

Structure démographique et répartition spatiale des populations de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. du secteur sahélien du Niger

Hamidou ABDOURHAMANE¹

Habou RABIOU²

Abdoulaye DIOUF³

Boubé MOROU¹

Ali MAHAMANE¹

Ronald BELLEFONTAINE⁴

¹ Université Dan Dicko Dankoulodo
de Maradi
Faculté des sciences et techniques
Département de biologie
BP 465, Maradi
Niger

² Université de Diffa
Faculté des sciences agronomiques
Département de productions végétales
Diffa
Niger

³ Université Dan Dicko Dankoulodo
de Maradi
Faculté d'agronomie et des sciences
de l'environnement
Département des sciences du sol
et de télédétection
BP 465, Maradi
Niger

⁴ Cirad
UMR AGAP
TA A-108/C
Campus international de Baillarguet
34398 Montpellier Cedex 5
France

Auteur correspondant / Corresponding author:
Hamidou Abdourhamane - hamidyoro@yahoo.fr



Photo 1.
Envahissement des forêts classées par *Sida cordifolia*.
Photo H. Abdourhamane.

RÉSUMÉ

STRUCTURE DÉMOGRAPHIQUE ET RÉPARTITION SPATIALE DES POPULATIONS DE *SCLEROCARYA BIRREA* (A. RICH.) HOCHST. DU SECTEUR SAHÉLIEN DU NIGER

Cette étude a pour objectif principal d'analyser la structure démographique et la distribution spatiale des populations de *Sclerocarya birrea* dans les forêts classées de Dan Kada Dodo et de Dan Gado, et dans leurs zones périphériques. La connaissance de ces paramètres constitue une étape indispensable à leur gestion durable. Un échantillonnage stratifié aléatoire sur la base des trois unités d'occupation du sol identifiées (steppe arborée, parc agroforestier, zones agricoles riveraines) a permis la mise en place de placettes d'inventaire de 50 x 20 m. Le diamètre à 1,30 m du sol, la hauteur totale et les deux diamètres perpendiculaires du houppier des individus de *S. birrea* ont été mesurés. Pour préciser la répartition spatiale des individus de *S. birrea*, les données ont été collectées par cartographie des individus sur deux parcelles de 1,96 ha chacune (140 x 140 m) dans les unités « steppe arborée » et « parc agroforestier ». Les résultats montrent que les individus de *S. birrea* présentent une répartition spatiale aléatoire à agrégée, avec des agrégats de taille variable (environ 7 m et 25 m), en cohérence avec le mode de dispersion zoochore et barochore des fruits, et la capacité de multiplication végétative de l'espèce. Les plus fortes valeurs de densité (25,2 individus/ha), de surface terrière (1,6 m²/ha) et de hauteur moyenne (6,9 m) ont été obtenues dans les unités des forêts classées. La forme en cloche de la distribution des classes de hauteur et des diamètres des populations traduit une meilleure représentation des classes intermédiaires, par rapport aux classes extrêmes. Par contre, la structure erratique observée dans les « zones agricoles riveraines » traduit une répartition très irrégulière dans les classes de diamètre. Les populations de *S. birrea* requièrent donc une conservation plus efficace qui passera par le développement de stratégies appropriées en vue de leur restauration.

Mots-clés : *Sclerocarya birrea*, structure spatiale, forêts classées, occupation du sol, Niger.

ABSTRACT

POPULATION STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF *SCLEROCARYA BIRREA* (A. RICH.) HOCHST. STANDS IN NIGER'S SAHEL REGION

The main purpose of this study was to analyse the population structure and spatial distribution of *Sclerocarya birrea* stands in the protected forests of Dan Kada Dodo and Dan Gado and their peripheral areas. These parameters have to be known to ensure that the stands are managed sustainably. Sample inventory plots measuring 50 x 20 m were identified by random stratified sampling in the three land use units identified (tree steppe, agroforestry sector, adjacent agricultural zones). Tree diameter at 1.30 m above the ground, total height and the two diameters perpendicular to the crown of *S. birrea* were measured. To define spatial distribution, *S. birrea* individuals were mapped in two 1.96 ha plots (140 x 140 m) in the "tree steppe" and "agroforestry sector" units. The results show that *S. birrea* individuals are distributed in random aggregates of varying sizes (about 7 m and 25 m), which is consistent with their zoochorous and barochorous fruit dispersal pattern and the capacity of the species for vegetative propagation. The highest densities (25.2 individuals/ha), basal areas (1.6 m²/ha) and average heights (6.9 m) were in the protected forest sectors. The bell-shaped distribution curve for stand height and diameter classes reflects the better representation of intermediate classes than extremes. However, the erratic structure observed in the "adjacent agricultural zones" indicates a highly irregular distribution of diameter classes. We conclude that *S. birrea* populations require more effective conservation, with more appropriate restoration strategies to be developed.

Keywords: *Sclerocarya birrea*, spatial structure, protected forests, land use, Niger.

RESUMEN

ESTRUCTURA DEMOGRÁFICA Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE POBLACIONES DE *SCLEROCARYA BIRREA* (A. RICH.) HOCHST. DE LA ZONA SAHELIANA DE NÍGER

El principal objetivo de este estudio es analizar la estructura demográfica y la distribución espacial de las poblaciones de *Sclerocarya birrea* en las reservas forestales de Dan Kada Dodo y Dan Gado y sus zonas periféricas. El conocimiento de estos parámetros es una etapa indispensable para su manejo sostenible. Un muestreo aleatorio estratificado basado en tres unidades de cobertura del suelo identificadas (estepa arbolada, parque agroforestal y zonas agrícolas colindantes) permitió el establecimiento de parcelas de inventario de 50 x 20 m. Se midieron el diámetro a 1,30 m del suelo, la altura total y dos diámetros perpendiculares de copa de individuos de *S. birrea*. La cartografía de individuos de *S. birrea* en dos parcelas de 1,96 ha cada una (140 x 140 m), en las unidades "estepa arbolada" y "parque agroforestal", permitió la obtención de datos para determinar la distribución espacial de los individuos de esta especie. Los resultados muestran que los individuos de *S. birrea* tienen una distribución espacial aleatoria y agregada, con agregados de tamaño variable (7 m y 25 m aprox.) en consonancia con el modo de diseminación zoócora y barócora de los frutos y la capacidad de multiplicación vegetativa de la especie. Los valores más altos de densidad (25,2 individuos/ha), de área basal (1,6 m²/ha) y de altura promedio (6,9 m) se obtuvieron en las unidades de las reservas forestales. La forma de campana de la distribución de las clases de altura y diámetro de las poblaciones refleja una mejor representación de las clases intermedias frente a las clases extremas. Sin embargo, la estructura irregular que se observa en las "zonas agrícolas colindantes" refleja una distribución muy desigual de las clases de diámetro. Por consiguiente, hay que proteger de forma más eficaz las poblaciones de *S. birrea* mediante el desarrollo de estrategias adecuadas para su restauración.

Palabras clave: *Sclerocarya birrea*, estructura espacial, bosques reservados, ocupación del suelo, Níger.

Introduction

Les écosystèmes soudano-sahéliens subissent une dégradation, en raison de l'aridité climatique et de la forte anthropisation (Ouédraogo *et al.*, 2006). Cette dégradation se produit à un rythme très élevé et s'accompagne d'un déséquilibre croissant entre la disponibilité des ressources naturelles et la demande de produits forestiers, en raison de la croissance continue de la population (Ariori et Ozer, 2005). En effet, les populations locales trouvent dans la strate ligneuse des fruits et aliments d'appoint, des médicaments, une source d'énergie et des matériaux pour la fabrication d'objets d'usage courant (Belem *et al.*, 2008 ; Gouwakinnou *et al.*, 2011). Cette situation entraîne une surexploitation des arbres à usages multiples et à fort potentiel socio-économique, plaçant ainsi les populations de ces espèces dans une dynamique régressive caractérisée par la raréfaction ou l'absence d'individus jeunes (Ouédraogo *et al.*, 2006). Parmi ces ressources forestières importantes disponibles au Niger figure *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst.

