IVI) = densité relative + dominance relative + fréquence relative

Valeur d'importance de la famille (FIV) = dominance relative + densité relative + diversité relative

Où $D_{1,30}$ est le diamètre du tronc à 1,30 m du sol. Théoriquement la dominance relative, la densité relative, la fréquence relative et la diversité relative varient de 0 à 100 % tandis que l'IVI des espèces varie de 0 à 300 %.

Les indices de diversité peuvent être calculés pour une meilleure compréhension de la structure et de la composition des communautés végétales. Ils fournissent plus d'informations sur la composition par rapport à la simple richesse spécifique. Ils prennent en compte les abondances relatives des différentes espèces. La richesse spécifique est souvent insuffisante pour comparer deux communautés parce qu'elle ne prend pas en compte la dominance relative de chaque espèce (Krebs, 1999). L'indice de diversité de Shannon (H), l'équitabilité de Pielou (E_H) et la réciproque de l'indice de Simpson (1/D) sont calculés selon les formules suivantes :

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \qquad E_H = H/\ln S \qquad 1/D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S p_i^2}$$

où S = nombre total des espèces dans une communauté (richesse) et p_i = est l'abondance relative de la $i^{\text{ème}}$ espèces dans une placette. Ces indices sont largement utilisés pour mesurer la diversité biologique (Magurran, 2004).

Pour évaluer la β -diversité (similarité entre deux communautés), l'indice de similarité de Sørensen peut être calculé. L'indice de similarité de Sørensen se

calcule sur la base de l'absence/présence des espèces selon l'équation suivante :

$$\text{Indice de Sørensen (Cs)} = \frac{2j}{2j + a + b}$$

où, j = nombre d'espèces communes, a = nombre d'espèces trouvées seulement dans le site A et b = le nombre d'espèces trouvées dans le site B. Ces indices varient potentiellement entre 0 et 1.

CONCLUSION

L'objectif que l'on se fixe avant d'entreprendre un inventaire forestier est d'une importance capitale. Il oriente dans le choix de la méthode d'inventaire et du dispositif approprié. Cependant, il est recommandé d'allier objectifs et résultats attendus afin de rentabiliser les moyens qui vont être engagés dans l'étude. La qualité des mesures des paramètres et les résultats qui en découleront sont intimement liés à la pertinence du choix du dispositif. L'existence d'un grand nombre de dispositifs pouvant être adoptés constitue sans doute un atout. Cependant cela présente aussi des désagréments en ce qui concerne la disparité des méthodes rendant difficile certaines comparaisons et agrégations. Il s'avère donc important que ces méthodes restent diverses mais qu'elles soient harmonisées pour la sous-région ouest africaine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARBONNIER M. 1990. Étude d'une savane graminéenne et forestière en vue de son aménagement, à partir du cas de Koumpentoum (Sénégal). Thèse de doctorat, Université de Nancy 1, France. 2 volumes, fascicule I, 105 p., fascicule II, 85 p.
- ASSOGBADJO A. E., GLÈLÈ KAKAÏ R., SINSIN B. & PELZ D. R. (2010). Structure of *Anogeissus leiocarpa* Guill. Perr. Natural stands in relation to anthropogenic pressure within Wari-Marô Forest Reserve in Benin. *African Journal of Ecology*, 48(3): 644–653.
- ATAKPAMA W., DOURMA M., WALA K., PÉRÉKI H., BATAWILA K. & AKPAGANA K. 2014. Structure and natural regeneration of *Sterculia setigera* Del. plants communities in Sudanian zone of Togo (West Africa). *International Journal of Plant & Soil Science* 3(4): 330-346.
- BAYEN P., LYKKE A.M., OUEDRAOGO A. & THIOMBIANO A. 2015. Population structure in natural stands, seed germination and seedling growth of *Sterculia setigera* under nursery conditions in Burkina Faso (West Africa). *International Journal of Plant & Soil Science* 7(4): 202-210.
- BERGERET A & COUTERON P. 1995. Quel avenir pour un territoire pastoral au Nord-Yatenga? Burkina Faso. Modalités de régulation possibles des systèmes soudano-sahéliens perturbés. Programme Environnement du CNRS, 175p.
- BOGNOUNOU F., THIOMBIANO A., SAVADOGO P., BOUSSIM J. I., ODEN P. C. & GUINKO S. 2009. Woody vegetation structure and composition at four sites along latitudinal gradient in Western Burkina Faso. *Bois et Forêt des Tropiques* 300(2): 29-44.

