

Le parc à karités au Mali : inventaire, volume, houppier et production fruitière

Yves NOUVELLET¹
Amadou KASSAMBARA²
François BESSE³

¹ Cirad département Forêts
Service de coopération et d'action
culturelle (Scac)
Ambassade de France
BP 2105, Libreville
Gabon

² Direction nationale de la
conservation de la nature (Dncn)
BP 275, Bamako
Mali

³ Cirad département Forêts
Campus international de Baillarguet
TA 10/C
34398 Montpellier Cedex 5
France

L'étude présentée s'inscrit dans le cadre de la Stratégie énergie domestique (Sed) du Mali, pour une exploitation raisonnée des ressources forestières afin de prévenir les risques environnementaux et de désertification. Les nombreux critères inventoriés dans quatre sites apportent des informations inédites sur le karité, *Vitellaria paradoxa*. Il en ressort, entre autres, que le houppier a un rôle essentiel, non seulement comme source de bois mais aussi de données très diverses et pertinentes.



Vue panoramique d'un parc à karités.
Photo Y. Nouvellet.

Yves NOUVELLET,
Amadou KASSAMBARA,
François BESSE

RÉSUMÉ

LE PARC À KARITÉS AU MALI : INVENTAIRE, VOLUME, HOUPPIER ET PRODUCTION FRUITIÈRE

Les parcs à karité, *Vitellaria paradoxa*, couvrent plus de 20 millions d'hectares au Mali. Le karité prédomine sur plus de 900 000 ha de terres consacrées aux cultures pluviales annuelles. Les branches élaguées ainsi que les arbres exploités, malgré l'interdiction légale d'exploitation, sont un apport très important de bois d'énergie pour les villages et les grandes villes du pays. L'article propose des outils pour estimer les volumes de bois d'énergie et du houppier et la production fruitière. La zone étudiée se situe dans la zone soudano-sahélienne, où la pluviosité annuelle est comprise entre 600 et 1 400 mm. La densité des karités de plus de 20 cm de circonférence à la base dans les sites étudiés (Badougou, Massala, M'Péresso et Ténéfina) oscille entre 8 et 22 arbres à l'hectare dans les parcs arborés et entre 4 et 50 arbres dans les jachères. Les tarifs de cubage et équations qui donnent le volume total du bois et le volume du houppier en fonction de la circonférence à 1,30 m s'avèrent satisfaisants, il en est de même pour le volume total de bois en fonction de la projection au sol du houppier. Un arbre moyen produit 111 kg de fruits mûrs, dont 51 kg de noix. Ces résultats complètent les études publiées sur les jachères et seront utiles pour la révision des schémas directeurs d'approvisionnement en bois d'énergie des principales villes du Mali ainsi que pour le suivi environnemental et les études de séquestration du carbone de la zone soudano-sahélienne.

Mots-clés : parc, jachère, *Vitellaria paradoxa*, karité, tarif de cubage, masse volumique du feuillage, bois d'énergie, fruit, suivi environnemen-
tal, Mali.

ABSTRACT

SHEA TREE ORCHARDS IN MALI: INVENTORY, VOLUME, CROWN AND FRUIT PRODUCTION

Mali's shea tree orchards, *Vitellaria paradoxa*, cover more than 20 million hectares. Shea trees are a dominant feature across more than 900 000 ha of rain-fed annual crops. Cutting branches or felling trees, despite a legal ban, are an important source of fuelwood for the country's villages and large towns. This article describes tools that could be used to estimate the volume of shea tree crowns and their potential fuelwood and fruit production. The study area is in the Sahelian zone in Mali where annual rainfall varies from 600 to 1 400 mm. In the study sites (Badougou, Massala, M'Peresso and Ténéfina), the density of shea trees larger than 20 cm in circumference at the base varies from 8 to 22 trees per hectare in tree savannah, and from 4 to 50 trees in fallow lands. The tree volume tables and equations used to obtain the total volume of wood and the volume of the crown, based on circumference at a height of 1.30 m, have proved satisfactory. The same is true for calculations of the total volume of wood based on the projection of the crown on the ground. An average tree produces 111 kg of mature fruit, including 51 kg of shea nuts. These results are additional to published studies on fallow lands and will provide useful input for revising the fuelwood supply masterplans for Mali's major towns as well as for environmental monitoring and studies on carbon sequestration in Mali's Sahelian zone.

Keywords: orchard, fallow, *Vitellaria paradoxa*, shea, tree volume table, mass density of foliage, fuelwood, fruit, environmental monitoring, Mali.

RESUMEN

PARQUES DE BUTIROSPERMOS EN MALÍ: INVENTARIO, VOLUMEN, COPA Y PRODUCCIÓN FRUTAL

Los parques de butirospermos, *Vitellaria paradoxa*, cubren más de 20 millones de hectáreas en Malí. El árbol de la manteca predomina en más de 900 000 ha de tierras dedicadas a cultivos anuales de secano. Las ramas podadas y los árboles explotados, a pesar de la prohibición legal de explotación, representan un aporte muy importante de leña para los pueblos y las grandes ciudades del país. El artículo presenta instrumentos para evaluar los volúmenes de leña y de la copa y la producción frutal. La zona estudiada se sitúa en la zona sudano-saheliana, en donde la pluviosidad anual oscila entre 600 y 1 400 mm. La densidad de los butirospermos de más de 20 cm de diámetro basal en las zonas estudiadas (Badougou, Massala, M' Péresso y Ténéfina) varía entre 8 y 22 árboles/ha en los parques arbolados y entre 4 y 50 árboles en los barbechos. Las tablas de cubicación y las ecuaciones que facilitan el volumen total de madera y el volumen de la copa en función del diámetro a 1,30 m de altura resultan satisfactorias, lo mismo ocurre con el volumen total de madera en función de la proyección en el suelo de la copa. Un árbol medio produce 111 kg de fruta madura, con 51 kg de nueces. Estos resultados completan los estudios publicados sobre los barbechos y serán útiles para la revisión de los planes directores de suministro de leña de las principales ciudades de Malí, así como para el seguimiento ambiental y los estudios de secuestro del carbono de la zona sudano-saheliana.

Palabras clave: parque, barbecho, *Vitellaria paradoxa*, butirospermo, tabla de cubicación, densidad volumétrica del follaje, leña, fruta, seguimiento ambiental, Malí.

Le contexte

Le karité, *Vitellaria paradoxa* Gaertner F., de la famille des sapotacées, est aussi connu sous le synonyme *Butyrospermum parkii* (G. Don) Kotschy. C'est probablement l'arbre le plus répandu dans les parcs arborés en zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest (BREMEN, KESSLER, 1995). Il s'agit d'un « arbre utile » qui produit un corps gras, appelé beurre de karité, notamment riche en acide stéarique. Ce beurre, produit à partir de la noix, est fort apprécié et consommé par les populations et fait, en outre, l'objet d'exportations pour la production de cosmétiques et en tant que complément au beurre de chocolat.

Les parcs agroforestiers à *V. paradoxa* du Mali se situent au sud de la ligne qui relie Bafoulabé, Ségou et Bandiagara, et couvrent une aire de distribution estimée à 22,9 millions d'hectares (MAÏGA, 1990). Il est possible de considérer qu'au sein de son aire malienne le karité prédomine sur 943 000 ha de terres consacrées aux cultures pluviales annuelles (RUYSSEN, 1957).

Au Mali, les parcs agroforestiers occupent environ 90 % des terres agricoles (DJIMDÉ, 1990) et on estime que ce système concerne 2,5 millions de personnes sur le plateau Mandingues, celui de Koutiala, ainsi que dans les zones du moyen Bani-Niger, du haut plateau Dogon, du Séno, du Goudo, du BéléDougou, du Wénia, du Falo et du delta occidental mort.

Le karité est présent dans les savanes et les terres cultivées où les précipitations annuelles varient de 600 à 1 400 mm, l'évaporation potentielle de 1 400 à 2 300 mm et la période sèche de 5 à 7 mois. *V. paradoxa* (YOSSI, KOUYATÉ, 2001) est protégé par le code forestier en raison de sa valeur sociale, économique et écologique. En moyenne, 60 000 tonnes d'amandes sont commercialisées chaque année, alors que son potentiel de production serait de l'ordre de 661 000 tonnes (CECI, 1994).

D'après BOFFA (2000), la densité moyenne dans les parcs agroforestiers du Mali varie de 4 arbres à

l'hectare à 120 km au nord de Bamako à 8 arbres dans le sud-est près de Sikasso et de 8 à 12 arbres dans les villages de Pourou, Guétéla et N'tossoni (sud), alors que dans la zone d'étude elle est de 2 individus à Cinzana, 18 à Fana, 4 à Kougnana, 19 à Négala et 52 à Ouéllessebougou (tableau I).