S. birrea, ou prunier d'Afrique, est une espèce très répandue dans les savanes sahélo-soudaniennes à soudaniennes (Arbonnier, 2009). Elle est communément présente dans les régions arides et semi-arides, et se développe en particulier sur des sols sablo-limoneux et sur des versants rocailloux (Muok *et al.*, 2011). Au Niger, l'espèce est rencontrée dans la bande méridionale du pays. Elle est largement utilisée par les populations rurales, et son importance économique, alimentaire, nutritionnelle, sanitaire, sociale, cosmétique et pharmacologique a été documentée (Gouwakinnou *et al.*, 2011 ; Shackleton *et al.*, 2003 ; Abdourhamane *et al.*, 2015).

Cependant, en dépit de son potentiel socio-économique largement reconnu dans le secteur sahélien du Niger, les informations scientifiques de base sur la structure et l'état des populations de cette espèce demeurent encore limitées.

Ces insuffisances entravent l'élaboration de stratégies de conservation et d'utilisation durable, de plans d'aménagement et de gestion fiables (Bellefontaine *et al.*, 2000). Pour une bonne restauration d'un écosystème dégradé ou la conservation des espèces menacées de disparition, les approches et techniques sylvicoles à mettre en œuvre requièrent une meilleure compréhension de leur structure spatiale (Boyden *et al.*, 2005 ; Natta *et al.*, 2011). Ainsi, la connaissance de la distribution spatiale de la population de *S. birrea* dans les forêts classées de Dan Kada Dodo et Dan Gado permet d'orienter les actions de reboisement et d'enrichissement en cette essence. La distribution de l'espèce est-elle

grégaire ou aléatoire ? Existe-t-il un phénomène de compétition ou de facilitation entre les juvéniles et leur semencier ? La connaissance de ces facteurs biotiques permet d'orienter la sylviculture dans le cadre de la gestion des peuplements de cette espèce. Plusieurs auteurs (Assogbadjo, 2006 ; Glèlè *et al.*, 2009 ; Gouwakinnou *et al.*, 2011) ont eu recours aux indices de Blackman et Green pour caractériser la structure des espèces étudiées. Ces indices renseignent certes la structure spatiale globale (grégaire ou aléatoire) d'un peuplement. Mais ils ne donnent pas la taille des agrégats et ne permettent pas d'analyser les relations inter- et intraspécifiques (jeunes et adultes) traduisant les interactions biologiques (compétition ou facilitation) qui expliquent l'organisation spatiale d'un peuplement. La méthode de Ripley (1977), basée sur l'approche des processus ponctuels, demeure la mieux indiquée et la plus utilisée (Diouf *et al.*, 2010 ; Rabiou *et al.*, 2014 ; Fonton *et al.*, 2012) pour caractériser la structure spatiale des peuplements ligneux.

Cette étude a pour objectif principal d'analyser la structure démographique et la distribution spatiale des populations de *S. birrea* dans les forêts classées de Dan Kada Dodo et de Dan Gado et dans leurs zones périphériques, étape indispensable dans le processus de leur gestion durable.

Matériels et méthodes

Zone d'étude

L'étude a été menée dans les forêts classées de Dan Kada Dodo et Dan Gado de la région de Maradi, au centre-sud du Niger, entre les latitudes 13°27' et 13°35' Nord et les longitudes 07°34' et 07°43' Est (figure 1). Ces deux anciennes forêts couvrent une superficie totale de 11 630 ha, sur un plateau marqué par quelques buttes de sable et de petites dépressions (Abdourhamane, 2014).

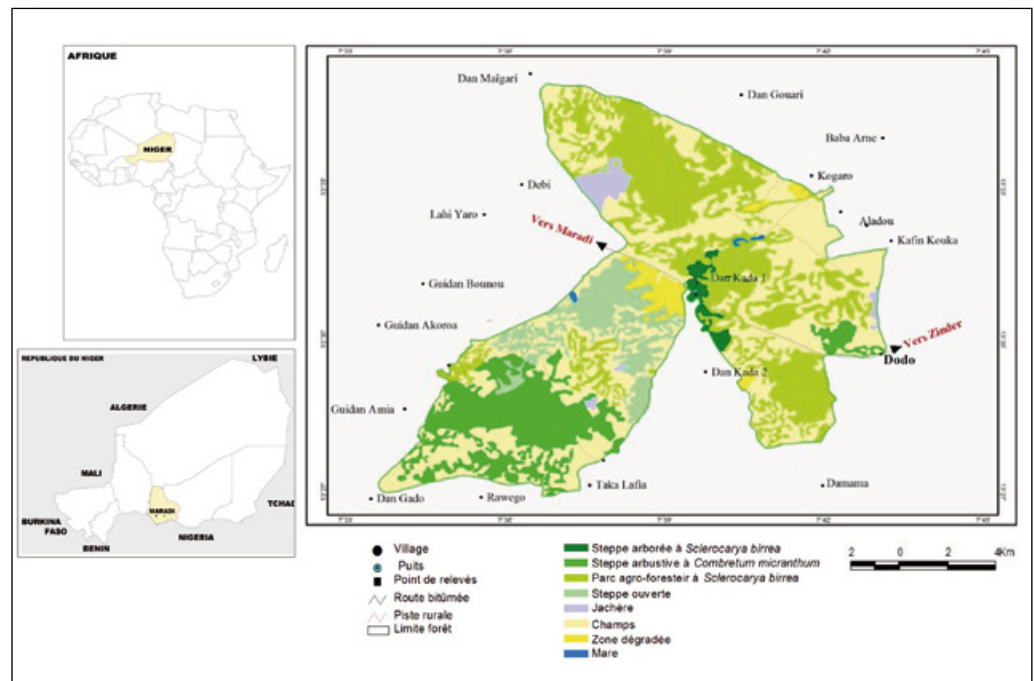


Figure 1.

Localisation de la zone d'étude et distribution des placettes échantillonnées (carrés noirs : points de relevés).

Le climat de la zone d'étude est de type tropical semi-aride, marqué par une courte saison des pluies (4 mois : juin à septembre) et une longue saison sèche (8 mois : octobre à mai). Au cours de la dernière décennie (2004-2013), la pluviométrie moyenne annuelle enregistrée au poste pluviométrique d'Aguié était de $409,28 \pm 88,77$ mm. Les températures mensuelles moyennes variaient entre $22,7$ °C en janvier et $33,4$ °C en avril. Le mois d'août était le plus pluvieux, avec une humidité relative de l'ordre de 70 %.

La pluviométrie de cette zone, comme pour l'ensemble des zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest, est caractérisée par une forte variation dans le temps et dans l'espace. Ainsi, la comparaison des isohyètes durant la période dite humide de 1950 à 1967 et la période de sécheresse de 1968 à 1985 a mis en évidence la diminution généralisée des précipitations. Celle-ci se manifeste par un retrait important des isohyètes vers le sud pouvant atteindre 250 km (Ozer et Ozer, 2005 *in* Hountodji, 2008).

Selon la subdivision phytogéographique de Saadou (1990), Dan Kada Dodo et Dan Gado se situent dans le compartiment sud-sahélien. La végétation de ce compartiment se caractérise par des fourrés à Combretaceae sur les plateaux latéritiques, des savanes sur les terrasses sableuses méridionales, et des steppes sur les dunes et dans les vallées sèches.

En 2011, la population dans la zone d'étude était estimée à plus de 386 000 habitants, soit une densité de 137 habitants/km² (INS, 2013). Deux groupes ethniques principaux y sont présents : les Haoussas et les Peulhs.

L'économie locale est surtout basée sur l'agriculture et l'élevage. L'agriculture est extensive avec des cultures vivrières intégrant des graminées (mil, sorgho, souché) et des légumineuses (arachide, niébé, voandzou). L'élevage (bovins, ovins, caprins, camelins) est l'activité principale des Peulhs, mais reste secondaire pour les Haoussas.

