

Biodiversité spécifique ligneuse et terroirs : quelles relations ? Le cas de trois villages de la région de Ségou (Mali)

Christophe ROUXEL¹
Julien BARBIER²
Amadou NIANG³
Bocary KAYA³
Nicole SIBELET⁴

¹ Bureau de coordination
du programme régional Ecopas
Parc W, 01 BP 1607
Immeuble PPI
Avenue du Temple
Ouagadougou
Burkina Faso

Adresse actuelle :
Cirad-tera TA 60/15
73, avenue J.-F. Breton
34398 Montpellier Cedex 5
France

² Cnearc
1011, avenue Agropolis
BP 5098
34033 Montpellier
France

³ Icrاف-Sahel
Samanko, BP 320
Bamako
Mali

⁴ Cirad-tera
Campus international
de Baillarguet
TA 60/15
34398 Montpellier Cedex 5
France

À partir d'inventaires réalisés dans trois terroirs villageois (M'Pebougou Sokala, Tiogoni et Bambougou) de la région de Ségou, au Mali, cette étude montre le lien existant entre la biodiversité des ligneux et l'utilisation des terres par les paysans et leurs pratiques. Il apparaît ainsi que l'histoire agraire est le facteur prépondérant permettant d'expliquer la composition des ressources arborées.



Enfants du village de M'Pebougou Sokala.
Children from the village of M'Pebougou Sokala.
Photo N. Sibelet.

RÉSUMÉ

BIODIVERSITÉ SPÉCIFIQUE LIGNEUSE ET TERROIRS : QUELLES RELATIONS ? LE CAS DE TROIS VILLAGES DE LA RÉGION DE SÉGOU (MALI)

Les questions sur le devenir des parcs agroforestiers de la zone ouest-africaine entrent dans la problématique internationale du développement durable. La biodiversité à ses niveaux spécifiques et « agro-écosystémiques » n'est pas statique. Elle apparaît, au contraire, dynamique dans l'espace et le temps, s'inscrivant dans un processus global de construction des terroirs. Soumise aux changements agro-écologiques et socio-économiques qui s'y opèrent, elle en est également la révélatrice. Un état des lieux de ces parcs agroforestiers a été entrepris par l'Icraf-Sahel (International Council for Research in Agroforestry), depuis 2002, dans la région de Ségou (Mali). Il est prévu pour une quarantaine de villages représentatifs de différents contextes écologiques et socio-économiques. La méthodologie allie la réalisation d'inventaires par échantillonnage et l'utilisation d'un système d'information géographique (Sig). Cet article montre le lien entre la biodiversité des ligneux dans trois terroirs voisins et l'utilisation des terres par les paysans. Il montre notamment que l'histoire agraire est le facteur prépondérant pour expliquer la composition floristique des groupes constitués par analyses statistiques. Enfin, quelques indicateurs permettent de révéler une dynamique en cours avec, en particulier, une extension de *Faidherbia albida* à partir de ses sites originels (les champs de case) vers l'ensemble du terroir agricole.

Mots-clés : biodiversité, parc agroforestier, *Faidherbia albida*, terroir villageois, pratique paysanne, Mali.

ABSTRACT

RELATIONSHIPS BETWEEN VILLAGE TERRITORIES AND THE BIODIVERSITY OF TREE SPECIES. CASE STUDY ON THREE VILLAGES IN THE SEGOU REGION (MALI)

West African agroforestry parklands are at the heart of international sustainable development issues. Biodiversity at species and agro-ecosystems levels is not static: on the contrary, it is dynamic in space and time and integral to the overall evolution of village territories. As it is affected by agro-ecological and socio-economic changes, it also reveals those changes. An assessment of the current status of these traditional agroforestry parklands was launched in 2002 by ICRAF-Sahel (International Council for Research in Agroforestry), in the Segou area in Mali. This is to be extended to some forty village areas that are representative of different ecological and socio-economic contexts. The methodology combines GIS tools with inventories drawn up through sampling procedures. This paper discusses the links between tree biodiversity and land use among peasant farmers in three adjacent village territories. It shows in particular that agrarian history is the dominant factor accounting for the composition of the flora in groups derived from statistical analyses. Finally, a number of indicators show the current dynamics with, in particular, the extension of *Faidherbia albida* from its initial niche habitat in the inner cultivation ring around each village outwards into the entire agricultural zone.

Keywords: biodiversity, parkland, *Faidherbia albida*, village territory, farming practice, Mali.

RESUMEN

RELACIONES ENTRE LA BIODIVERSIDAD ESPECÍFICA DE ESPECIES LEÑOSAS Y TERRITORIOS. EL CASO DE TRES PUEBLOS DE LA REGIÓN DE SÉGOU (MALÍ)

Los interrogantes sobre la evolución de los parques agroforestales de la zona de África occidental entran en la problemática internacional del desarrollo sostenible. Pero la biodiversidad, en sus niveles específicos y "agroecosistémicos", no es estática. Al contrario, es dinámica en el espacio y el tiempo y se enmarca en un proceso global de construcción de los territorios. Está sometida a los cambios agroecológicos y socioeconómicos que se producen siendo, a la vez, reveladora de éstos. A partir de 2002, el ICRAF-Sahel (International Council for Research in Agroforestry) acometió la realización de un inventario de estos parques agroforestales en la región de Ségou (Malí). Está previsto realizar dicho estudio en unos cuarenta pueblos representativos de diferentes contextos ecológicos y socioeconómicos. La metodología combina la realización de inventarios mediante muestreos y la utilización de un sistema de información geográfica (SIG). Este artículo muestra la relación entre la biodiversidad de las especies leñosas en tres zonas vecinas y la utilización campesina de las tierras. Se pone de manifiesto que la historia agraria es el factor preponderante para explicar la composición florística de los grupos constituidos mediante análisis estadísticos. Por último, algunos indicadores permiten evidenciar una dinámica en curso en la que destaca una extensión de *Faidherbia albida* desde sus zonas de origen (las parcelas familiares) hacia el conjunto del territorio agrícola.

