

Effets de lisière sur la productivité du teck (*Tectona grandis* L.f.) : étude de cas des teckeraies privées du Sud-Bénin

M.S. Toyi^{1*}, J.-F. Bastin^{2,3}, M. André³, C. De Cannière², B. Sinsin¹ & J. Bogaert³

Mots clés : Effet de lisière- *Tectona grandis* L.f.- Plantation- Sud-Bénin

Keywords : Edge effect- *Tectona grandis* L.f.- Plantation- Southern Benin

Résumé

La présente étude vise à améliorer la production du bois de teck (*Tectona grandis* L.f.) à l'échelle des plantations privées du Sud-Bénin à travers l'application d'un concept central de l'écologie du paysage: l'effet de lisière. Le teck étant une espèce héliophile, l'hypothèse d'une plus forte production de bois en lisière a été testée. Ainsi, 62 teckeraies privées ont été parcourues et 10667 arbres ont été mesurés. L'échantillonnage stratifié en trois zones distinctes pour chaque plantation: le centre, la lisière et les sommets (coins des plantations), a permis de mettre en évidence l'effet de lisière sur la production de bois. Dans chaque zone, une placette a été installée et le diamètre à 130 cm du sol (dbh) a été mesuré pour tous les arbres. La différence de surface foliaire par individu entre la lisière et le centre des plantations a également été mesurée. Enfin, l'influence de la configuration spatiale des plantations et de l'orientation de chaque côté des plantations sur la production de bois a été testée. Les résultats montrent que l'effet de lisière sur la production du bois de teck touche quatre lignes de plantations, la première présentant une production de l'ordre de 150% par rapport au centre. On note également une influence significative de la lisière sur la surface foliaire, (production de l'ordre de 218% en lisière par rapport au centre). Aucune influence de l'orientation des côtés de la plantation n'a été observée. La forme des plantations présente une influence significative sur la production de bois. Ainsi, les plantations ayant une forme maximisant leur périmètre par rapport à leur surface, présentent une production de bois plus importante. Ces résultats ont permis de proposer un modèle de plantation inclus dans un système agroforestier qui optimise la production de bois par unité de surface et présentant une succession de deux lignes de plantation entrecoupées de champs.

Summary

Edge Effects on the Productivity of Teak (*Tectona grandis* L.f.): a Case Study on Private Teak Plantations in Southern Benin

The present study aims to improve the production of teak wood (*Tectona grandis* L.f.) in private plantations in southern Benin through the application of a central concept in landscape ecology: the edge effect. As teak is an heliophilous species, the hypothesis of a higher wood production in edges was tested on the basis of the basal area. Sixty-two private teak plantations were investigated and 10,667 trees were measured. The stratified sampling scheme in three distinct parts for each plantation (the centre, the edge and the summits) permitted to highlight the edge effect on wood production. For each part, a plot was installed and the diameter at breast height (dbh) was measured for all trees. The leaf area between the edge and the centre of plantations was measured. Finally, the influence of the spatial configuration of plantations and the direction of each side of these plantations on the production of wood was tested. Results show that the edge effect on the production of teak wood affects four planting lines, the first presenting a production of 150% relative to the centre. We noticed a significant influence of the edge on the leaf area of about 218% relative to the centre. No influence of the direction of the sides of the plantation was observed. The shape of the plantations presents a significant influence on the wood production. These results permitted to propose a planting model included in an agroforestry system that optimizes the production of wood per area and having a succession of two planting lines interrupted by fields.

1 Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Cotonou, Bénin.

2 Université Libre de Bruxelles, Ecole Interfacultaire de Bioingénieurs, Service d'Ecologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale, Bruxelles, Belgique.

3 Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique.