Collecte des données

La méthode d'échantillonnage stratifié basée sur les unités d'utilisation des terres (UUT) identifiées par cartographie (figure 1) a été adoptée. Ainsi, dans chacune des UUT, des parcelles d'inventaire rectangulaires de 50 x 20 m (soit 1 000 m²) ont été installées. Au total, 148 placettes ont été inventoriées, dont 12 dans la steppe arborée, 68 dans les parcs agroforestiers (PAF), et 68 dans les champs riverains en guise de témoins (figure 1).

Seuls les individus adultes de *S. birrea* présents dans la placette d'inventaire ont fait l'objet de mesures. Les paramètres dendrométriques mesurés étaient le diamètre à hauteur de poitrine DHP (1,30 m du sol), les deux diamètres perpendiculaires du houppier et la hauteur totale de l'individu.

Au sein de chaque placette de 1 000 m², cinq quadrats de 5 m x 5 m ont été installés aux quatre coins et au centre pour le comptage des jeunes individus, dénommés juvéniles. Cette catégorie regroupe les semis naturels, les drageons et/ou jeunes rejets de souche de hauteur totale et de diamètre à la base respectivement inférieurs à 1,3 m et 5 cm. Les semis ont été distingués des drageons par excavation de la base de la jeune tige, afin de détecter une éventuelle connexion avec une racine mère d'un arbre voisin.

Pour la caractérisation de la structure spatiale, deux unités d'occupation ont fait l'objet d'une cartographie. Il s'agit de la steppe arborée et du parc agroforestier. Dans chaque unité, un plateau de 1,96 ha (140 m x 140 m) a été délimité et subdivisé en quadrats de 20 m x 20 m, soit 49 quadrats par placette. Dans chaque quadrat, les coordonnées polaires (r, θ) de position de tous les individus (jeune et adulte) de *S. birrea* ont été mesurées à l'aide d'un théodolite optique de chantier (Metland, MTXO) et d'un mètre ruban. Le théodolite était d'abord placé dans un coin du quadrat et balayait l'angle entre un côté de quadrat et la position de l'individu. La distance entre l'individu et le théodolite était mesurée à l'aide d'un mètre ruban.

Analyse des données

Caractérisation écologique des populations de *S. birrea*

La caractérisation écologique des populations de *S. birrea* de chaque UUT a été effectuée en évaluant la densité totale, la surface terrière et la structure démographique (en diamètre et en hauteur).

La densité totale (N), ou nombre d'individus par hectare, est obtenue avec la formule :

$$N = 10000 n/S \text{ (équation 1)}$$

n étant le nombre total d'individus de *S. birrea* et S la surface (en m²) de la placette.

La surface terrière (G , en m²/ha) est la somme de la section transversale à 130 cm au-dessus du sol de tous les individus de *S. birrea* de diamètre à 1,3 m supérieur à 5 cm, à l'intérieur de la placette. Elle est calculée par la formule suivante :

$$G = \frac{\pi}{400005} \sum_{i=1}^n d_i^2 \text{ (équation 2)}$$

où n est le nombre d'individus de *S. birrea* de la placette, S est la superficie de la placette d'inventaire (en m²), et d_i est le diamètre d'un individu i (en cm).

Le test de comparaison non paramétrique de Mann-Whitney au seuil de 5 % a été utilisé pour déterminer la significativité des différences de valeur de la densité totale d'une part et de la surface terrière d'autre part, selon les types d'utilisation des terres. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Minitab 16.0.

Les structures en diamètre et en hauteur de la population de *S. birrea* ont été établies pour les trois UUT. Ces structures ont été ajustées à la distribution théorique de Weibull basée sur la méthode du maximum de vraisemblance (Morou, 2010). La distribution de Weibull à trois paramètres (a, b et c) se caractérise par une fonction de densité de probabilité, $f(x)$, qui se présente sous la forme suivante (Rondeux, 1999) :

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{x-a}{b} \right)^c \right] \text{ (équation 3)}$$

où x est le diamètre ou la hauteur des arbres, a est le paramètre de position, b est le paramètre d'échelle ou de taille, et c est le paramètre de forme lié à la structure observée.

Pour tester l'ajustement de la structure observée à la distribution théorique de Weibull, une analyse log-linéaire, méthode d'analyse de variance réalisée sur le logarithme des densités des classes, a été effectuée à l'aide du logiciel SAS 9.1 (Glèlè Kakaï *et al.*, 2008).

Modèle d'analyse spatiale des populations de *S. birrea*

Les coordonnées polaires transformées en coordonnées cartésiennes de tous les individus de *S. birrea* (jeunes et adultes) ont été soumises à une analyse de la structure spatiale. Celle-ci était basée sur l'approche des processus ponctuels à travers la fonction $K(r)$ de Ripley (1977). L'hypothèse de base supposait que la distribution spatiale des individus de *S. birrea* était un processus homogène et isotrope (Goreaud *et al.*, 2002).

Cette fonction caractérise la structure spatiale d'un semis de points à travers sa propriété de second ordre du processus ponctuel, et elle a l'avantage de décrire la structure spatiale à plusieurs échelles spatiales. Toutefois, la fonction $K(r)$ de Ripley semble difficile à interpréter du fait de son allure en parabole. Besag (1977) a proposé la fonction $L(r)$, une transformation linéaire de $K(r)$ dont l'avantage est d'avoir une variance stabilisée et une courbe facilement interprétable, dont l'estimateur s'écrit :

$$\hat{L}(r) = \sqrt{\frac{\hat{K}(r)}{\pi}} - r \quad (\text{équation 4})$$

Une position de la courbe $L(r)$ à l'intérieur des intervalles de confiance signifie que la distribution du semis n'est pas significativement différente d'une répartition complètement aléatoire. Lorsque la courbe $L(r)$ est située au-dessus de l'intervalle de confiance supérieur, la répartition des points est significativement agrégée pour les distances correspondantes. Le rayon r correspondant à un maximum bien marqué de la courbe $L(r)$ peut être considéré comme le rayon moyen des agrégats (Fonton *et al.*, 2012). Par contre, une position de la courbe $L(r)$ en dessous de l'intervalle de confiance traduit une répartition significativement régulière des points.

La fonction intertype $K_{12}(r)$ dont la fonction modifiée par Diggle (1983) (Fonton *et al.*, 2012) est $L_{12}(r)$ a été utilisée pour étudier les interactions entre les individus adultes (type 1) de *S. birrea* et les juvéniles (type 2). Elle s'exprime par l'équation suivante :

$$\hat{L}_{12}(r) = \sqrt{\frac{\hat{K}_{12}(r)}{\pi}} - r \quad (\text{équation 5})$$

Dans cette expression, \hat{K}_{12} est l'estimateur de $K_{12}(r)$, et \hat{L}_{12} quantifie le degré et le type d'association spatiale entre les individus.

Lorsque $L_{12}(r)$ est au-dessus de l'intervalle de confiance supérieur pour une valeur donnée de r , les deux types (adultes et juvéniles) de *S. birrea* ont une distribution agrégative, impliquant donc une relation de facilitation d'un type sur l'autre. Lorsque $L_{12}(r)$ est en dessous de l'intervalle de confiance inférieur, les deux générations ont une distribution régulière, suggérant une relation de compétition entre les juvéniles et les adultes. Enfin, lorsque $L_{12}(r)$ est située

dans l'intervalle de confiance, les deux générations ont une distribution aléatoire.

La fonction $L(r)$, qui caractérise la structure de semis de points simples à chacune des distances r , est utilisée pour tester l'hypothèse nulle de structure aléatoire (processus de Poisson). Son estimateur est une variable aléatoire avec une certaine variance. En effet, même pour un processus homogène de Poisson, la courbe de la fonction $L(r)$ présente des écarts aléatoires plus ou moins importants par rapport à la courbe théorique.