- BONOU W., GLELE KAKAÏ R., ASSOGBADJO A. E., FONTON H.N. & SINSIN B. 2009. Characterisation of *Azelia africana* Sm. habitat in the Lama Forest reserve of Benin. *Forest Ecology and Management* 258(7):1084-1092.
- COUTERON P. & SERPANTIE G. 1995. Cartographie d'un couvert végétal soudano-sahélien à partir d'images SPOT XS exemple du Nord-Yatenga (Burkina Faso). Photo interprétation, 33 (1) : 42-43.
- DESSARD H. & BAR-HEN A. 2004. Experimental design for spatial sampling applied to the study of tropical forest regeneration. *Forest Research* 99: 1-13.
- DONOU HOUNSODE M.T., GLÈLÈ KAKAÏ R., AZIHOU A.F. & OUÉDRAOGO A. 2014. Efficiency of inventory plot patterns for the estimation of woody vegetation recruit density in a tropical dense forest in Benin. *African Journal of Ecology*. doi: 10.1111/aje.12194.
- FONWEBAN J.K. & HOUILLIER F. 1997. *Eucalyptus sativa*: Tarifs de peuplement et modèles de production. Bois et Forêts des Tropiques, 253(3) : 21-36.
- GNONLONFOUN I., GLÈLÈ KAKAÏ R., SALAKO V. K., ASSOGBADJO A. E. & OUÉDRAOGO A. 2015. Structural analysis of regeneration in tropical dense forest: combined effect of plot and spatial distribution patterns. *Acta Botanica Gallica* 162(1): 79-87.
- GLÈLÈ KAKAÏ R., SINSIN B. 2009. Structural description of two *Isobertia* dominated vegetation types in the Wari-Marô forest reserve (Benin). *South African Journal of Botany* 75(1): 43-51
- GNUOMOU A., BOGNOUNOU F., HAHN K. & THIOMBIANO A. 2011. A comparison of *Guibourtia copallifera* Benn. stands in South West Burkina Faso: community structure and regeneration. *Journal of Forestry Research*. doi 10.1007/s11676-011-0198-0.
- HAHN-HADJALI K., 1998. Les groupements végétaux des savanes du sud-est du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *Etudes Flor. Vég.* Burkina Faso. 3 : 3-79
- HOUETO G., GLELE KAKAÏ R., SALAKO K. V., ASSOGBADJO A., FANDOHAN B., SINSIN B. & PALM R. 2013. Effect of inventory plot patterns in the floristic analysis of tropical woodland and dense forest. *African Journal of Ecology* 52(3): 257-264.
- IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resource Report 103 FAO-ISRIC-IUSS, Rome.
- JAYARAMAN K. 1999. Manuel de statistique pour la recherche forestière. FORSPA-FAO, 242 p.
- JYRKI J., VANHA I. & TINA T. 1998. Optimal sample and plot size for inventory of field and ground layer vegetation in a mature Myrtillus-type boreal spruce forest. *Annales Botanici Fennici* 35: 191-196.
- KABORE C. 2004. Test d'applicabilité de l'échantillonnage horizontal par ligne au Burkina Faso. 10 p.
- KANGAS A. & MALTAMO M. 2007. Forest inventory: methodology and applications, Springer, Dordrecht. 362 p.
- KENKEL N. C. & PODANI J. 1991. Plot size and estimation efficiency in plant community studies. *Journal of Vegetation Science* 2(4): 539-544.
- KÖHL M., MAGNUSSEN S., MARCHETTI M. 2006. Sampling methods, remote sensing and GIS multi resource forest inventory. Springer, Berlin, 144 p.
- KREBS C. 1999. *Ecological methodology*. Benjamin/Cummings, Addison-Wesley Longman Educational Publishers, New York, NY.
- LECOMTE H. & RONDEUX J. 2002. Les inventaires forestiers nationaux en Europe : tentative de synthèse. *Les Cahiers Forestiers de Gembloux* 5: 3-24.
- MAGURRAN A. E. 2004. *Measuring Biological diversity*. Blackwell Publishing, Malden, Oxford and Victoria, 256 p.