* Auteur correspondant : E-mail: mireille.toyi@gmail.com

Introduction

La lisière marque la limite entre des habitats distincts dont elle diffère elle-même par son équilibre et sa dynamique (6, 13). Première concernée par les changements d'occupation du sol, elle constitue un enjeu pour la gestion, la productivité et la conservation de la biodiversité (19, 31). La lumière, le vent, la température et l'humidité relative influencent la végétation de lisière, ce qui crée un microclimat pouvant s'étendre de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres dans la forêt (9, 16, 24). En lisière, la faible compétition intraspécifique favorise une augmentation du rayonnement solaire intercepté par la couronne de l'arbre. L'effet de lisière est donc la résultante de ces processus qui s'opèrent au niveau de la lisière. Il se traduit par un gradient continu de la limite forêt-savane vers l'habitat interne (ou cœur) de la forêt (3, 20).

La politique de reboisement menée par l'Etat béninois a encouragé les collectivités locales à investir dans les plantations de teck (*Tectona grandis* L.f.), une espèce strictement héliophile. En sylviculture classique (exploitation industrielle du bois), les arbres de lisière présentant des nœuds sont systématiquement déclassés (21). Toutefois, les concepts de sylviculture classique ne sont pas transposables aux plantations privées du Sud-Bénin dont la majorité des propriétaires visent une rotation à court terme (3-5 ans), et dont l'objectif de production est le bois de deuxième qualité (bois de service et bois de chauffage) (4, 30). Les nœuds n'étant pas un problème pour ce type de production, une valorisation de l'effet de lisière pour l'augmentation de la production de bois de deuxième qualité peut alors être envisagée.

Tout au long de la présente étude, le terme de lisière est utilisé pour désigner la zone à l'interface entre les teckeraies (plantations forestières) et les milieux agricoles. Il s'agit donc de vérifier les hypothèses selon lesquelles (i) les arbres de lisières présentent une surface terrière plus importante que les arbres du centre, (ii) un gradient de production peut être identifié à travers les différentes lignes de plantation, (iii) l'orientation des côtés des plantations influence la production de bois; (iv) la forme d'une plantation influence le ratio lisière-intérieur, et joue donc sur la proportion d'arbres se retrouvant en situation de lisière.

Matériel et méthode

La zone d'étude se situe au nord-est du Département de l'Atlantique au Bénin (Commune de Zè), entre les parallèles 6°32'-6°87'N et les

méridiens 2°13'-2°26'E. Les formations géologiques sont constituées essentiellement de dépôts sablo-argileux altérés en faciès de sols ferrallitiques (1, 32). L'occupation du sol y est caractérisée par une mosaïque de forêts, de savanes, de plantations et de champs typique des milieux dégradés (2). Dans la région, le teck constitue l'espèce principale de production ligneuse, vu sa bonne vitesse de croissance, les multiples qualités et usages de son bois, sa contribution à la restauration de la fertilité des sols (4).

Pour la cohérence des analyses et des résultats, des critères d'éligibilité ont été établis sur la base d'une étude préliminaire de terrain. Ce qui permet d'éliminer les teckeraies sujettes aux coupes anarchiques de bois et dont l'effet de lisière est dans ce cas impossible à mesurer, ou les rares teckeraies conduites en régime de futaie pour l'exploitation du bois d'œuvre. Ainsi, une teckeraie recevable pour cette étude présente des individus de diamètre à 130 cm du sol compris entre 5 et 10 cm, d'une hauteur entre 6 et 12 m et une surface de plantation de 0,2 à 2 hectares. L'écartement entre les arbres est très irrégulier et varie de 1 m x 1 m ou 1,5 m x 1,5 m à 2 m x 1 m en général. D'autres facteurs non quantitatifs tels que l'uniformité à l'intérieur des plantations et leur entretien ont également été pris en compte.

La corrélation entre la production de bois et la forme de la plantation a été étudiée sur la base de la surface terrière G au moyen du diamètre (dbh) (14, 28). Le dbh a été mesuré pour chaque plantation dans trois zones différentes: le centre, la lisière (les cinq premières lignes) et le sommet (Figure 1). En lisière, pour chaque côté de la plantation, au moins une placette de 100 m² a été échantillonnée. Des placettes de 100 m² ont également été installées au centre de la plantation. Le sommet des plantations a été considéré comme une zone distincte de mesure car il est deux fois exposé à la lumière que la lisière.