Pour tenir compte de ces écarts dans le test de l'hypothèse nulle à partir de données réelles, on utilise une approche dite de « Monte Carlo » (Besag et Diggle, 1977). Cette approche consiste à construire, pour chaque distance r fixée, un intervalle de confiance local pour un risque α ; c'est-à-dire tel que la valeur $L(r)$ calculée pour un semis de Poisson sorte de cet intervalle avec une probabilité α par la simulation d'un grand nombre de réalisations du processus de Poisson. Pour r fixé, ces valeurs sont triées et les bornes de l'intervalle de confiance local sont estimées.

La méthode de correction locale proposée par Ripley (1977) qui porte sur la contribution de chaque point situé près de la bordure a été utilisée. Elle permet de construire un estimateur non biaisé de la fonction $K(r)$ quelle que soit la forme du domaine d'étude et jusqu'à des valeurs de r égales à la moitié de la longueur de la zone étudiée (Goreaud, 2000). Nous nous sommes limités à une distance de 70 m pour l'estimation de la fonction $K(r)$ et $K_{12}(r)$ car, selon Goreaud (2000), le nombre de couples de points utilisés dans le calcul de $K(r)$ diminue quand r augmente et l'interprétation des valeurs de $K(r)$ n'a plus beaucoup de sens pour les grandes valeurs de r . Pour tenir compte, relativement à la parcelle, de l'imprécision sur les mesures de position, nous avons pris des intervalles de distance de 1 m. L'intérêt de la méthode de Ripley réside donc dans le fait qu'elle permet, contrairement à plusieurs autres méthodes, de caractériser la structure spatiale simultanément pour plusieurs distances (Goreaud, 2000). Le logiciel ADS in ADE4 package¹ (Thioulouse *et al.*, 1997) a été utilisé pour traiter et analyser les données, 1 000 simulations étant alors réalisées pour un risque de 1 %, avec une précision de 10 %.

Résultats

Caractéristiques dendrométriques des populations de *S. birrea*

Les populations de *S. birrea* des parcs agroforestiers (PAF) présentent une densité totale moyenne de $25,2 \pm 22,4$ individus/ha, significativement plus élevée que celle des populations des champs riverains ($6,1 \pm 19,0$ individus/ha) (tableau I). La plus grande valeur de la surface terrière s'observe au sein des populations de la steppe arborée ($1,62$ m²/ha), et la plus faible dans les champs riverains ($0,27$ m²/ha). En revanche, dans ces derniers, les individus de *S. birrea* présentent le diamètre moyen le plus élevé, malgré la forte hétérogénéité de la grosseur des individus, donnant des écarts-types élevés.

¹ <http://pbil.univlyon1.fr/ADE-4/ADE-4.html>

Tableau I.

Paramètres dendrométriques des populations de *S. birrea* en fonction des unités d'utilisation des terres (moyenne \pm écart-type). N = densité totale ; G = surface terrière totale ; D_m = diamètre moyen ; H_t = hauteur totale moyenne ; d_m = diamètre moyen du houppier. Les valeurs d'un même paramètre affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

		N (ind./ha)	G (m ² /ha)	D_m (cm)	H_t (m)	d_m (m)
Forêt classée	Steppe arborée	12,5 \pm 16,0a	1,62	26,8 \pm 6,3ab	6,9 \pm 1,61a	7,0 \pm 1,6a
	Parc agroforestier	25,2 \pm 22,4b	0,74	23,6 \pm 5,3a	6,7 \pm 2,01a	6,2 \pm 2,1a
Champs riverains		6,1 \pm 19,1c	0,27	29,1 \pm 11,2ab	6,3 \pm 2,12a	6,7 \pm 2,6a

Bien que la densité totale diffère significativement d'une UUT à une autre, les valeurs de hauteur totale moyenne (H_t) et de diamètre moyen du houppier (d_m) ne présentent aucune différence significative entre les UUT. Le diamètre moyen de l'espèce (D_m) n'est significativement différent qu'entre les PAF et les champs riverains.

Structure démographique des populations

Le bon ajustement de la distribution observée à la distribution théorique de Weibull ($p > 0,05$) indique une structure horizontale (en diamètre) des populations de *S. birrea* dans la steppe arborée et les PAF. Sa forme en cloche traduit une meilleure représentation des classes intermédiaires par rapport aux classes extrêmes (figures 2A et 2B). En effet, les jeunes arbres, de diamètre inférieur à 15 cm, sont quasi absents ou très peu représentés (respectivement 0 % et 1,7 % dans ces unités). De même, les gros diamètres, supérieurs à 35 cm, ne sont pas suffisamment représentés (respectivement 13,33 % et 3,40 %). En revanche, la classe de diamètre de 20 à 25 cm compte respectivement 46,67 % et 45,45 % des arbres.

La forme en dents de scie ou en structure erratique, observée dans les champs riverains (figure 2C), traduit une répartition très irrégulière dans les classes de diamètre, avec toutefois une bonne représentation des jeunes à faible diamètre (paramètre de forme de la distribution de Weibull $c = 2,388$).

La structure verticale (en hauteur) des populations de *S. birrea* présente une forme en cloche dans la steppe arborée. La population dans cette unité est dominée par des arbres d'une hauteur comprise entre 6 et 7 m (46,6 %). Les classes d'arbres de hauteur supérieure à 7 m constituent 20 % des effectifs (figure 3A), tandis que les arbustes inférieurs à 5 m de haut ne représentent que 6,6 % de l'ensemble. Au sein des PAF et des champs riverains (figures 3B et 3C), la structure verticale est également en forme de cloche, avec toutefois une prédominance des grands arbres (plus de 7 m de haut), soit respectivement 22,6 % et 25 % de la population. Dans les champs riverains, la population de *S. birrea* présente 8,3 % d'arbustes de moins de 2 m de haut.

Distribution spatiale des populations de *S. birrea* dans les unités des forêts classées

Le semis de points des populations de *S. birrea* est plus dense dans les PAF que dans la steppe arborée (119 et 48 arbres respectivement) (figures 4A₁ et 4B₁).

Dans la steppe arborée, les individus de *S. birrea* se caractérisent par une distribution spatiale aléatoire (figure 4A₁). Par contre, au niveau des PAF, les individus sont spatialement organisés en agrégats. En effet, la courbe $L(r)$ présente deux pics au-dessus de l'intervalle de confiance supérieur (figure 4B₁) correspondant aux rayons moyens des agrégats en présence (environ 7 m et 25 m). Cette distribution bimodale de la fonction $L(r)$ suggère en effet que *S. birrea* a une répartition de type agrégé avec des agrégats de taille variable selon l'échelle spatiale considérée. Les agrégats de petite taille, relevant d'une échelle locale, forment à une échelle plus grande des agrégats de grande taille, d'environ 50 m de diamètre.

Interactions intraspécifiques

Au sein des PAF, la courbe de la fonction intertype $L_{12}(r)$ révèle une répartition spatiale aléatoire entre les individus adultes et juvéniles de *S. birrea* (figure 5B). Tout de même, le point de contact (5 à 6 m) entre les courbes $L_{12}(r)$ et l'intervalle de confiance supérieur laisse supposer une certaine agrégation des juvéniles autour des adultes.