Au Mali, le bois énergie (bois de feu et charbon de bois, essentiellement utilisés pour la cuisson des aliments, la cuisson des poteries et le chauffage en période froide) fournit 90 % de l'énergie consommée dans les centres urbains. Le bois sec, autrefois combustible principal, est maintenant supplanté par le charbon de bois dans les agglomérations.

Afin d'éviter une crise du bois de feu, le Mali développe depuis 1996 la Stratégie énergie domestique (Sed), une politique énergétique qui vise notamment à organiser le marché du bois en équilibrant au mieux l'offre et la demande. L'État souhaite ainsi, par une exploitation raisonnée des ressources, prévenir les risques environnementaux et de désertification.

L'essentiel du bois est exploité dans le domaine forestier¹ mais un fort prélèvement est aussi constaté dans le domaine agricole, notamment dans les parcs arborés.

Le Cirad, dans le cadre du projet intitulé « *Improved management of agroforestry parklands systems in sub saharan Africa* », centré sur le karité (*Vitellaria paradoxa*) et le néré

(*Parkia biglobosa* Jacq. R.Br. ex-Don), intervenait sur la composante « *indigenous management technique of farmed parklands* » et comme leader pour la composante « étude de la diversité génétique du karité ».

Des modèles mathématiques ont été élaborés afin de déterminer la productivité des peuplements forestiers (CLÉMENT, 1982 ; SYLLA, NOUVELLET, 2001) pour les parcs qui contribuent largement à l'approvisionnement des populations en combustibles ligneux.

Il est donc apparu nécessaire, pour la Sed du Mali, de disposer d'informations fiables en vue de l'estimation du volume « bois énergie » du karité, dans l'ensemble des parcs et des jachères du pays.

Un accord de collaboration a été passé entre l'Institut d'économie rurale et la Stratégie énergie domestique pour décrire les peuplements et suivre la production des karités dans quatre villages répartis sur la zone couverte par les parcs à karité : Ténéfina (TRAORÉ, 1999), Badougou (GUINDO, 1999), Massala (THIAM, 1999) et M'Péresso (DEMBÉLÉ, 1999). Les premiers résultats obtenus font l'objet de cet article.

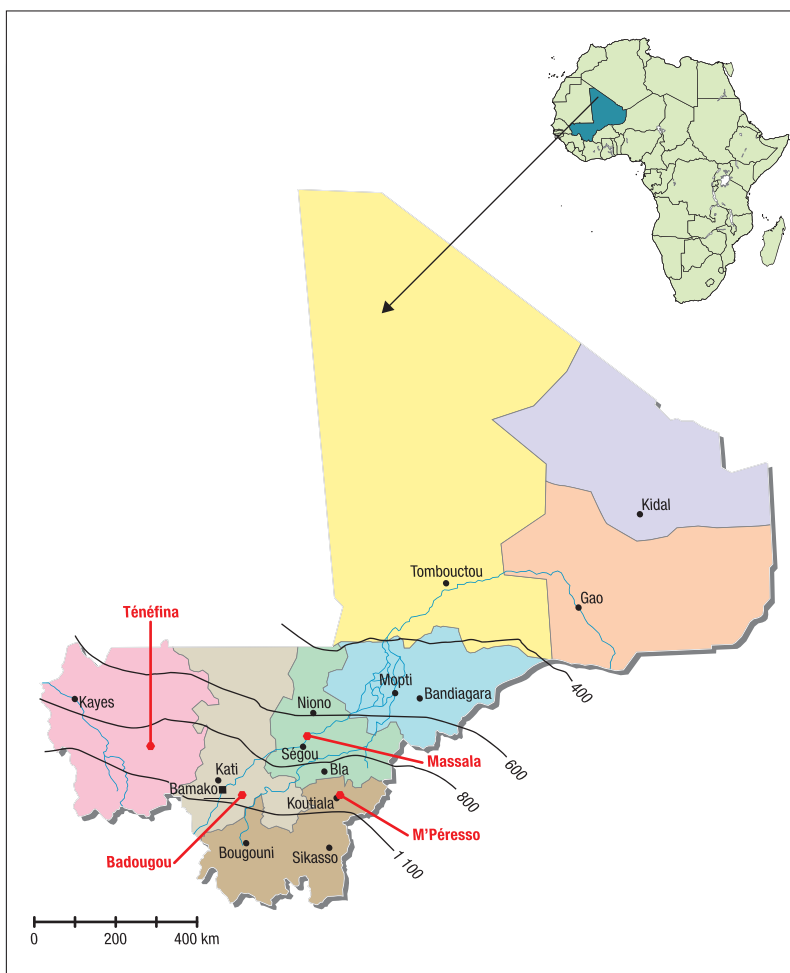
¹ Le domaine forestier national comprend les terrains dont les produits exclusifs ou principaux sont le bois d'œuvre, le bois de service, le bois de feu, les terres à vocation forestière, boisées ou non, les terrains soustraits au défrichement pour des raisons de protection, les jachères anciennes de 10 ans et plus, les bois sacrés et les lieux protégés dans un but socio-religieux. Loi n° 95-004 du 18 janvier 1995.



Fruits de karité.
Photo D. Louppe.

Tableau I.
Densité moyenne par hectare de *Vitellaria paradoxa*
(circonférence ≥ 10 cm à 1,30 m de hauteur), selon la classe d'âge
et les sites (NOUVELLET *et al.*, 2003).

Age (ans)	Cinzana	Kougnana	Négala	Fana	Ouéllessebougou
0-5	5	4	16	22	35
6-10	3	3	14	37	41
11-15	0	8	20	6	59
16-20	3	3	15	21	72
> 21	0	1	29	11	55
Moyenne	2	4	19	18	52



Carte 1.
Situation des quatre sites d'étude au Mali.

Zone d'étude

La zone d'étude est située entre 12° et 13° de latitude nord et 5° et 9° de longitude ouest ; elle est baignée par le fleuve Niger et son affluent principal le Bani (carte 1).

Elle concentre une population importante, principalement dans les villes de Bamako (plus d'un million d'habitants), Ségou (91 000 habitants) et Koutiala (74 000 habitants), qui s'approvisionnent en combustible ligneux dans l'ensemble de cette zone. La population rurale pratique principalement l'agriculture (coton, sorgho, mil...), l'élevage (bovins, ovins et caprins), la pêche dans les deux grands cours d'eau, l'exploitation du bois, la production de charbon de bois, l'artisanat et le commerce.

Le climat est de type soudano-sahélien à soudano-guinéen, caractérisé par une courte saison humide et une longue saison sèche. La pluviométrie annuelle varie de 600 à 1 400 mm.

Badougou

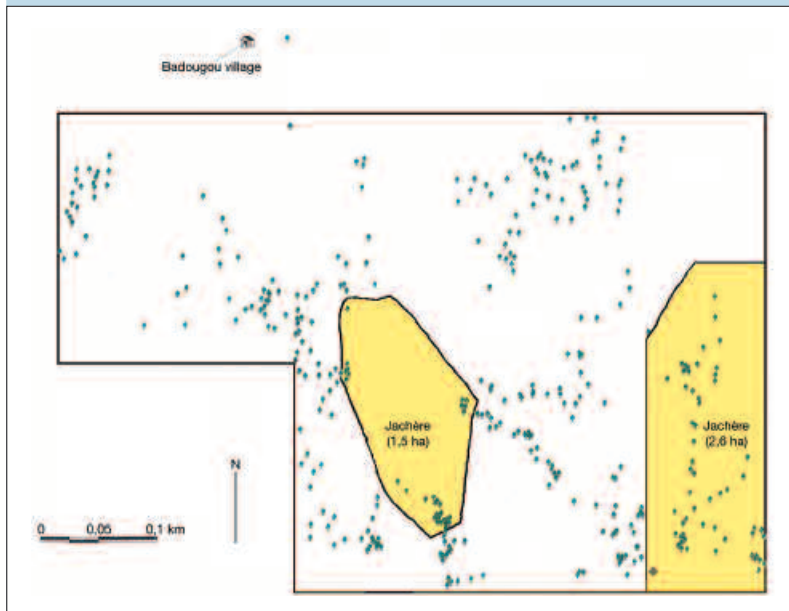
Le village de Badougou est situé à 4 km du Sankarani, affluent important de la rive droite du Niger dans l'arrondissement de Yanfolila, au sud-ouest du Mali, près de la frontière de Guinée. La pluviométrie varie de 900 à 1 200 mm selon les années.