Seules les placettes de 10 m² ont été installées aux sommets des plantations car au-delà de cette superficie, les arbres à mesurer se trouveraient en situation typique de lisière.

La distribution des dbh ne suivant pas une distribution normale, des tests de comparaison non-paramétrique ont été réalisés pour tester l'hypothèse de l'effet de lisière sur la production de bois: tests de Mann-Whitney et de Kruskal-Wallis (17, 23, 33) basés sur des échantillons aléatoires et appliqués sur les médianes des diamètres. Par ailleurs, le gradient de production au sein de la

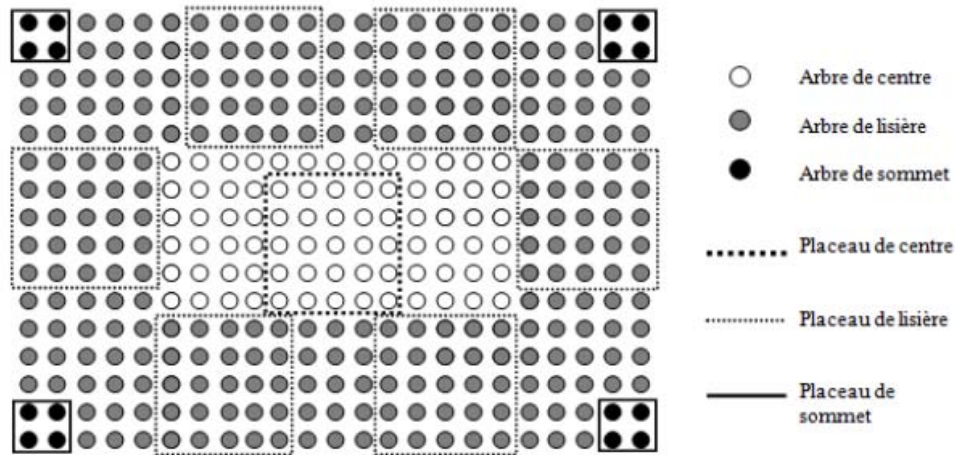


Figure 1: Echantillonnage pour les plantations privées de teck dans la commune de Zè au Sud-Bénin. Afin de mettre en évidence l'effet de lisière sur le *dbh*, la surface terrière et donc la production de bois, chaque plantation est divisée en trois zones distinctes : les sommets (noir), la lisière (gris) et l'intérieur (blanc). Les placettes d'échantillonnage sont représentées sous forme de carrés en pointillés. Les placettes installées de chaque côté de la plantation permettent de tester l'impact de l'orientation de la lisière sur la production de bois.

zone de lisière a été évalué par le test non-paramétrique de Friedman de k échantillons appariés (17, 18).

L'exploitation des feuilles de teck pour les besoins alimentaires étant une activité non négligeable liée à la productivité des teckeraies dans la zone d'étude, une analyse synoptique de la surface foliaire a été effectuée. Deux paires de feuilles (une en lisière et une au centre de chaque plantation) ont été récoltées pour deux arbres par plantation. Chaque paire est constituée de la première et de la troisième feuille de la première branche de chaque arbre présentant un *dbh* de 5 cm. La surface foliaire a été mesurée à l'aide du LI-3000A Portable Area Meter qui est un scanner permettant de mesurer au centième de cm^2 près, la superficie de toute surface plane, dans les limites des dimensions de l'appareil. Le test de Wilcoxon (17) de deux échantillons appariés a été utilisé pour comparer les feuilles de lisière et de l'intérieur.