Discussion

Caractéristiques dendrométriques des populations de *S. birrea* dans les UUT

L'étude des caractéristiques dendrométriques des populations de *S. birrea* révèle que la densité est la plus élevée dans la forêt classée, et reste faible dans les champs riverains (6,1 \pm 19,0 individus/ha). Ces valeurs de densité sont nettement inférieures à celles observées par Gouwakinnou *et al.* (2009) en zone soudano-sahélienne du Bénin. La plus faible densité observée dans les champs riverains traduit l'effet de la pression anthropique (coupes et défrichements)

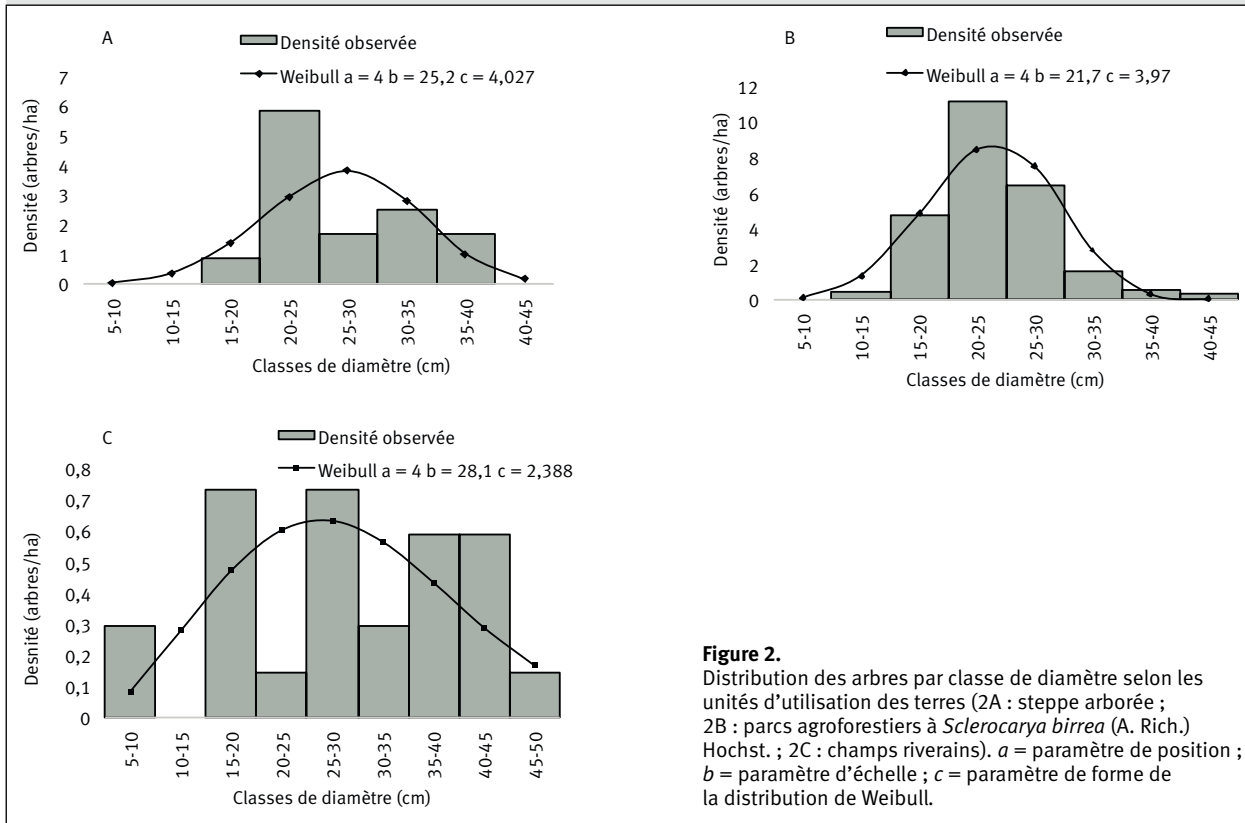


Figure 2. Distribution des arbres par classe de diamètre selon les unités d'utilisation des terres (2A : steppe arborée ; 2B : parcs agroforestiers à *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. ; 2C : champs riverains). a = paramètre de position ; b = paramètre d'échelle ; c = paramètre de forme de la distribution de Weibull.

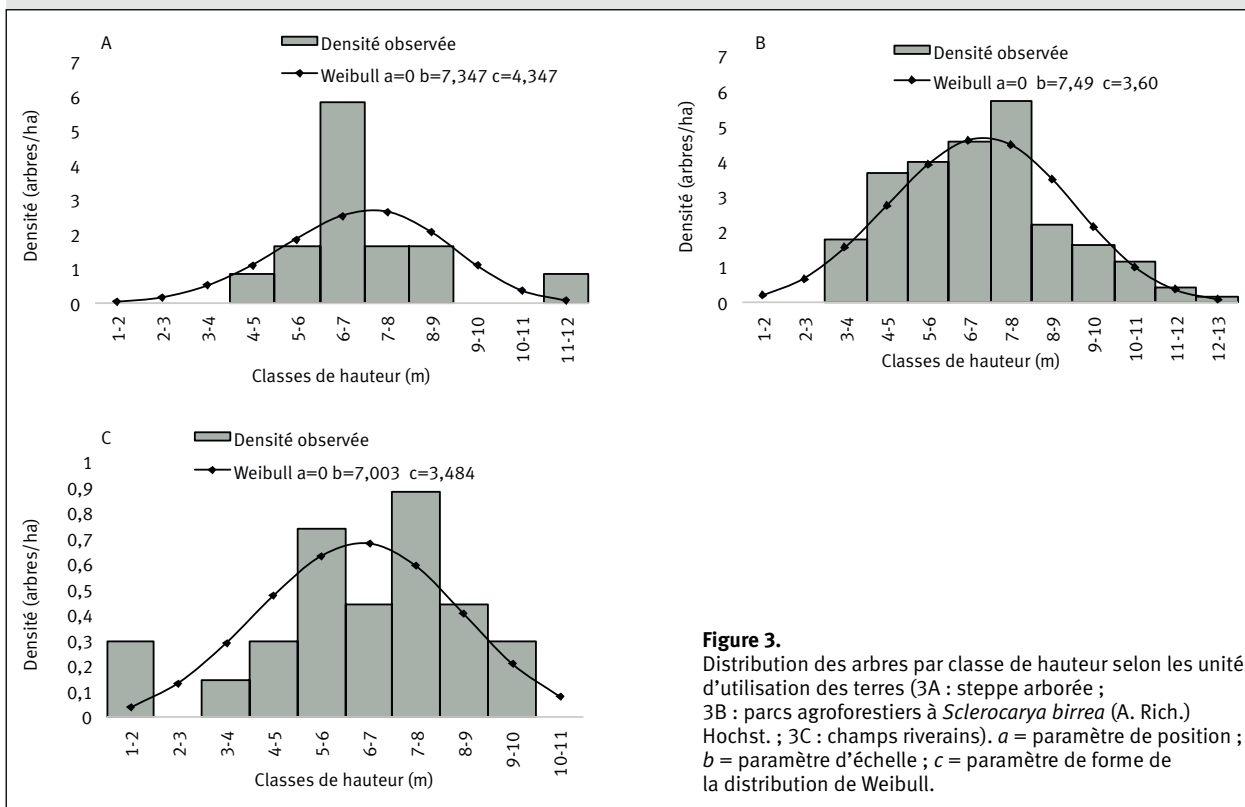


Figure 3. Distribution des arbres par classe de hauteur selon les unités d'utilisation des terres (3A : steppe arborée ; 3B : parcs agroforestiers à *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. ; 3C : champs riverains). a = paramètre de position ; b = paramètre d'échelle ; c = paramètre de forme de la distribution de Weibull.