Le relief est accidenté et irrégulier, le drainage est déficient et les surfaces des cultures réduites. Les sols gravillonnaires et les glacis d'épandage couvrent des surfaces importantes.

Il s'agit d'un parc clair avec quelques *P. biglobosa*, de nombreux manguiers greffés et des agrumes (citronniers et orangers) (carte 2). Les cultures principales sont, par ordre décroissant, le maïs, le coton, le riz pluvial et l'arachide.

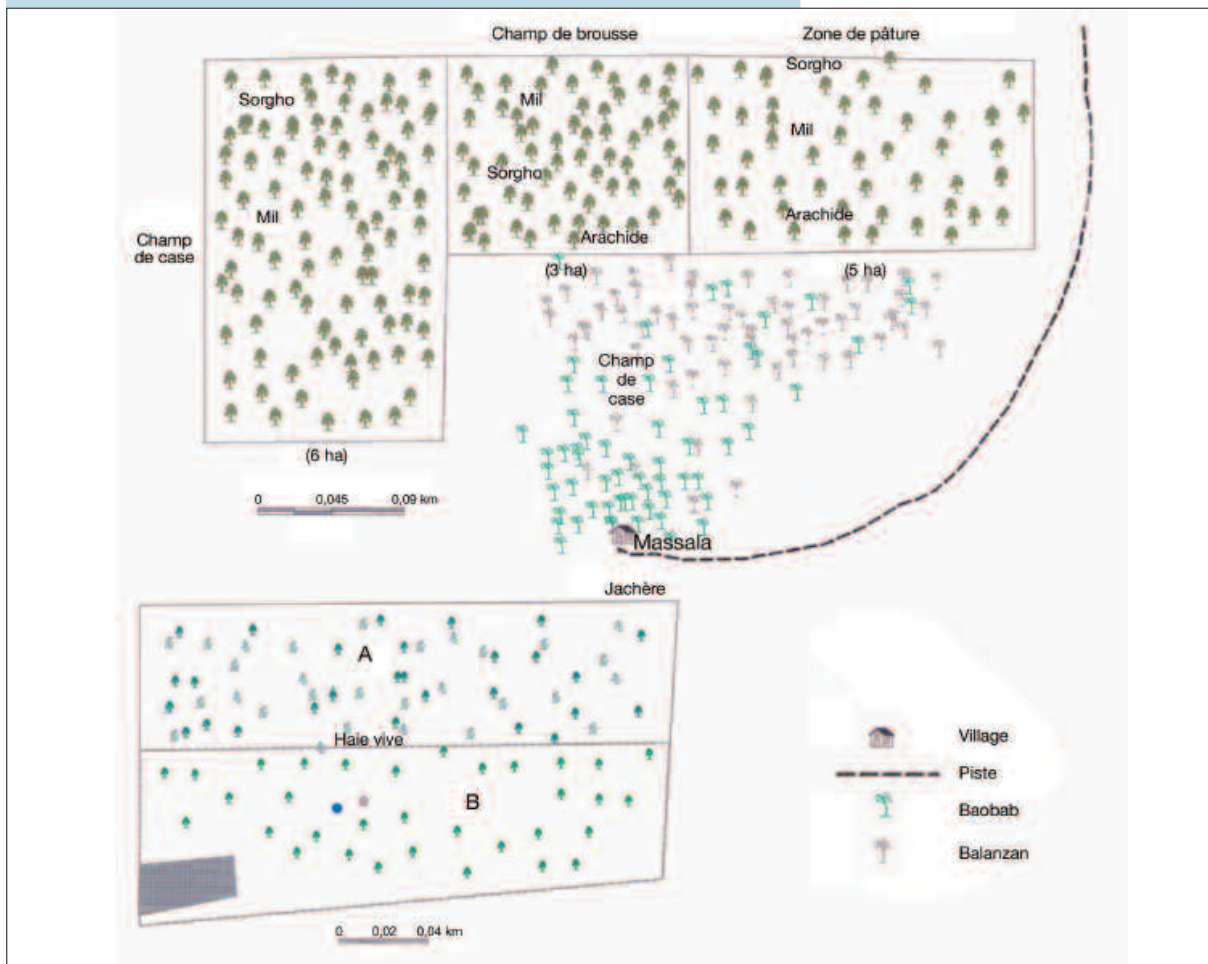
Massala

Le village se trouve dans l'arrondissement de Ségou (pluviométrie annuelle de 600 à 800 mm), à 30 km à l'ouest de Ségou, à 7 km au nord de



Carte 2.
Cartographie des karités du site de Badougou.

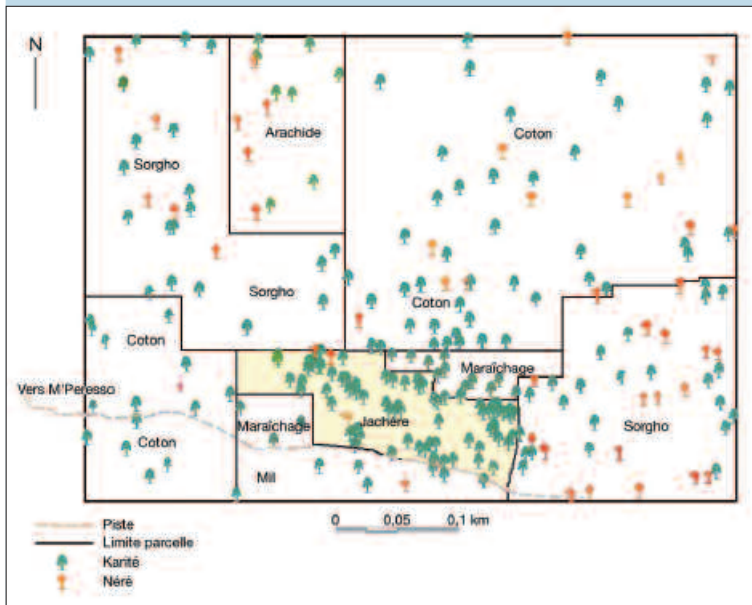
Carte 3.
Cartographie des karités du site de Massala.



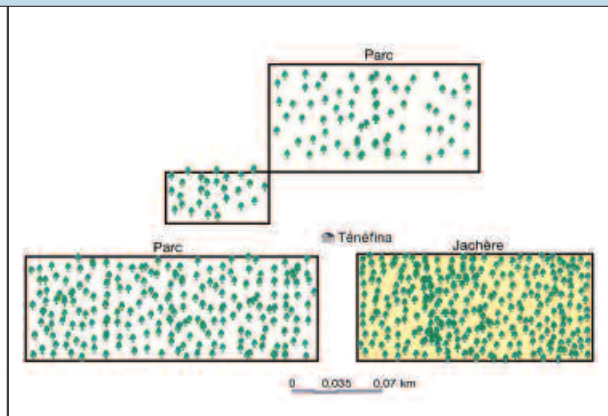
la route nationale Bamako-Ségou. Les sites d'étude sont situés dans un très grand parc à balazan (*Faidherbia albida*), avec une forte présence de baobab (*Adansonia digitata*). On y pratique une culture de subsistance (absence d'une culture de rente) avec mil-sorgho, arachide, niébé et riz de bas-fond.

M'Péresso

Le site est localisé à 20 km de Koutiala (pluviosité annuelle comprise entre 800 et 900 mm), dans l'est du Mali ; c'est la zone cotonnière la plus ancienne du pays (carte 4). Le coton qui constitue la principale source de revenus est cultivé par 90 % des exploitants agricoles. Le maïs, le sorgho et l'arachide sont les cultures complémentaires. Les noix de karité et les fruits de néré représentent la principale source de revenus des femmes minyanka qui assurent la récolte.



Carte 4.
Cartographie des karités et nérés du site de M'Péresso.



Carte 5.
Cartographie des karités du site de Ténéfina.

Ténéfina

Ténéfina (pluviosité annuelle comprise entre 900 et 1 200 mm) est situé à l'ouest de Bamako, sur l'axe Bamako-Kita, à 25 km de Négala. C'est une région de colonisation récente où se pratiquent un grand nombre de cultures : sorgho, mil, arachide, ainsi que le coton qui commence à être cultivé dans cette région (carte 5).

Méthodologie

Inventaire des arbres

Sur chacun des sites, l'inventaire décrit les arbres dans leur unité de gestion : parcelle de parcs et de jachères. La surface est de l'ordre de 20 ha pour chacun des quatre sites et elle peut être éclatée en blocs distincts pour tenir compte de la spécificité de certaines zones (présence d'une seule espèce, zone cultivée ou jachères...).

Un inventaire total de l'ensemble des arbres est réalisé en mesurant la circonférence à la base (≥ 20 cm) et à 1,30 m (≥ 10 cm).