L'étude de la corrélation entre l'orientation (donnée circulaire) et le *dbh* (donnée linéaire) a été réalisée sur la base d'un test de corrélation linéaire-circulaire (Equation I) inspirée par le coefficient de corrélation de Pearson décrite par Mardia (25) :

$$r^2 = \frac{r_{xc}^2 + r_{xs}^2 - 2r_{xc}r_{xs}r_{cs}}{1 - r_{cs}^2} \quad (I)$$

avec r , le coefficient de corrélation de Pearson, x le *dbh*, c le cosinus et s le sinus de l'angle

d'orientation de chaque côté des plantations. Il est à noter que cet angle a été divisé sur le terrain en 16 orientations distinctes. En effet, l'orientation d'un côté n'étant pas parfaitement linéaire, prendre une orientation au degré près n'est pas considéré pertinent dans le cadre de cette étude.

La forme des plantations a été étudiée afin de mettre en évidence l'impact du ratio lisière-intérieur sur la production globale de bois. Ainsi, pour chaque plantation, un indice de forme I_f représentant le rapport entre le carré de son périmètre et sa superficie totale a été calculé :

$$I_f = \frac{P_i^2}{A_i} \quad (II)$$

avec A_i l'aire de la plantation i et P_i son périmètre. Plus la plantation présente une forme allongée ou irrégulière, plus la valeur de I_f est élevée; cette valeur décroît à mesure que les formes deviennent isodiamétriques ou compactes (5). La relation entre la forme des plantations et la surface terrière a été obtenue sur la base d'une régression linéaire entre le logarithme de la surface terrière et l'indice de forme. La superficie et le périmètre sont obtenus sur la base des coordonnées géographiques des sommets de chaque plantation intégrées dans le logiciel Arcview 3.2 (www.esri.com).

Tableau 1
Statistiques de Friedman issues de la comparaison des diamètres moyens des cinq premières lignes de plantation, mesurés en lisière des parcelles privées de *Tectona grandis* de la commune de Zè, Bénin.

	ligne 1	ligne 2	ligne 3	ligne 4	ligne 5
ligne 1	-	-	-	-	-
ligne 2	1966,5	-	-	-	-
ligne 3	2218,5	252	-	-	-
ligne 4	2405,5	439	187	-	-
ligne 5	2544,5	578	326	189	-

Résultats

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence une différence significative du diamètre moyen arithmétique entre la zone de lisière et l'intérieur d'une plantation ($H=94,22$; $p<0,001$). Le test de Friedman ($Q=1089,3$; $p<0,001$) montre une différence significative du diamètre moyen entre chacune des quatre premières lignes de plantation, la ligne cinq présente une différence non-significative avec le centre (Tableau 1).

L'analyse a été réalisée pour 62 plantations privées de teck étudiées dans la Commune de Zè au Sud-Bénin. Les chiffres présentés reprennent le résultat du test non-paramétrique de Friedman. La valeur critique de référence est de 176,6. Toute valeur inférieure démontre une différence non-significative. Les 4 premières lignes sont significativement différentes les unes des autres.

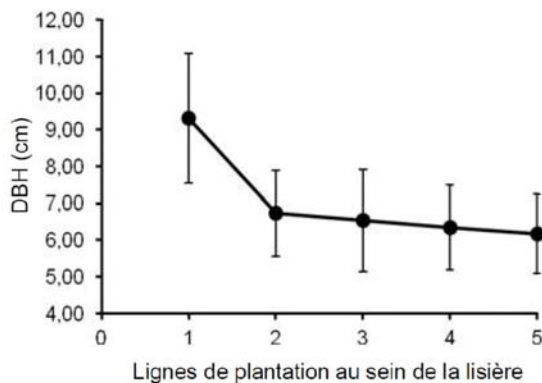


Figure 2: Evolution du *dbh* (diamètre à 130 cm du sol) en fonction de la ligne d'arbres considérée au sein de la plantation. Les barres verticales représentent l'écart-type. La ligne 1 représente la première ligne de plantation à la limite entre plantation et zone agricole. La 5^{ème} ligne de plantation est la plus proche de l'intérieur. Le *dbh* le plus important se retrouve en première ligne et sa valeur moyenne décroît fortement dès la 2^{ème} ligne de plantation pour atteindre sa valeur minimale au niveau de la 5^{ème} ligne (plantations privées de teck, commune de Zè, Sud-Bénin).