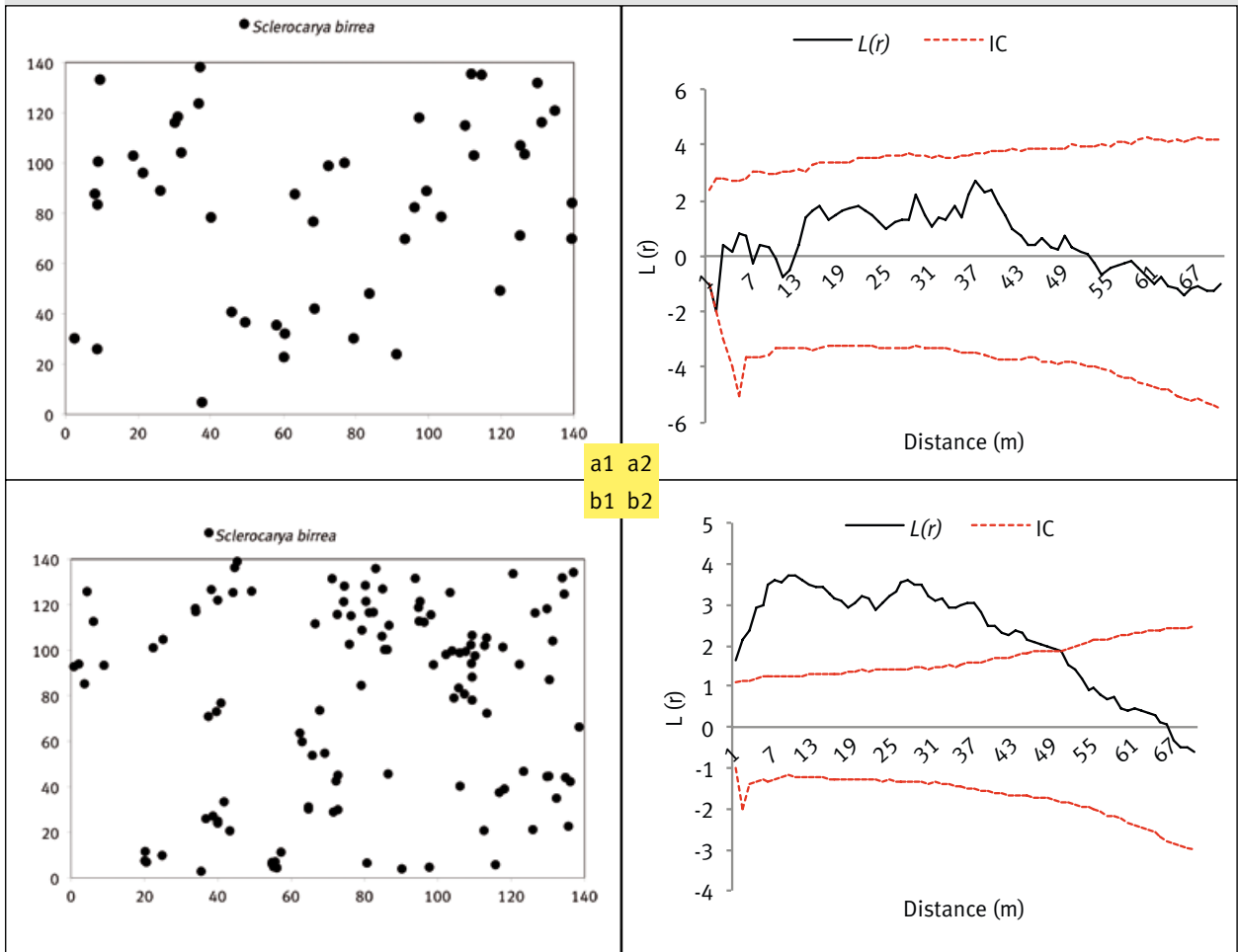


Figure 4. Carte de distribution des individus des populations de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. adultes dans la steppe arborée (a₁) et dans les parcs agroforestiers (b₁) ; courbes de la fonction $L(r)$ de la distribution spatiale de *S. birrea* dans la steppe arborée (a₂) et dans les parcs agroforestiers (b₂). IC = intervalle de confiance.

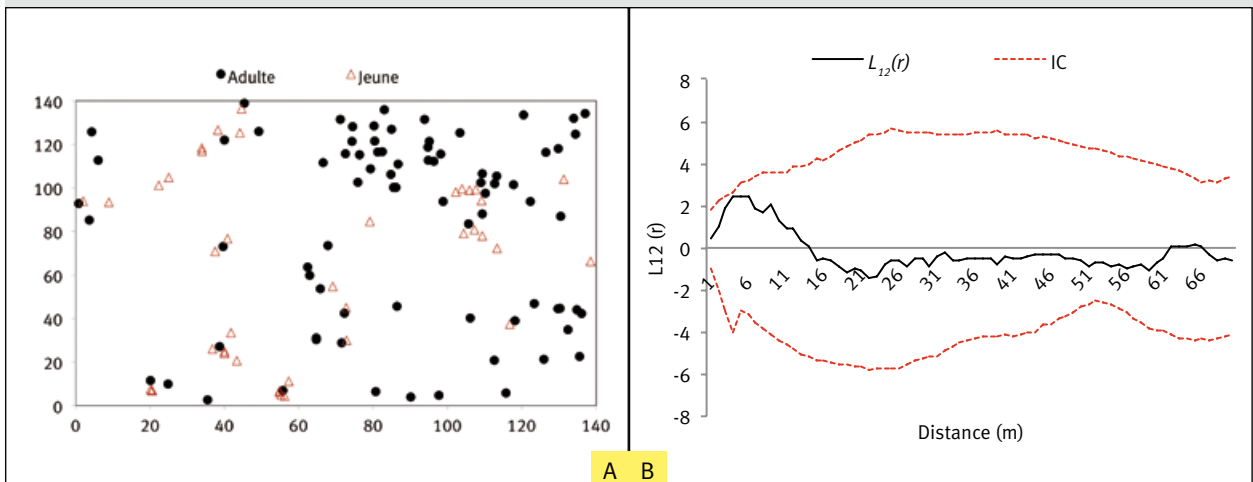


Figure 5. Carte de distribution des individus adultes (cercle plein) et juvéniles (triangle) des populations de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. (5A) ; graphe de la fonction intertype $L_{12}(r)$ de la distribution spatiale de *S. birrea* dans les parcs agroforestiers (5B). IC = intervalle de confiance.

exercée par les populations riveraines sur cette essence de valeur. Les mêmes observations ont été effectuées par Glèlè Kakai *et al.* (2008) sur *Pterocarpus erinaceus* au Bénin. En effet, les pratiques culturales, sans respect des règles de gestion (protection des juvéniles), pourtant clairement définies dans les termes du contrat de culture, impactent fortement la survie des populations de *S. birrea*. De plus, la densité de régénération est plus élevée dans les champs riverains que dans la partie de forêt soumise au contrat de culture. Cette relative abondance des juvéniles dans les champs riverains peut être considérée comme un indice appréciable de régénération. Des travaux effectués par Abdourhamane *et al.* (2014) dans la même forêt ont montré que l'espèce dispose d'une forte capacité germinative en saison des pluies.

En revanche, les travaux effectués par Gouwakinnou *et al.* (2009) ont montré que la densité de juvéniles était plus élevée dans le secteur protégé que dans les champs riverains. Selon Diouf *et al.* (2002), en plus des défrichements, l'absence de juvéniles peut être liée à l'utilisation des graines pour l'alimentation humaine. En effet, pendant la période de fructification, femmes et enfants parcourent les forêts à la recherche des fruits de *S. birrea*.

La forte intensité de l'exploitation zoo-anthropique (pâturage des animaux, ramassage des noix par les femmes) a probablement occasionné des dégâts sévères sur les juvéniles, et limite les possibilités de germination ou survie dans

la steppe arborée. À cela s'ajoute l'utilisation du stock d'eau disponible par les herbacées, de sorte que les juvéniles ne peuvent survivre en saison sèche. En outre, pendant la saison des pluies, les forêts classées de Dan Kada Dodo et Dan Gado constituent l'une des principales zones d'accueil des troupeaux. Les piétinements et le broutage des juvéniles par les animaux leur laissent peu de chance. Dans la steppe arborée, on peut noter, en plus de la pression du surpâturage, d'autres menaces comme l'envahissement par *Sida cordifolia* qui entrave la régénération de *S. birrea* (photo 1).

La faible valeur des surfaces terrières obtenue dans les champs riverains (0,2 m²/ha) pourrait s'expliquer par le cycle répétitif de la mise en culture sans jachère et du développement des cultures céréalières. Le même phénomène s'observe dans les PAF malgré les contrats de culture. Par contre, les gros diamètres des arbres se rencontrent dans les champs riverains. Cette situation résulterait de la protection de l'espèce par les paysans.