Paramètres

Il est nécessaire de disposer d'une base de références pour l'estimation du volume des parcs ou jachères à *V. paradoxa*. Le protocole prévoit un minimum de 100 arbres par site. Le choix des arbres est déterminé selon l'échantillonnage suivant : un tiers d'arbres dont la circonférence à 1,30 m est comprise entre 31,4 et 94 cm, un tiers d'arbres dont le diamètre est compris entre 94 et 220 cm et un tiers d'arbres dont la circonférence est supérieure ou égale à 220 cm.

Pour chaque *V. paradoxa* étudié, ont été mesurées : la circonférence du tronc à la base, à 1,30 m et au sommet du fût, la projection du houppier², la hauteur totale et la hauteur du fût jusqu'à la première grosse branche et, pour chaque branche, la circonférence à la base, la longueur jusqu'à l'extrémité, la longueur du dernier billon jusqu'à 10 cm de circonférence (figure 1).

² Le taux de recouvrement est défini comme la proportion de sol couverte par la projection verticale des couronnes feuillées de la végétation ligneuse. La méthode consiste à mesurer deux diamètres perpendiculaires de la couronne (axe nord-sud, axe est-ouest) en se plaçant simplement à la verticale de la frange de couronne feuillue. La projection de la couronne au sol est alors estimée par le calcul de la surface de l'ellipsoïde correspondant aux deux axes. Cette méthode a été retenue pour simplifier le travail des stagiaires, ce choix étant loin d'être parfait car il peut entraîner un biais.

Les formules de calcul utilisées (toutes les unités sont en mètres) sont les suivantes.

La formule de Smalian a été retenue pour le cubage du fût et des branches ; elle part de l'hypothèse que le fût de l'arbre à cuber s'assimile à un tronc de parabolioïde estimé par :

$$V = (h/8\pi) \cdot (C_0^2 + C_f^2)$$

avec : V = volume (en m^3) ;

h = longueur totale du fût ou de la branche ;

C_0 = circonférence à la base du fût ou de la branche ;

C_f = circonférence finale du fût ou de la branche.

Le calcul exact de la surface extérieure et du volume du houppier d'un arbre est en principe impossible (ASSMANN, 1970). Il convient, dans ces conditions, de procéder par approximation en mettant à profit les mesures directement réalisables que sont la hauteur et le diamètre du houppier et en appliquant la formule :

$$S = [\pi(d_1 \cdot d_2)]/4$$

avec : S = surface du houppier au sol (en m^2) ;

d^1 = diamètre au sol du houppier nord-sud ;

d_2 = diamètre au sol du houppier est-ouest.

Si le houppier est assimilé à un cône, son volume est donné par la formule :

$$H_v = [(\pi \cdot h) / 12] \cdot [D_1^2 + D_2^2 + (D_1 \cdot D_2)]$$

avec : H_v = volume de houppier (en m^3) ;

h = hauteur du houppier = hauteur totale de l'arbre moins la hauteur du fût ;

D_1 = diamètre du fût à la base de la première branche (base du houppier) ;

D_2 = diamètre à la section finale du houppier calculé à partir des diamètres d_1 et d_2 du houppier dans les directions est-ouest et nord-sud.

Cette formule sous-estime la réalité, alors que, si le houppier était assimilé à une demi-sphère, on sur-estimerait le volume réel (RONDEUX, 1993). Les estimations liées à la méthode de calcul ne seront comparables avec d'autres espèces que dans des conditions de mesure identiques.

La somme des volumes de toutes les branches et du fût a permis la détermination du volume total bois de l'arbre. Les mesures réalisées par « grimpage » ont exigé un travail de terrain très important. Des estimations dendrométriques sont possibles, mais il faudrait abattre les arbres, séparer les divers composants puis peser et sécher. Faute de pouvoir exécuter ce travail, le volume qui a été estimé est inférieur au volume réel des karités en raison de la forme variable des arbres.



Rejets de jeune karité détruit par le feu.
Photo D. Louppe.

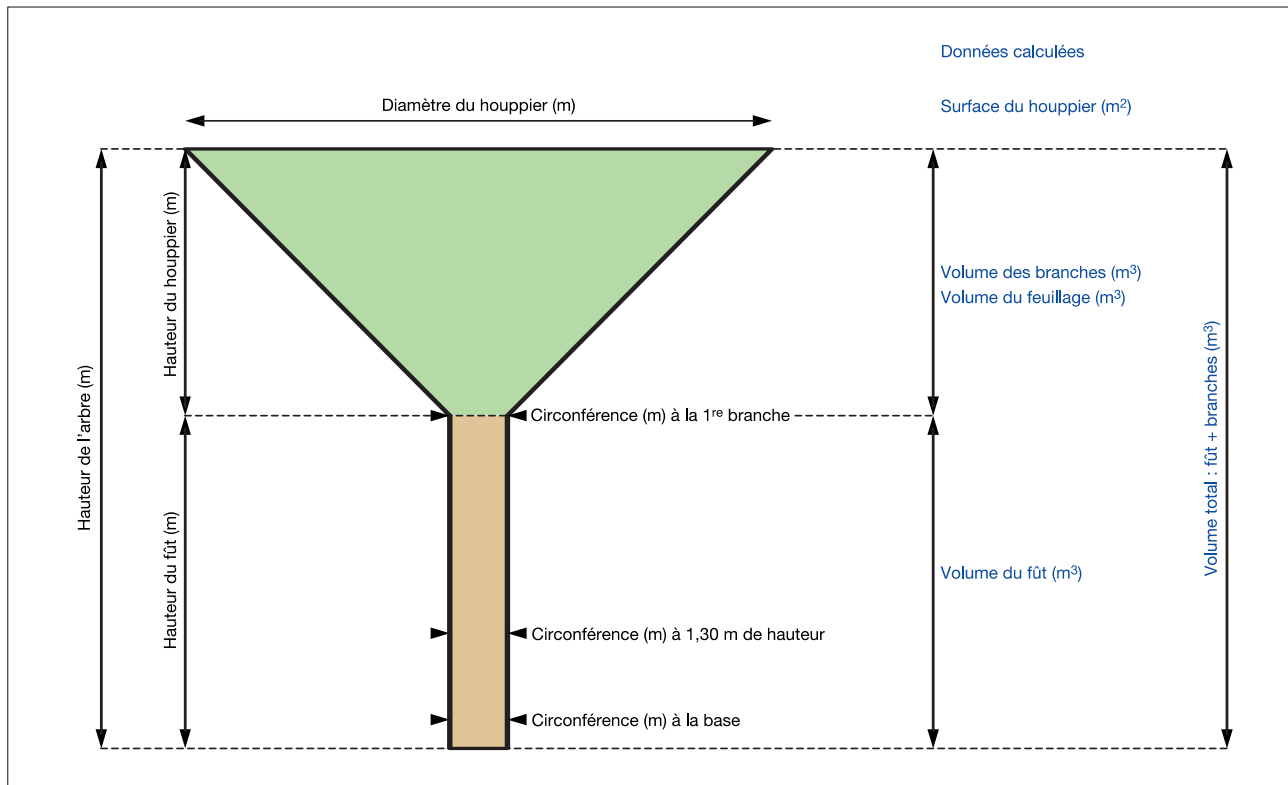
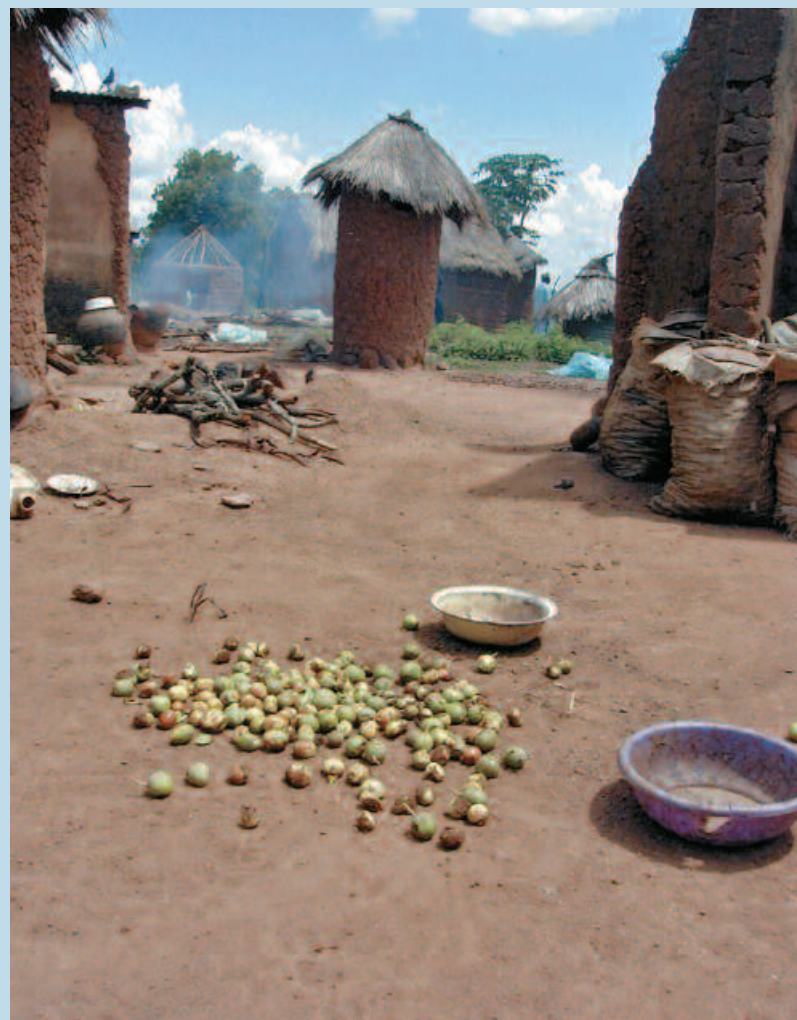


Figure 1.