Une différence très importante est notée entre la ligne 1 (9,3 cm) et la ligne de 2 (6,3 cm) (Figure 2). Le diamètre moyen de la 5^{ème} ligne n'étant pas significativement différent de celui de la zone du centre, l'effet de lisière touche donc 4 lignes de plantation.

Le test de Wilcoxon montre un diamètre plus important pour les sommets de plantations (9,7 cm) que pour la ligne 1 ($T=0$; $p<0,01$). Pour la comparaison de la surface foliaire, le test de Wilcoxon montre que les feuilles de lisière présentent une surface foliaire significativement plus grande (805 cm²) que celles de l'intérieur (369 cm²) des plantations ($T=0$; $p<0,001$).

La corrélation linéaire-circulaire de Mardia entre la surface terrière et l'orientation de la placette de lisière n'est pas significative ($R^2=0,11$; $p>0,05$). La régression linéaire entre la surface terrière et l'indice de forme montre une corrélation positive significative ($R=0,59$; $p<0,001$), (Figure 3).

Plus le périmètre d'une plantation est important par rapport à sa surface, plus celle-ci présente une surface terrière relativement élevée, donc une production de bois plus importante.

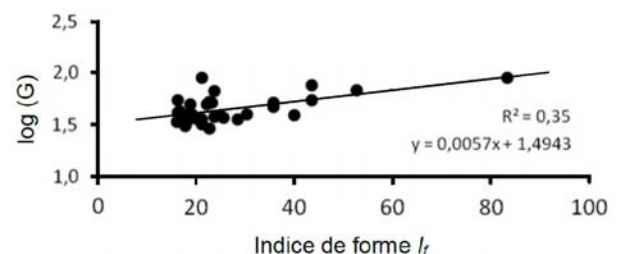


Figure 3: Régression linéaire ($p<0,05$) de la surface terrière G (m²/ha) des 62 plantations privées de teck étudiées dans la Commune de Zè au Sud-Bénin en fonction de sa configuration spatiale exprimée par l'indice de forme I_f (périmètre²/aire).

Discussion

Les résultats des différents tests de comparaison réalisés dans cette étude nous permettent de confirmer que les arbres de lisière présentent un diamètre supérieur aux arbres de l'intérieur des plantations, de confirmer un gradient de production de bois de teck sur les quatre premières lignes de plantation et enfin, de montrer que la proportion de lisière de ces plantations influence de manière significative la production de bois. L'hypothèse de l'influence de l'effet de lisière sur la production de bois est donc confirmée. Sur base de la densité de la plantation, la largeur de ce gradient est estimée entre 4 m et 7 m. Cette largeur, ou DEI (« Distance of Edge Influence »), est définie comme étant la distance d'influence de la lisière pour le diamètre des arbres (7, 8, 12). La cohérence de ce résultat est confirmée par celui de Delgado (10) qui a obtenu une DEI de 6 m pour l'influence de la lumière en lisière sur deux espèces ligneuses. Cependant, la différence entre la ligne 1 et la ligne 2 est beaucoup plus importante que pour les lignes suivantes.

Un modèle de plantation qui maximise la production de bois se ferait alors préférentiellement dans un système agroforestier présentant 2 lignes de plantation entrecoupées de champs. Afin d'illustrer ce résultat, trois propositions de design de

plantation, présentant toutes une superficie totale (champs + teck) de 1 ha sont présentées en figure 4. On y retrouve (a) un « Design 1+1 » maximisant la production liée à la première ligne de plantation en réalisant des bandes de 2 lignes d'arbres sur 2 m de large entrecoupées les unes des autres de bandes de 4 m de culture, (b) un « Design 4+4 » utilisant l'ensemble du gradient de lisière sur des bandes de 8 lignes d'arbres entrecoupées par des bandes de cultures de 4 m de large et enfin un design comportant une plantation totalement recouverte par le teck.