Structure démographique des populations de *S. birrea*

Dans les forêts classées, la structure par classes de diamètre selon les UUT laisse apparaître une forme en cloche selon laquelle les arbres appartiennent en majorité à la classe [20-25[, une diminution progressive du nombre d'arbres adultes dans les classes supérieures (> 30 cm), et l'absence



Photos 2.
Effets de l'exploitation de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst.
a) étêtage, b) tronc écorcé.
Photo H. Abdourhamane.

totale d'individus dans la classe de diamètre de 5 à 10 cm. Cette situation montre que la régénération y est très faible. Les juvéniles rencontrent vraisemblablement des difficultés à se maintenir pendant la saison sèche. Les populations de *S. birrea* dans la steppe arborée sont donc instables et vieillissantes. Le même constat a été établi sur *Parkia biglobosa*, dans la zone soudano-sahélienne du Nord-Bénin (Koura *et al.*, 2013).

Par ailleurs, dans les champs riverains, non soumis à des mesures de protection particulières, l'absence d'arbres de la classe de diamètre de 10 à 15 cm traduit un problème dans le passage de la classe de 5 à 10 cm à la classe de 10 à 15 cm. Cela s'explique par la forte pression zoo-anthropique exercée sur les populations de *S. birrea* (pâturage, étiage, écimage ou élagage inadapté et nocif, coupe frauduleuse pour confectionner des mortiers et pilons, écorçage partiel ou total pour la pharmacopée) (photos 2a et 2b). Le même constat a été réalisé en zone sahélo-soudanienne du Niger par Douma *et al.* (2009), sur quatre espèces ligneuses fruitières (*Adansonia digitata*, *Vitellaria paradoxa*, *Tamarindus indica* et *P. biglobosa*), et au Bénin par Gouwakinnou *et al.* (2009), sur *S. birrea*. Selon ces auteurs, le défrichement à des fins agricoles et la pression du surpâturage sont aussi préjudiciables à l'établissement de plantules, et compromettent la régénération. Dans les PAF, la présence de la classe de 5 à 10 cm pourrait toutefois être liée au respect par les agriculteurs du contrat de culture, consistant à protéger et entretenir les juvéniles.

Il est donc important d'envisager l'enrichissement des populations à travers diverses techniques très peu coûteuses, notamment l'induction artificielle du drageonnage, le bouturage de segments de tige et de racine, et leur transplantation en forêt (Bellefontaine *et al.*, 2012 ; Belem *et al.*, 2008).

Structure spatiale des populations de *S. birrea*

Les individus des populations de *S. birrea* présentent une distribution spatiale grégaire dans les PAF. La répartition en agrégats des individus de *S. birrea* s'explique non seulement par le mode de dispersion des fruits (zoochore et barochore, dont les fruits mûrs tombent alors aux pieds des semenciers), mais aussi et surtout par le drageonnage (Bellefontaine, 2005). Pour Bationo *et al.* (2005), la distribution agrégative des juvéniles est favorisée par le drageonnage. La distribution agrégative observée pourrait aussi s'expliquer par une préférence marquée de *S. birrea* pour des conditions pédologiques données. En effet, selon Arbonnier (2009) et Shackleton *et al.* (2003), l'espèce colonise une gamme variée de milieux, mais présente une préférence pour les sols sableux et bien drainés. Les modes de dispersion des fruits observés sont comparables à ceux obtenus par Djossa *et al.* (2008) qui ont observé une distribution agrégative pour l'espèce *Vitellaria paradoxa* dans la Réserve de biosphère de la Pendjari, au Bénin. Par contre, dans la steppe arborée, la distribution est uniquement aléatoire, du fait de la dispersion zoochore induite par les troupeaux de bovins qui parcourent chaque jour ces forêts. La zoochorie peut en effet favoriser la distribution aléatoire lorsqu'elle est effectuée par des animaux en déplacement. Certains juvéniles ont été observés à des distances éloignées des arbres adultes. La distribution agrégative de *S. birrea* dans les PAF constitue un réel atout, en référence au caractère dioïque

de l'espèce. En effet, la proximité des arbres adultes facilite alors le transport de pollen vers les pieds femelles. Le développement des juvéniles sous houppier des adultes suggère également l'absence d'allélopathie. La tendance agrégative entre les adultes et les juvéniles suggère que des enrichissements pourraient être effectués à proximité des pieds adultes, sans que cela affecte la survie des jeunes plants.

La faible relation spatiale entre les juvéniles et les arbres adultes dans les PAF serait liée à la destruction délibérée des jeunes plants ayant poussé sous le houppier des adultes. Cette destruction serait assurée par les producteurs contractuels lors des travaux de sarclage des champs. Plusieurs auteurs (Bationo *et al.*, 2005 ; Fonton *et al.*, 2012) ont montré que la position des juvéniles par rapport aux arbres adultes dépend du mode de dispersion des graines de l'espèce, mais aussi de facteurs extérieurs tels que la sécheresse et la pression zoo-anthropique, qui influencent la survie des graines ou des jeunes plants.

La structure spatiale d'un peuplement végétal peut être fortement affectée par des interactions complexes de facilitation et de compétition entre espèces (Barbier *et al.*, 2006). La combinaison des effets simultanés de la compétition et de la facilitation semble être la règle dans la nature, d'où le rôle important que peut jouer l'analyse de la structure spatiale dans l'inférence de la dynamique des peuplements (Goreaud *et al.*, 2002).

La portée de nos interprétations reste toutefois limitée. La position relative d'un individu donné dans un peuplement n'est pas seulement tributaire de celle des individus de la même population, elle l'est aussi de la présence d'autres espèces. Fandohan *et al.* (2008) suggèrent dans ces conditions de faire une analyse bivariée pour mieux caractériser la structure spatiale à laquelle répond chacune des espèces présentes dans le peuplement, et pour en déterminer les facteurs responsables. Il s'agit de la prise en compte des intertypes interspécifiques. L'approfondissement de telles études est d'une grande importance en matière d'aménagement des espaces forestiers. L'analyse de la structure pourrait permettre de mieux comprendre les relations intra- et interspécifiques dans les peuplements naturels afin de bien raisonner les techniques sylvicoles dans le cadre des travaux d'enrichissement de l'espèce étudiée.

Conclusion

Cette étude a permis de caractériser les populations de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. dans les forêts classées de Dan Kada Dodo et Dan Gado et leurs champs riverains. Elle a montré que le mode d'utilisation des terres affecte différemment la structure des populations.

L'analyse de l'état des populations de *S. birrea* a révélé que ces dernières sont instables, avec une régénération très faible dans la steppe arborée. Dans les pars agroforestiers, la structure montre une population en reconstitution, avec une prédominance d'arbres de petit diamètre, due à la protection des jeunes plants par la population. Les jeunes pousses ne parviennent que rarement à maturité, car elles sont très vulnérables. Des dispositions doivent être prises pour assurer la régénération à très faible coût, avec la participation

active des populations rurales. Dans les champs riverains, des décisions de protection individuelle des juvéniles sont progressivement prises par les producteurs. Dans ces conditions, la gestion des peuplements de *Sclerocarya birrea* du complexe forestier de Dan Kada Dodo et Dan Gado nécessitera des actions d'enrichissement à travers l'application des contrats de culture.