Paramètres mesurés sur *Vitellaria paradoxa* dans les parcs et jachères.



Karités dans un champ d'arachide.
Photo D. Louppe.



Récolte du jour de fruits de karité.
Photo D. Louppe.

Production fruitière

La récolte a porté sur au moins 25 arbres par site. Les arbres ont été choisis selon l'intérêt que leur portent les villageois (grosesse des fruits, qualité gustative et production de beurre), ainsi que sur cinq arbres témoins non sélectionnés. Les fruits sont pesés chaque jour, avant toute transformation ; la donnée porte donc sur un poids de fruits frais complets par arbre. Chaque récolte est identifiée afin de peser les mêmes fruits après dépulpage correspondant au poids de noix fraîche. Les relevés débutent en principe dès la première récolte effectuée et se poursuivent durant quatre à cinq semaines, durée de la période de récolte significative sur le plan quantitatif. La période d'observation s'étale sur trois mois et demi pour prendre en compte les productions précoces et tardives.

Résultats d'inventaire

Badougou

Une trentaine d'espèces ont été recensées dans les parcs et jachères de Badougou (tableau II), ce qui caractérise un parc récent et des terres agricoles encore disponibles pour une population peu dense.

Le karité est l'essence la plus abondante du parc, suivie par les agrumes, le néré et le manguiers. Par ailleurs, le néré et le karité sont les deux espèces principales de la jachère.

Massala

La région de Massala est fortement peuplée depuis de longues années avec une disponibilité en terre de plus en plus restreinte. Tout

l'espace agricole est cultivé, ce qui ne laisse plus de place pour un parc multi-essence comme celui de Badougou.

Le parc est dominé par le karité et quelques figuiers et tamariniers. Un seul pied de néré est présent au côté des karités au sein de la jachère (tableau III).

M'Péresso

La région, et plus particulièrement M'Péresso, est la plus ancienne zone de culture du coton du Mali, l'espace agricole est entièrement cultivé et la population très dense. Seuls les karités et les nérés ont été mesurés (tableau IV). On note la présence d'essences pionnières telles que *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulata*..., celles-ci, de petite taille, étant exploitées annuellement comme bois de feu avant chaque mise en culture.

Ténéfina

À Ténéfina, il s'agit d'un jeune parc multi-essence, le karité se trouvant en mélange avec 50 autres espèces dont les plus abondantes sont *Piliostigma* sp., *Terminalia* sp. et *Lannea* sp. (tableau V). Les jachères sont dominées également par le karité, *Lannea* sp., *Terminalia* sp...

Approche comparative

Dans les sites de Massala et de M'Péresso installés dans des régions à forts peuplements humains, l'occupation de l'espace par l'agriculture est totale et les parcs et jachères sont caractérisés par la présence du karité auquel s'associent quelques rares autres arbres de parc (néré ou ficus).

Badougou et Ténéfina sont des zones de colonisation récente ; les cultures sont associées à de nombreuses espèces et le karité n'est pas toujours dominant (Ténéfina).

Le karité représente environ 80 % du peuplement à Massala et à M'Péresso. En effet, il s'agit de deux

Tableau II.
Inventaire total du site de Badougou.

Espèces	Parcs (15,9 ha)					Jachères (4,1 ha)				
	Nombre d'individus	Circonférence moyenne à 1,30 m (m)		Hauteur moyenne (m)		Nombre d'individus	Circonférence moyenne à 1,30 m (m)		Hauteur moyenne (m)	
		c	Écart-type	h	Écart-type		c	Écart-type	h	Écart-type
<i>Acacia dudgeoni</i> Craib ex-Hall						1	0,24		4,00	
<i>Azelia africana</i> Smith ex-Pers.						1	1,26		7,00	
<i>Bombax costatum</i> Pellegr.	3	0,73		6,17						
<i>Cassia sieberana</i> DC.	1	0,59		8,00						
<i>Citrus</i> spp.	87	0,57	0,18	4,78	0,81					
<i>Cola cordifolia</i> (Cav.) R. Br.						1	2,15		14,00	
<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex-DC.						2	0,41		5,25	
<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. & Dalz.						3	0,97		9,33	
<i>Detarium microcarpum</i> Guill. & Perr.	1	1,60		10,00						
<i>Dicrostachys cinerea</i> (Linn.) Wight & Arn.	2	29,00		5,00						
<i>Entada africana</i> Guill. & Perr.	1	0,18		4,00						
<i>Ficus sur</i> Forssk.	3	0,39		4,67						
<i>Isobertinia doka</i> Craib & Stapf	7	0,59		6,07		5	0,65		7,2	
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	6	2,68		14,50		2	1,88		12,75	
<i>Lannea acida</i> A. Rich.	5	0,61		7,10		2	0,97		8,5	
<i>Lannea microcarpa</i> Engl. & K. Krause	10	0,54	0,33	5,62	2,58	4	0,81		7,25	
<i>Mangifera indica</i> L.	31	0,75	0,45	5,46	2,35					
<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	48	1,26	0,78	8,87	3,34	20	1,08	0,51	10,09	3,19
<i>Pericopsis laxiflora</i> Benth. ex-Bak.						1	0,68		6,00	
<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	1	27,00		4,50						
<i>Piliostigma thonningii</i> (Schum.) Milne-Redhead	1	0,33		7,00						
<i>Prosopis africana</i> (Guill. & Perr.) Taub.	4	1,15		7,75		4	1,17		8,00	
<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	3	0,64		7,00						
<i>Sarcocephalus latifolius</i> (Smith) Bruce	1	0,67		6,00						
<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst.	1	1,03		7,50						
<i>Tamarindus indica</i> Linn.						1	0,8		8,00	
<i>Terminalia avicennioides</i> Guill. & Perr.	2	0,62		7,75		2	0,27		4,00	
<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn. F.	141	0,97	0,49	8,15	2,23	12	0,8	0,49	7,58	3,05
<i>Vitex simplicifolia</i> Oliv.	1	0,24		2,60						
<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i> (Lam.) Waterman	1	0,25		6,00						
Inconnu	2	0,57		7,25		3	0,93		10,00	
Total	363	0,87	0,59	7,06	2,81	64	0,94	0,50	8,56	3,13

Tableau III.
Inventaire du site de Massala.

Espèces	Parcs (14 ha)					Jachères (6 ha)				
	Nombre d'individus	Circonférence moyenne à 1,30 m (m)		Hauteur moyenne (m)		Nombre d'individus	Circonférence moyenne à 1,30 m (m)		Hauteur moyenne (m)	
		c	Écart-type	h	Écart-type		c	Écart-type	h	Écart-type
<i>Cordylla pinnata</i> (Lepr. ex-A. Rich.) Milne-Redhead	1	0,84		8,30						
<i>Ficus sycomorus</i> Linn.	1	1,05		10,20						
<i>Ficus platyphylla</i> Dell.	7	1,24		9,74						
<i>Parkia biglobosa</i>	2	2,58		21,59		1	3,37		21,20	
<i>Tamarindus indica</i>	4	2,33		9,94						
<i>Vitellaria paradoxa</i>	305	1,06	0,36	10,21	2,91	29	0,69	0,47	6,33	3,98
Total	320	1,08	0,40	10,26	3,00	30	0,78	0,66	6,82	4,33

Tableau IV.
Inventaire du site de M'Péresso.