Les données utilisées pour le calcul de la surface terrière du teck sont celles réellement obtenues dans le cadre de cette étude. Pour chacun de ces designs, les résultats obtenus sur base des données collectées toutes densités confondues, sont les suivants: (a) 12,23 m²/ha de teck et 0,64 ha de cultures, (b) 8,22 m²/ha de teck et 0,20 ha de cultures et (c) 6,8 m²/ha de teck et pas d'espace exclusivement alloué à l'agriculture. Soulignons que dans le cas (c), il est possible d'installer quelques cultures annuelles (le maïs notamment) uniquement pendant la première année d'installation de la teckeraie ou après une coupe rase. Nous pouvons en conclure que le premier design théorique est conseillé dans le cadre de cette étude car c'est le modèle de plantation qui maximise la production de bois et assure à la fois la

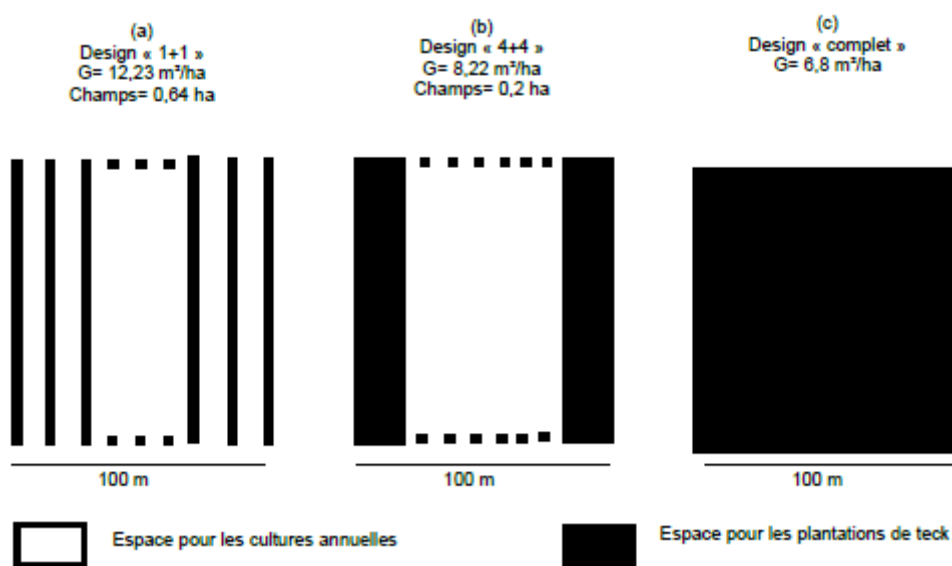


Figure 4: Proposition schématique de plans de systèmes agroforestiers appliqués aux plantations privées de teck du Bénin. Les différents modèles ont été développés sur la base des résultats obtenus dans cette étude et visent à mettre en évidence l'intérêt de la maximisation de la lisière pour la production de bois. On retrouve en (a) un système de succession de 2 lignes d'arbres et 4 m de champs, en (b) de 8 lignes d'arbres et 4 m de champs et en (c) une plantation entièrement recouverte par le teck. La surface terrière (G) et la surface allouée à l'agriculture sont les plus importantes pour le design (a). Les valeurs de G représentent celles qui pourraient être atteintes suite à la mise en place de ces modèles proposés.

production vivrière. Cependant, il est à souligner qu'une perte d'habitat interne induite par la mise en place de ces modèles peut avoir de graves conséquences pour les espèces végétales et animales typiques des centres des plantations (9, 26, 27).

Les résultats obtenus pour la surface foliaire nous permettent de confirmer qu'il existe une différence morphologique entre les arbres de lisière et ceux du centre des plantations (15). L'exploitation des feuilles de teck dans la commercialisation des aliments étant une pratique très courante dans la zone d'étude, les résultats obtenus montrent un autre avantage de l'effet de lisière.

Enfin, aucun résultat significatif n'ayant été obtenu pour l'orientation des côtés des plantations, celle-ci ne devrait pas être retenue dans l'élaboration de nouveaux plans de gestion de teckeraies privées. Ce résultat, contraire à de nombreuses études similaires, pourrait être mis sur le compte de la proximité de la zone d'étude avec l'équateur, où l'orientation importe moins que dans les régions tempérées (3, 11, 22, 29).