Références bibliographiques

- Abdourhamane H., Dan Guimbo I., Morou B., Taffa S. M., Mahamane A., 2014. Potential germination and initial growth of *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst., in Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 76: 6433-6443.
- Abdourhamane H., Morou B., Larwanou M., Mahamane A., Saadou M., Bellefontaine R., 2015. Uses and preferences of woody species in two protected forests of Dan Kada Dodo and Dan Gado in Niger. *Journal of Horticulture and Forestry*, 7 (6): 149-159.
- Arbonnier M., 2009. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. MNHN, Éditions Quæ, 576 p.
- Ariori S. L., Ozer P., 2005. Évolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années. *Geo-Eco-Trop*, 29 : 61-68.
- Assogbadjo A. E., 2006. Importance socio-économique et étude de la variabilité écologique, morphologique, génétique et biochimique du baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. Thèse, Ghent University, Faculty of Bioscience Engineering, Belgique, 213 p.
- Barbier N., Couteron P., Lejoly J., Deblauwe V., Lejeune O., 2006. Self-organized patterning as fingerprint of climate and human impact on semi-arid ecosystems. *Journal of Ecology*, 94 (3): 537-547.
- Bationo B. A., Ouedraogo S. J., Somé A. N., Pallo F., Bousim I. J., 2005. Régénération naturelle d'*Isobertia doka* Craib. et Stapf. dans la forêt classée du Nazinon (Burkina Faso). *Cahiers Agricultures*, 14 (3) : 297-304. <http://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/download/30522/30282>
- Belem B., Boussim J. I., Bellefontaine R., Guinko S., 2008. Stimulation du drageonnage de *Bombax costatum* par blessure de racines au Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, 295 (1) : 71-79. http://bft.cirad.fr/cd/BFT_295_71-79.pdf
- Bellefontaine R., 2005. Pour de nombreux ligneux, la reproduction sexuée n'est pas la seule voie : analyse de 875 cas – Texte introductif, tableau et bibliographie. *Sécheresse. Revue électronique*, 3^e, 60 p. http://www.secheresse.info/article.php?id_article=2344
- Bellefontaine R., Gaston A., Petrucci Y., 2000. Management of natural forests of dry tropical zones. *FAO Conservation Guide* n° 32. Rome, Italie, FAO 318 p. <http://www.fao.org/docrep/005/w4442e/w4442e00.htm>
- Bellefontaine R., Malagnoux M., Ichaou A., 2012. Techniques forestières et innovations dans les opérations de reboisement. In : Dia A., Duponnois R. (éds). *La Grande Muraille Verte. Capitalisation des recherches et valorisation de savoirs locaux*. Marseille, France, IRD Éditions, 493 p. (+ cédérom).
- Besag J., 1977. Contribution to the discussion of Dr Ripley's paper. *Journal of the Royal Statistical Society, series B*, 39: 193-195.
- Besag J., Diggle P. J., 1977. Simple Monte Carlo tests for spatial pattern. *Applied Statistics*, 26: 327-333.
- Boyden S., Binkley D., Shepperd W., 2005. Spatial and temporal patterns in structure, regeneration and mortality of an old-growth ponderosa pine forest in Colorado Front Range. *Forest Ecology and Management*, 219: 43-55.
- Diggle P. J., 1983. *Statistical analysis of spatial point patterns*. London, United Kingdom, Academic Press, 148 p.
- Diouf M., Akpo L.-E., Rocheteau A., Do F., Goudiaby V., Diagne A. L., 2002. Dynamique du peuplement ligneux d'une végétation sahéenne au nord-Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Journal des Sciences*, 2 (1) : 1-9.
- Diouf A., Nicolas B., Mahamane A., Lejoly J., Saadou M., Bogaert J., 2010. Caractérisation de la structure spatiale des individus ligneux dans une brousse tachetée au sud-ouest du Niger. *Revue Canadienne de Recherche Forestière*, 40 : 827-835.
- Djossa B. A., Fahr J., Kalko E. K. V., Sinsin B. A., 2008. Land use impact on *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. stand structure and distribution patterns: a comparison of Biosphere Reserve of Pendjari in Atacora district in Benin. *Agroforestry Systems*, 72: 205-220.
- Douma S., Rabi C., Mahamane A., N'da H. D., Saadou M., 2009. État actuel de dégradation des populations de quatre espèces ligneuses fruitières en zone sahélo-soudanienne du Niger : réserve totale de faune de Tamou. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 16 : 191-210.
- Fandohan B., Glèlè Kakaï R., Sinsin B., Pelz D., 2008. Caractérisation dendrométrique et spatiale de trois essences ligneuses médicinales dans la forêt classée de Wari-Marou au Bénin. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 12 : 173-186.
- Fonton N. H., Atindogbe G., Fandohan B., Lejeune P., Ligot G., 2012. Structure spatiale des arbres des savanes boisées et forêts claires soudanaises : implication pour les enrichissements forestiers. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 16 (4) : 429-440.
- Glèlè Kakaï R., Assogbadjo A. E., Sinsin B., Pelz D., 2009. Structure spatiale et régénération naturelle de *Pterocarpus erinaceus* Poir. en zone soudanienne au Bénin. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 13 : 199-212.
- Glèlè Kakaï R. L., Sinsin B., Palm R., 2008. Étude dendrométrique de *Pterocarpus erinaceus* Poir. des formations naturelles de la zone soudanienne au Bénin. *Agronomie Africaine*, 20 (3) : 233-335. doi.org/10.4314/aga.v20i3.46233
- Goreaud F., 2000. Apport de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexes. Thèse de doctorat, Engref, France, tome 1, 370 p.

- Goreaud F., Loreau M., Millier C., 2002. Spatial structure and the survival of an inferior competitor: a theoretical model of neighbourhood competition in plants. *Ecological Modelling*, 158 (1-2): 1-19.
- Gouwakinnou G. N., Kindomihou V., Assogbadjo A. E., Sinsin B., 2009. Population structure and abundance of *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. subsp. *birrea* in two contrasting land-use systems in Benin. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 1 (6): 194-201.
- Gouwakinnou G. N., Lykke A. M., Assogbadjo A. E., Sinsin B., 2011. Local knowledge, pattern and diversity of use of *Sclerocarya birrea*. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7 (8).
- Hountodji Y.-C. H., 2008. Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique, 153 p.
- INS, 2013. Résultats globaux définitifs du quatrième Recensement général de la population et de l'habitat (RGP/H) de 2012. Ministère des Finances du Niger, Institut national de la statistique, 351 p.
- Koura K., Mbaide Y., Ganglo J. C., 2013. Caractéristiques phénotypique et structurale de la population de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. du Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (6) : 2409-2425.
- Morou B., 2010. Impacts de l'occupation des sols sur l'habitat de la girafe au Niger et enjeux pour la sauvegarde du dernier troupeau de girafes de l'Afrique de l'Ouest. Thèse en biologie appliquée, Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des sciences, 198 p.
- Muok B. O., Khumalo S. G., Tadesse W., Alem S., 2011. Conservation et utilisation durable des ressources génétiques des espèces ligneuses alimentaires prioritaires de l'Afrique subsaharienne : *Sclerocarya birrea*, prunier d'Afrique. *Biodiversity International (Saforgen), Inia, Cita*, 12 p.
- Natta A. K., Yédomonhan H., Zoumarou-Wallis N., Houndéhin J., Ewédjé E. B. K., Glèlè Kakaï R. L., 2011. Typologie et structure des populations naturelles de *Pentadesma butyracea* dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *Annales des Sciences Agronomiques*, 15 (2) : 137-152.
- Ouédraogo A., Thiombiano A., Hahn-Hadjali K., Guinko S., 2006. Structure du peuplement juvénile et potentialités de régénération des ligneux dans l'Est du Burkina Faso. *Études de la Flore et de la Végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants*, 10 : 17-24.
- Rabiou H., Inoussa M. M., Bakasso Y., Diouf A., Mamoudou M. B., Mahamane A., *et al.*, 2014. Structure de la population de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir. suivant la toposéquence dans la commune de Simiri (Niger). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 23 (3) : 3657-3669.
- Ripley B. D., 1977. Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society, series B*, 39: 172-212.
- Rondeux J., 1999. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux, Belgique, Presses agronomiques de Gembloux, 522 p.
- Saadou M., 1990. La végétation des milieux drainés nigériens à l'est du fleuve Niger. Thèse, Université de Niamey, Faculté des sciences, Niger, 393 p.
- Shackleton C. M., Botha J., Emanuel P. L., 2003. Productivity and abundance of *Sclerocarya birrea* subsp. *caffra* in and around rural settlements and protected areas of the Bushbuckridge lowveld, South Africa. *Forests, Trees and Livelihoods*, 13 (3): 217-232.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S., Olivier J.-M., 1997. ADE 4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7: 75-83.