Espèces	Parcs (14 ha)					Jachères (14 ha)				
	Nombre d'individus	Circonférence moyenne à 1,30 m (m)		Hauteur moyenne (m)		Nombre d'individus	Circonférence moyenne à 1,30 m (m)		Hauteur moyenne (m)	
		c	Écart-type	h	Écart-type		c	Écart-type	h	Écart-type
<i>Vitellaria paradoxa</i>	146	1,32	0,63	9,27	2,50	63	1,19	0,34	7,41	2,10
<i>Parkia biglobosa</i>	46	1,48	0,51	10,92	2,64	4	1,01		9,56	
Total	192	1,36	0,50	9,66	2,57	67	1,18	0,35	8,54	2,14

parcs pauci-spécifiques intensément cultivés où seuls les karités et les nérés sont préservés ; les autres espèces ont disparu pour laisser la place aux cultures de rente (coton et maraîchage) et aux cultures alimentaires (mil et sorgho). Pour ce qui est des sites de Badougou et Ténéfina, la densité de karité au sein des peuplements est respectivement de 40 % et 10 % ; ce sont des régions de colonisation où les terres sont disponibles avec un système de culture peu intensif conservant de nombreuses espèces ligneuses dans les champs.

La population de karités est représentée par classes de circonférence en pourcentage de la population totale du karité (figure 2).

Les parcs de Badougou et de Massala ont des populations de karités matures avec des distributions normales, alors que les karités matures sont peu présents dans la classe de circonférence 64-94 cm de M'Péresso et Ténéfina. En revanche, dans les jachères, la majorité des individus sont présents dans les quatre premières classes, ce qui indique un peuplement jeune en cours de construction.

Mesure et cubage des karités

Les mesures pour le cubage ont été réalisées par grimpage, sans abattage, et n'ont porté que sur une partie des arbres présents dans les quatre sites (voir Méthodologie) (tableau VI). Le choix effectué par les quatre équipes est naturellement subjectif, mais cette campagne de mesures apporte toutefois, pour le Mali, les premiers résultats dendrométriques sur cette espèce.

Tableau V.
Inventaire du site de Ténéfina.

Espèces	Parcs (14 ha)			Jachères (6 ha)		
	Nombre d'individus	Circonférence moyenne à 1,30 m (m)	Écart-type	Nombre d'individus	Circonférence moyenne à 1,30 m (m)	Écart-type
<i>Acacia ataxacantha</i> DC.	20	19,00		1	18,00	
<i>Acacia macrostachya</i> Reichenb. ex-Benth.	87	12,40	0,49	25	20,00	
<i>Acacia nilotica</i> (Linn.) Willd. ex-Del.	13	13,00				
<i>Azelia africana</i>				1	33,00	
<i>Albizia chevalieri</i> Harms	173	11,97	0,18	5	17,20	0,45
<i>Annona senegalensis</i> Pers.	54	14,00		41	32,00	
<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC.) Guil. & Perr.				2	10,00	
<i>Bombax costatum</i>	16	13,00		14	38,00	
<i>Borassus aethiopicum</i> Mart.	6	13,00				
<i>Bridelia ferruginea</i> Benth.	2	13,00				
<i>Burkea africana</i>				2	17,00	
<i>Combretum glutinosum</i>	23	19,00		75	17,00	
<i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex-Guill. & Perr.	36	19,00		10	36,00	
<i>Combretum</i> spp.				50	22,00	
<i>Daniellia oliveri</i>	2	21,00		12	17,00	
<i>Detarium microcarpum</i>	32	20,00		65	30,00	
<i>Dichrostachys cinerea</i>	235	19,39	0,49	50	18,00	
<i>Dombeya quinqueseta</i> (Del.) Exell	59	20,85	0,36	1	78,00	
<i>Entada africana</i>	28	21,00		45	16,00	
<i>Feretia apodanthera</i> Del.				3	26,00	
<i>Ficus sur</i>	2	21,00	0,47			
<i>Ficus sycomorus</i>	18	21,67		4	26,00	
<i>Gardenia erubescens</i> Stapf 1 Hutch.	14	22,00		2	17,00	
<i>Gardenia ternifolia</i> Schum.				3	26,00	
<i>Grewia bicolor</i> Juss.	19	22,00				
<i>Grewia venusta</i> Fresen.	1	22,00		4	23,00	
<i>Heeria insignis</i>	2	22,00		11	39,00	
<i>Isobertina doka</i>	106	23,68	0,64			
<i>Lanea microcarpa</i>	45	24,18	0,38	61	78,00	
<i>Lanea velutina</i> A. Rich.	117	27,51	1,90	145	21,52	1,95
<i>Lonchocarpus laxiflorus</i> Guill. & Perr.	1	24,00				
<i>Oxytenanthera abyssinica</i> (A. Rich.) Munro	5	30,00				
<i>Ozorea insignis</i> Del.				18	18,00	
<i>Piliostigma reticulatum</i>	4	16,00		8	18,00	
<i>Piliostigma thonningii</i>	408	17,64	0,64	56	28,00	
<i>Pseudocedrela kotschy</i> (Scheinf.) Harms	1	32,00				
<i>Pteleopsis suberosa</i> Engl. & Diels	2	32,00				
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	66	30,86	0,97	18	28,00	
<i>Sarcocephalus latifolius</i>	5	32,00		2	29,00	
<i>Sclerocarya birrea</i>	13	30,00				
<i>Securidaca longepedunculata</i> Fresen	24	32,00		1	44,00	
<i>Sterculia setigera</i> Del.	1	32,00				
<i>Tamarindus indica</i>				1	84,00	
<i>Terminalia avicennioides</i> Guill. & Perr.	42	34,40	1,59	134	24,00	
<i>Terminalia macroptera</i> Guill. & Perr.	408	48,16	7,61	101	20,00	
<i>Trichilia emetica</i> Vahl	1	36,00		1	66,00	
<i>Vitellaria paradoxa</i>	303	14,36	0,53	298	69,30	36,64
<i>Vitex doniana</i> Sweet	2	61,00		5	36,00	
<i>Ximenia americana</i> Linn.	20	61,00		10	32,00	
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	351	131,60	60,24	11	29,00	
Inconnu	87	61,31	0,46	14	33,14	16,20
Total	2 854	38,63	42,90	1 310	36,47	28,00



Fruits murs de karité.
Photo D. Louppe.

La circonférence moyenne des karités des parcs est de 1,16 m (CV de 46 %) et celle des jachères de 0,64 m (CV de 45 %), le volume moyen des individus est de 1,33 m³ (CV de 170 %) dans les parcs et 0,26 m³ (CV de 126 %) dans les jachères, avec des différences marquées suivant les sites d'étude.

La surface et le volume des houppiers situés dans les parcs ou les jachères sont liés au site d'étude, avec des variabilités importantes dans les jachères de Massala et une bonne homogénéité dans celles de Ténéfina.

Le volume bois du fût représente en moyenne 29 % du volume total de bois des karités, avec un minimum de 26 % à Ténéfina et un maximum de 48 % à Massala.

Pour déterminer les relations possibles entre les différents paramètres caractéristiques (tableau VII), nous avons utilisés la régression linéaire $y = ax + b$. Cette régression est assez robuste quant à la non-

Tableau VI.
Résultats des cubages sur les quatre sites.

Sites	Formations végétales	Effectifs	Circonférences		Volume estimé par la formule de Smalian			Houppiers calculés à partir des formules (2) et (3)			
			Circonférence moyenne à 1,30 m (m)	Coefficient de variation (%)	Volume moyen (m ³)	dont volume du fût (%)	Coefficient de variation (%)	Surface moyenne (m ²)	Coefficient de variation (%)	Volume moyen (m ³)	Coefficient de variation (%)
Badougou	Parcs	57	0,71	40	0,35	34	68	31	77	63	89
	Jachères	6	0,64	23	0,36	22	61	30	21	59	18
		63	0,70	39	0,35	34	67	31	74	63	85
Massala	Parcs	93	1,04	25	0,60	46	83	50	57	143	84
	Jachères	29	0,69	69	0,28	50	183	27	109	70	163
		122	0,96	37	0,52	48	99	44	68	125	97
M'Péresso	Parcs	75	1,08	30	0,98	26	63	56	48	160	62
	Jachères	46	0,58	40	0,22	32	132	26	64	55	96
		121	0,89	43	0,69	28	92	45	62	120	82
Ténéfina	Parcs	62	1,84	30	3,74	25	104	123	42	492	59
	Jachères	38	0,67	20	0,27	44	52	27	40	57	50
		100	1,40	52	2,42	26	144	87	72	326	95
Total	Parcs	287	1,16	46	1,33	29	170	64	73	207	108
	Jachères	119	0,64	45	0,26	38	126	27	71	59	113
		406	1,01	52	1,01	29	194	53	83	164	123

constance de la variance des résidus, on se contentera dans un premier temps de ces résultats. Les paramètres dont l'intervalle de confiance englobe le zéro ont été éliminés du modèle et les équations ont été ensuite réajustées.