- MAHAMANE A. 2005. Etudes floristique, phytosociologie et phytogéographique de la végétation du Parc Régional du W du Niger. Thèse d'Etat, Univ. Libre de Bruxelles, 497 p.
- MBAYNGONE E., THIOMBIANO A., HAHN-HADJALI K. & GUINKO S. 2008. Structure des ligneux des formations végétales de la réserve de Pama (Sud-Est du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest). *Flora Veg. Sudano-Sambesica*, 11: 25-34.
- NACOUлма B.M.I., TRAORE S., HAHN K. & THIOMBIANO A. 2011. Impact of land use types on population structure and extent of bark and foliage harvest of *Azelia Africana* and *Pterocarpus erinaceus* in Eastern Burkina Faso. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 3(3):62-72.
- OUÉDRAOGO A. 2006. Diversité et dynamique de la végétation ligneuse de la partie orientale du Burkina Faso. Thèse de Doctorat unique, Université de Ouagadougou, 195 p.
- OUÉDRAOGO A., THIOMBIANO A., HAHN-HADJALI K. & GUINKO S. 2006b. Diagnostic de l'état de dégradation des peuplements de quatre espèces ligneuses en zone soudanienne du Burkina Faso. *Sécheresse*, 17(4): 485-491.
- OUÉDRAOGO A., THIOMBIANO A. 2012. Regeneration pattern of four threatened tree species in Sudanian savannas of Burkina Faso. *Agroforest Systems*. DOI 10.1007/s10457-012-9505-9.
- OUÉDRAOGO A., THIOMBIANO A., HAHN-HADJALI K. & GUINKO S. 2006a. Structure du peuplement juvénile et potentialités de régénération des ligneux dans l'Est du Burkina Faso. Etude sur la flore et la végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants, 10: 17-24.
- PAUWELS D., THIBAUT A., LEJEUNE P. & RONDEUX J. 1999. Elaboration de courbes de croissance en hauteur dominante pour les mélèzes (*Larix decidua* Mill. Et *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) en Belgique meridionale1). *Annals of Forest Science*, 56 (1): 27-34.
- PICARD J.F., MAGNUSSEN S., BANAK N.L., NAMKOSSERENA S. & YALIBANDA Y. 2010. Permanent sample plots for natural tropical forests: A rationale with special emphasis on Central Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 164(1):279-295
- PICARD N. 2006. Méthode d'inventaire forestier. CIRAD UPR Dynamique forestière, 43 p.
- PICARD N. 2006. Méthode d'inventaire forestier. Projet de développement rural participatif dans le moyen Atlas central (projet Khénifra). 43 p. <cirad-00147247>.
- POSO S., WAITE M. L. & KOIVUNIEMI J. 1995. Assessment of non-timber functions: remote sensing technologies. The Monte Verita Conference on Forest Survey designs "Simplicity versus efficiency" and assessment of non-timber ressources. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, 239-245.
- PROJET BOIS DE FEU-PHASE II 2009. Exécution d'un Inventaire Forestier National : méthodologie et résultats d'inventaire au niveau national ; système de suivi et évaluation. Bénin, DGFRN, 62 p.
- PROJET SUN-UE. 2008. Actes de l'atelier de Niamey portant sur l'harmonisation des méthodes d'étude et d'analyse de la flore et de la végétation tropicale. Niamey, du 4-9 août 2008. 67 p.
- RONDEUX J. 1999. La mesure des peuplements forestiers. Presses agronomiques de Gembloux. 522 p.
- SALAKO V.K., GLÈLÈ KAKAÏ R., ASSOGBADJO A.E., FANDOHAN B., HOUINATO M. & PALM R. 2013. Efficiency of inventory plots patterns in the quantitative analysis of vegetation: case study of tropical woodland and dense forest in Benin. *Southern forests* 75 (3): 137-143
- SAMBARÉ O., BOGNOUNOU F., WITTIG R. & THIOMBIANO A. 2011. Woody species composition, diversity and structure of riparian forest of four watercourses types in Burkina Faso. *Journal of Forestry Research*, 22(2): 145-158.

- SAMBOU B. 2004. Évaluation de l'état, de la dynamique et des tendances évolutives de la flore et de la végétation ligneuse dans les domaines soudanien et sub-guinéen au Sénégal. Thèse de Doctorat d'État. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal. 210p.
- SCHREUDER H. T., GREGOIRE T. G. & WOOD G. B. 1993. Sampling methods for multiresource forest inventory. Wiley & Sons, New York, 446 p.
- SHIVER B. D. & BORDERS B.E. 1996. Sampling techniques for forest resource inventory. Wiley & Sons, New York, 332 p.
- SINSIN B. 1993. Phytosociologie, écologie, valeur pastorale, produit et capacité de charge des pâturages naturels du périmètre Nikki-Kalale au nord du Bénin. Thèse des sciences agronomiques, Université libre de Bruxelles, 389p.
- SOP T. K., OLDELAND J., SCHMIEDEL U., OUÉDRAOGO I. & THIOMBIANO A. 2010. Population structure of three woody species in four ethnic domains of the sub-sahel of Burkina Faso. *Land Degradation and Development*, DOI 10.1002/ldr. 1026.
- THIOMBIANO A. 2005. Les Combretaceae du Burkina Faso : Taxonomie, écologie, dynamique et régénération des espèces. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Ouagadougou, p. 290.
- TRAORE L. 2013. Influence du climat et de la protection sur la végétation ligneuse de la partie occidentale du Burkina Faso. Thèse de Doctorat unique, Université de Ouagadougou, 158 p + annexes.
- VAN LAAR A. & AKÇA A. 2007. Forest mensuration. Springer, Dordrecht. 383 p.
- WALA K. 2004. La végétation de la chaîne de l'Atakora au Bénin : Diversité floristique, phytosociologie et impact humain. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Lomé, 140 p.