Conclusion

Les résultats obtenus permettent de proposer un modèle de plantation constitué de successions de deux lignes d'arbres entrecoupées par des bandes de culture. Ce design est précis et simple à mettre en place par les populations locales dans un système agroforestier. L'expérimentation de ce modèle et la quantification des impacts sur l'amélioration de la production feront l'objet d'investigations futures. Cette étude a donc permis de démontrer le potentiel d'utilisation et d'application de l'analyse spatiale aux recherches appliquées en écologie du paysage.

Remerciements

Les auteurs remercient le Professeur R. Ceulemans du Département de Biologie de l'Université d'Anvers. M. Toyi a été financée par la CUD-PIC "Contribution au développement d'une filière du teck au départ des forêts privées du Sud Bénin (Département de l'Atlantique)". J.-F. Bastin est financé par le FRIA/FNRS et l'Ecole Régionale post-universitaire d'Aménagement et de gestion Intégrée des Forêts et Territoires tropicaux (ERAIFT, UNESCO, Kinshasa, R.D. Congo).

Références bibliographiques

1. Adjanooun E.J., Adjakidjè V., Ahyi M.R.A., Ake Assi L., Akoègninou A., d'Almeida J., Apovo F., Boukef K., Chadare M., Cusset G., Dramane K., Eyme J., Gassita J.-N., Gbaguidi N., Goudote E., Guinko S., Houngnon P., Issa L.O., Keita A., Kiniffo H.V., Kone-Bamba D., Musampa Nseyya A., Saadou M., Sogodangji Th., de Souza S., Tchabi A., Zinsou Dossa C. & Zohoun Th., 1989, Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République Populaire du Bénin. Agence de Coopération Culturelle et techniques, Paris, 895 p.
2. Adomou A.C., 2005, Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: implications for biogeography and conservation. A Ph.D dissertation presented to the Department of Plant Sciences Wageningen University, the Netherlands. 150 p.
3. Alignier A., 2010, Distribution des communautés végétales sous l'influence des lisières forestières dans des bois fragmentés. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse, Université de Toulouse. 239 p.
4. Aoudji A.K., 2009, Evaluation du coût de revient des perches dans les plantations privées de teck (*Tectona grandis* L.f.) du Sud-Bénin. Mémoire de DEA. FSA/UAC- Bénin. 60 p.
5. Bogaert J., Van Hecke P., Salvador-Van Eysenrode D. & Impens I., 2000, Landscape fragmentation assessment using a single measure. Wildlife Society Bulletin, **28**, 875-881.
6. Cadenasso M.L., Pickett S.T.A., Weathers K.C. & Jones C.G., 2003, A framework for a theory of ecological boundaries. Bioscience, **53**, 750-758.
7. Cancino J., 2005, Modelling the edge effect in even-aged Monterey pine (*Pinus radiata* D. Don) stands. Forest Ecology and Management, **210**, 159-172.
8. Chen J., Franklin J.F. & Spies T.A., 1992, Vegetation responses to edge environments in old growth Douglas-fir forests. Ecological Applications, **2**, 4, 387-396.
9. Davies-Colley R.J., Payne G.W. & Van Elswijk M., 2000, Microclimate gradients across a forest edge. New Zealand Journal of Ecology, **24**, 111-121.
10. Delgado J.D., Arroyo N.L., Arevalo J.R. & Fernandez-Palacios J.M., 2007, Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). Landscape and Urban planning, **81**, 328-340.
11. Esseen P.A., Jansson K.U. & Nilsson M., 2006, Forest edge quantification by line intersects sampling in aerial photographs. Forest Ecology and Management, **230**, 32-42.
12. Euskirchen E.S., Chen J. & Bi R., 2001, Effects of edges on plant communities in a managed landscape in northern Wisconsin. Forest Ecology and Management, **148**, 1-3, 93-108.
13. Farina A., 1998, Principles and methods in landscape ecology: towards a science of landscape. London, Springer, 235 p.
14. Fonton N.H., Palm R., Akossou A.Y.J. & Houaye P., 2001, Modèle de productivité et tarif de cubage des peuplements de Teck (*Tectona grandis* L.f.) au Sud-Bénin. Annales des Sciences Agronomiques du Bénin, **2**, 2, 209-224.
15. Fraver S., 1994, Vegetation responses along edge-to-interior gradients in the mixed hardwood forests of the Roanoke River basin, North Carolina. Conservation Biology, **8**, 3, 822-832.
16. Gehlhausen S.M., Schwartz M.W. & Augspurger C.K., 2000,

- Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic forest fragments. *Plant Ecology*, **147**, 21-35.
17. Gibbons J.D. & Chakraborti S., 2003, Nonparametric statistical inference, 4th ed. CRC.
 18. Glèlè Kakaï R., Sodjinou E. & Fonton H.N., 2006, Conditions d'application des méthodes statistiques paramétriques: applications sur ordinateur. Bibliothèque Nationale, Bénin, 94 p.
 19. Gosselin M., 2008, Biodiversité et gestion forestière: la gestion des lisières. *Forêt-entreprise*, **183**, 58-62.
 20. Harper K.A., Macdonald E., Burton P.J., Chen J., Brosofske K.D., Saunders S.C., Euskirchen E.S., Roberts D., Jaiteh M.S. & Esseen P-A., 2005, Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*, **19**, 3, 768-782.
 21. Herbert J., Herman M. & Jourez B., 2003, Sylviculture et qualité du bois de l'épicéa en région wallonne. *Forêts Wallonnes*, **62**, 10-13.
 22. Honnay O., Verheyen K. & Hermy M., 2002, Permeability of ancient forest edges for weedy plant species invasion. *Forest Ecology and Management*, **161**, 1-3, 109-122.
 23. Kruskal W.H. & Tanur J.M., 1978, *International Encyclopedia of Statistics*. vols. 1-2. The Free Press, New York.
 24. Laurance W.F., Lovejoy T.E., Vasconcelos H.L., Bruna E.M., Didham R.K., Stouffer P.C., Gascon C., Bierregaard R.O., Laurance S.G. & Sampaio E., 2002, Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-Year Investigation. *Conservation Biology*, **16**, 3, 605-618.
 25. Mardia K.V., 1976, Linear-circular correlation and rhythmometry. *Biometrika*, **63**, 403-405.
 27. McDonald R.I. & Urban D.L., 2004, Forest edges and tree growth rates in the North Carolina Piedmont. *Ecology*, **85**, 2258-2266.
 28. Murcia C., 1995, Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, **10**, 2, 58-62.
 29. Nissen T.M. & Midmore D.J., 2002, Stand basal area as an index of tree competitiveness in timber intercropping. *Agroforestry Systems*, **54**, 1, 51-60.
 30. Piessens K., Honnay O., Devlaeminck R. & Hermy M., 2006, Biotic and abiotic edge effects in highly fragmented heathlands adjacent to cropland and forest. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **114**, 2-4, 335-342.
 31. SIEC & BCG (Société Internationale d'Experts-Conseils & Benin Consulting Group), 1997, Etude de la Filière Bois au Bénin. Rapport final. MPREPE, 137 p. + annexes.
 32. Snoeck B. & Baar F., 2001, Aménager les lisières forestières. *Cahier technique n°16. Forêt Wallonne*, **53**, 2-15.
 33. Volkoff B. & Willaime P., 1976, Carte pédologique de reconnaissance de la République populaire du Bénin à 1/200 000. Feuille de Porto-Novo (1). Notice explicative 66 (1), 39 p., ORSTOM, Paris.
 34. Wittermyer G., Elsen P., Bean W.T., Coleman A., Burton O. & Brashares J. S., 2008, Accelerated human population growth at protected area edges. *Science*, **321**, 123-126.