Les valeurs de F observées sont nettement supérieures à la valeur critique, preuve de l'utilité des régressions dans la prédiction du volume des karités. La régression « tous sites » (figure 3) va amplifier d'une façon négative ou positive les extrêmes. Elle ne doit être utilisée que par défaut, en donnant la préférence aux régressions propres aux sites.

Volume du houppier

Pour déterminer les relations possibles entre les différents paramètres caractéristiques du houppier (tableau VIII), nous avons utilisé la régression linéaire $y = ax + b$. Cette régression est assez robuste quant à la non-constance de la variance des résidus ; on se contentera dans un premier temps de ces résultats. Les paramètres dont l'intervalle de confiance englobe le zéro ont été éliminés du modèle et les équations ont été ensuite réajustées.

Les valeurs de F observées sont nettement supérieures à la valeur critique. On en a déduit l'utilité des régressions dans la prédiction du volume des karités (figure 4). La régression « tous sites » va amplifier d'une façon négative ou positive les extrêmes, on ne l'utilisera que par défaut et on préférera les régressions « sites ».

L'hypothèse retenue est l'existence d'une relation entre le volume total bois sur écorce d'un arbre et le recouvrement de sa couronne feuillée. Les régressions obtenues mettent en évidence cette relation avec des valeurs de F observées qui sont nettement supérieures à la valeur critique (tableau IX). La régression « tous sites » est aussi à utiliser par défaut, en préférant les régressions « sites ».

Les paramètres et les équations sont établis et ajustés comme précédemment (figure 5).

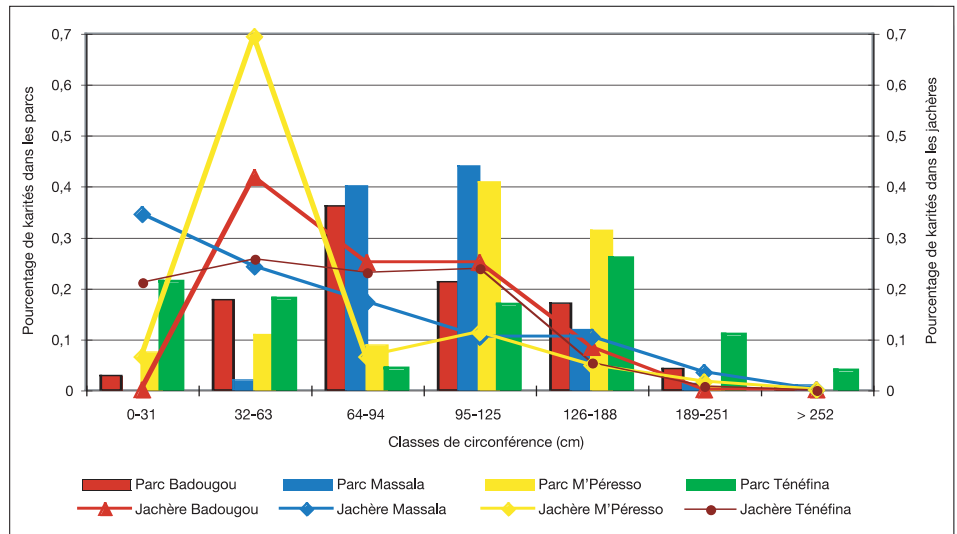


Figure 2. Structure de la population de karités par classes de circonférence.

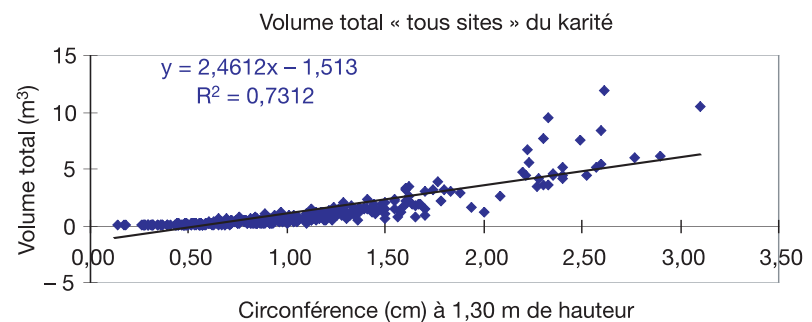


Figure 3. Régression du volume total (fût et branches) « tous sites ».

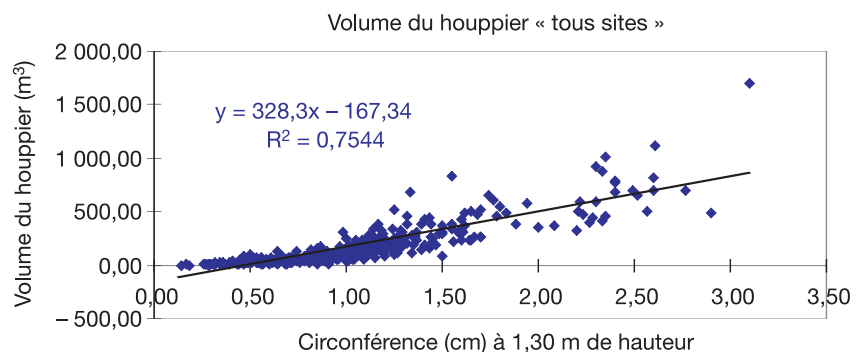


Figure 4. Régression volume du feuillage/circonférence « tous sites ».

Tableau VII.**Régressions volume total de bois/circonférence de tronc, pour les sites étudiés.**

Sites	Nombre d'observations	Régression	Coefficient de détermination	Domaine de calibration (circonférence en m)	Intervalle de confiance de x au seuil 0,95
Badougou	63	$y = 0,6868 x - 0,1314$	0,65	$0,14 < x < 2,00$	$\pm 0,816$
Massala	122	$y = 0,0141 x - 0,1065$	0,67	$0,18 < x < 2,08$	$\pm 1,389$
M'Péresso	121	$y = 0,0200 x - 0,2007$	0,74	$0,31 < x < 1,88$	$\pm 1,674$
Ténéfina	99	$y = 0,0328 x - 0,6301$	0,62	$0,31 < x < 3,10$	$\pm 3,448$
Tous sites	405	$y = 2,4612 x - 1,5130$	0,73	$0,14 < x < 3,10$	$\pm 2,607$

y : volume de bois (m³) sur écorce ;
x : circonférence (m) à 1,30 m de hauteur.

Tableau VIII.**Régressions volume de houppier/circonférence de tronc, pour les sites étudiés.**

Sites	Nombre d'observations	Régression	Coefficient de détermination	Domaine de calibration (circonférence en m)	Intervalle de confiance de x au seuil 0,95
Badougou	63	$y = 162,52 x - 51,264$	0,70	$0,14 < x < 2,00$	$\pm 189,79$
Massala	122	$y = 280,36 x - 142,44$	0,68	$0,18 < x < 2,10$	$\pm 315,58$
M'Péresso	121	$y = 222,32 x - 78,062$	0,74	$0,31 < x < 1,88$	$\pm 246,23$
Ténéfina	99	$y = 368,01 x - 189,97$	0,75	$0,31 < x < 3,10$	$\pm 411,21$
Tous sites	405	$y = 328,30 x - 167,34$	0,75	$0,14 < x < 3,10$	$\pm 346,64$

y : volume de houppier (m³) ;
x : circonférence (m) à 1,30 m de hauteur.

Tableau IX.**Régressions volume total de bois/surface projetée de feuillage « tous sites ».**

Sites	Nombre d'observations	Régression	Coefficient de détermination	Limite de validité (surface du houppier en m ²)	Intervalle de confiance de x au seuil 0,95
Badougou	63	$y = 0,0066 x + 0,144$	0,42	$1,5 < x < 170$	$\pm 0,0086$
Massala	122	$y = 0,0141 x - 0,1065$	0,67	$3,0 < x < 155$	$\pm 0,0159$
M'Péresso	121	$y = 0,0200 x - 0,2007$	0,74	$1,5 < x < 120$	$\pm 0,0220$
Ténéfina	99	$y = 0,0328 x - 0,6301$	0,65	$12,0 < x < 300$	$\pm 0,0376$
Tous sites	405	$y = 0,0281 x - 0,5235$	0,66	$1,5 < x < 300$	$\pm 0,0300$

y : volume de bois (m³) sur écorce de l'arbre ;
x : surface de houppier (m²).

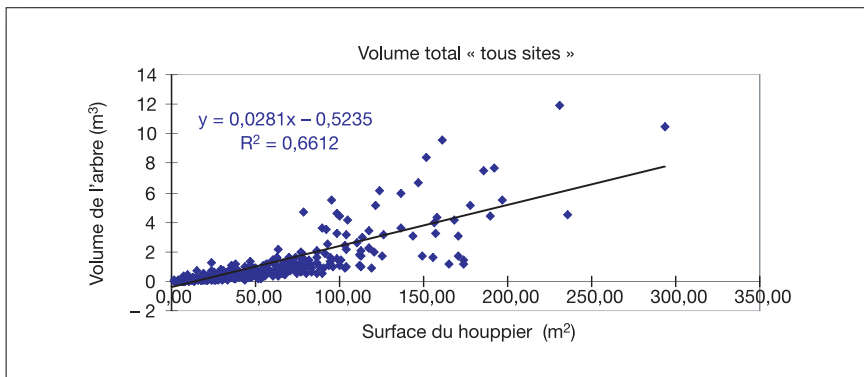


Figure 5.
Régression volume total/surface du feuillage « tous sites ».

Production fruitière des karités

Vingt-cinq arbres sélectionnés pour leur qualité fruitière (goût) ou beurrière et cinq arbres témoins pris au hasard ont été récoltés jour après jour de mi-juin à fin septembre 1999, soit sur une période de trois mois et demi, afin d'intégrer la production d'arbres précoces et tardifs (tableau X).

Le poids moyen de la production des fruits de karité varie de 186 kg dans le parc de Massala à 41 kg dans les jachères de Ténéfina ; la moyenne s'établit à 110 kg, avec un rendement moyen fruit/noix de 53 %.

Le site de Massala est plus productif (en moyenne 181 kg) par rapport aux trois autres terroirs. Ténéfina n'a fourni qu'environ la moitié de la production des trois autres sites. Le rendement moyen en noix après dépulpage est de l'ordre de 50 %.

Il faut préciser que les résultats sont variables d'une année à l'autre, ce sont des grandeurs valables pour l'année de la mesure et il conviendra de refaire des mesures durant plusieurs années pour pouvoir généraliser et donc connaître avec plus de précision la production annuelle moyenne en noix des karités.



Beurre de karité.
Photo E. Loffeier.

Tableau X.
Pesées des fruits de karité.

Sites	Karités	Nombre d'individus	Poids frais/ arbre (kg)	Coefficient de variation (%)	Intervalle de confiance au seuil 0,95	Poids dépulpé/ arbre (kg)	Coefficient de variation	Intervalle de confiance au seuil 0,95	Rendement (%)
Badougou	Arbre +	25	85	57	0,61	39	59	0,29	46
	Témoin	5	162	21	0,97	77	22	0,01	48
	Total	30	98	56	0,63	46	58	0,30	47
Massala	Arbre +	25	179	13	0,28	99	13	0,16	55
	Témoin	5	186	25	1,31	104	28	0,82	56
	Total	30	181	16	0,32	100	17	0,19	55
M'Péresso	Arbre +	25	129	57	0,93	73	58	0,54	57
	Témoin	5	97	30	0,80	52	34	0,50	54
	Total	30	124	56	0,69	70	58	0,46	56
Ténéfina	Arbre +	25	41	40	0,21	20	38	0,09	48
	Témoin	5	45	20	0,25	23	19	0,12	50
	Total	30	42	38	0,48	21	35	0,23	48
Tous sites	Arbre +	100	109	64	0,39	58	69	0,25	53
	Témoin	20	123	53	0,90	64	56	0,50	52
	Total	120	110	62	0,39	59	67	0,23	53

Acquis et perspectives

Les résultats obtenus, présentés ici, comblent partiellement les lacunes d'un l'article publié précédemment (NOUVELLET *et al.*, 2003). La nécessité d'une étude complémentaire concernant les parcs arborés y était avancée, plus particulièrement pour le karité, *V. paradoxa*.

Ainsi, l'étude menée sur quatre sites a fourni des résultats concrets directement utilisables par le nouveau projet Énergie domestique du Mali.

Les nombreux paramètres étudiés – circonférence, hauteur, surface de la projection du houppier... – permettent d'obtenir des résultats inédits particulièrement utiles tels que :

- la proportion tronc/branche du volume total des karités étudiés, qui montre que le houppier représente plus de 70 % du volume du bois utilisable ;
- les tarifs de cubage (fût et houppier), qui sont acceptables dans les quatre sites, avec des coefficients de détermination corrects ;
- le houppier du karité et sa surface de recouvrement au sol, qui constituent une double caractéristique intéressante, d'une part pour l'utilisation des photos aériennes ou des appareils numériques à des fins d'inventaire, de cubage ou encore de suivi de végétation, d'autre part pour le suivi de l'état végétatif (développement du houppier et santé) ;
- les régressions calculées, qui sont, sans conteste, indispensables pour le suivi environnemental de la végétation.

Enfin, toutes ces données, en complément des résultats de 2003, permettront d'actualiser les schémas directeurs d'approvisionnement en bois énergie du pays, en donnant une meilleure estimation des volumes sur pied au sein des parcs arborés (bois énergie, feuillage, production fruitière...).

Quoi qu'il en soit, il ne s'agit que d'une première avancée dans les connaissances, lesquelles restent à éprouver sur le terrain et à approfondir.

Références bibliographiques

ASSMANN E., 1970. The principles of yield study. Oxford, Grande-Bretagne, Pergamon Press, 506 p.

BOFFA J. M., 2000. Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. Cahier Fao Conservation, Ciraf-Fao, 257 p.

BREMAN H., KESSLER J. J., 1995. Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions, with an emphasis on the Sahelian countries. Berlin, Allemagne, Springer Verlag, 340 p.

DJIMDÉ M., 1990. Potentialités agroforestières dans les systèmes d'utilisation des terres de la zone semi-aride du Mali. Rapport Afrena-Ciraf n° 22. Nairobi, Kenya, Ciraf, 123 p.

CENTRE D'ÉTUDE ET DE COOPÉRATION INTERNATIONALE, 1994. Étude de la filière karité. Bamako, Mali, Ceci, Sahel-Côte d'Ivoire, 47 p.

CLÉMENT J., 1982. Estimation des volumes et de la productivité des formations mixtes forestières et graminéennes tropicales. Données concernant les pays d'Afrique francophone au nord de l'Equateur et les recommandations pour la conduite de nouvelles études. Bois et Forêts des Tropiques, 198, 35-54.

DEMBÉLÉ P., 1999. Productivité en bois des parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* et *Parkia biglobosa* ; suivi de la production fruitière de *Vitellaria paradoxa* dans le site de M'Péresso/Koutiala. Mémoire de fin d'études, Ipr-Isfra, 40 p.

GUINDO H., 1999. Productivité en bois des parcs agroforestiers et suivi de la production fruitière de *Vitellaria paradoxa* dans le site de Badougou-Yanfolila. Mémoire de fin d'études, Ipr-Isfra, 35 p.

MAÏGA A. Y., 1990. Étude de la mortalité du karité. Rapport final de prolongation. Sotuba, Mali, Drfh-Inrzfh, 83 p.

NOUVELLET Y., SYLLA M. L., KASSAMBARA A., 2003. La production de bois d'énergie dans les jachères au Mali. Bois et Forêts des Tropiques, 276 (2) : 5-15.

RONDEUX J., 1993. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les Presses agronomiques de Gembloux, 521 p.

RUYSSSEN B., 1957. Le karité au Soudan. Agronomie Tropicale, (12) (2-3) : 143-172 ; 279-307.

SYLLA M. L., NOUVELLET Y., 2001. Détermination rapide de la productivité des formations savanicoles. Revue Malienne de Science et de Technologie, 5 (septembre) : 66-77.

THIAM S. T., 1999. Productivité en bois des parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* et *Parkia biglobosa* ; suivi de la production fruitière de *Vitellaria paradoxa* dans le site de Massala-Ségou. Mémoire de fin d'études, Ipr-Isfra, 91 p.

TRAORÉ H. T., 1999. Productivité en bois des parcs agroforestiers et jachères à *Vitellaria paradoxa* ; suivi de la production fruitière dans le site de Ténéfina-Sébékoro. Mémoire de fin d'études, Ipr-Isfra, 54 p.

YOSSI H., KOUYATÉ A. M., 2001. Les arbres hors forêt : le cas du Mali. In : Les arbres hors forêt. Vers une meilleure prise en compte. Cahier Fao Conservation n° 35, Ciraf/Fao. 171-177.



Régénération naturelle de *Vitellaria paradoxa*. Plantules âgées d'un an.
Photo D. Louppe.