Palabras clave: biodiversidad, parque agroforestal, *Faidherbia albida*, territorio campesino, práctica campesina, Malí.

La zone d'étude

Les populations ouest-africaines de la zone semi-aride ont mis en œuvre, depuis plusieurs générations, un système d'utilisation des terres appelé « parcs agroforestiers », rattaché dans la classification des systèmes agroforestiers aux cultures sous couvert arboré (TORQUEBIAU *et al.*, 2002). Dans ces agro-écosystèmes, les arbres intégrés aux champs répondent à différents besoins des communautés en fournissant des aliments, du fourrage, du bois de feu, des substances médicinales, des matériaux de construction et divers produits commercialisables.

Dans un terroir villageois, ces parcs peuvent contenir quarante à cinquante espèces ligneuses mais sont généralement dominés par une ou quelques espèces (BOFFA, 2000).

Cependant, des changements écologiques liés aux grandes sécheresses des années 1970-1985 et à l'accroissement démographique conduisent ces systèmes, selon certains auteurs (OUÉDRAOGO, ALEXANDRE, 1996 ; LERICOLLAIS, 1989 ; ICRAF, 2002), à une pression telle qu'ils « sont en train de se dégrader en termes de diversité et de densité de plantes ligneuses » (GIJSBERG *et al.*, 1994).

Cet article s'attache à apporter une nouvelle contribution pour la compréhension des facteurs influençant la constitution des différentes ressources arborées et de leur biodiversité tout en mettant en perspective leur évolution, à partir d'inventaires (BARBIER, GALLETI, 2002 ; ROUXEL, 2002) réalisés dans trois terroirs villageois de la région de Ségou (Mali).

La région de Ségou (figure 1), située entre 12°30' et 15°30' de latitude nord et entre 4° et 7° de longitude ouest, fait partie de la zone semi-aride de l'Afrique de l'Ouest. Sous un climat de type soudano-sahélien caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison humide, la végétation s'y présente sous la forme d'une savane arborée à arbustive (LE HOUEROU, 1989). Elle appartient également à l'une des quatre zones à systèmes d'utilisation des terres jugés prioritaires par le Réseau de recherche agroforestière pour les zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest (SALWA, 1994) : le bassin arachidier, au Sénégal ; les systèmes fondés sur les céréales et le coton, au Mali ; le plateau central, au Burkina Faso ; les systèmes du fleuve Niger, au Niger.

Situés à l'est de Ségou, les trois villages de cette étude, M'Pebougou Sokala, Tiongoni et Bambougou, ont une pluviosité annuelle de 515 mm (moyenne de la série 1985-2001). La saison des pluies est concentrée sur

les mois de juillet (156 mm) et août (172 mm). Par ailleurs, les populations appartiennent en majorité à l'ethnie bambara, mais aussi somono et bozo (Bambougou et Tiongoni), marka et minianka (M'Pebougou Sokala) et peul (les trois villages).

Ces villages ont été choisis pour les raisons suivantes :

- Une représentativité des systèmes de production classiques de la zone soudano-sahélienne basés sur l'agriculture pluviale et l'élevage. La proximité du fleuve Niger permet d'autres activités, telles la riziculture ou la pêche (figure 2).

- Une densité humaine de 86 habitants par km² (les terroirs ont des superficies respectives de 580, 526 et 1 486 ha pour des populations de 452, 819 et 966 habitants en 2000) contre 26 habitants en moyenne pour la région de Ségou. Ce contraste indique une pression anthropique relativement forte sur le milieu, facteur de changement potentiel au sein des parcs agroforestiers.



Coucher de soleil sur le fleuve Niger.
Sunset on the Niger river.
Photo C. Rouxel.

Résultats

Plusieurs unités d'utilisation des terres dans chacun des terroirs

La création des villages remonte à 117 ans pour M'Pebougou Sokala et le milieu du XVIII^e siècle pour Tiongoni et Bambougou. L'agriculture itinérante sur brûlis était vraisemblablement présente auparavant dans ce secteur.

En dehors de la zone habitée, trois unités d'utilisation des terres relativement homogènes sont présentes sur les trois terroirs (figure 3) :

- Situés en périphérie des villages et représentant les zones les plus anciennement cultivées, les champs de case sont cultivés de façon continue ; la fertilité étant notamment

entretenue par un apport de fumier ou par parcage du bétail (personnel ou contrat de fumure).

- Les champs de brousse ont été créés durant les quatre dernières décennies, au fur et à mesure de l'avancée des défrichements des champs de case vers la zone sylvo-pastorale, rendue nécessaire par une augmentation de la population dans ces trois villages et facilitée par l'utilisation de la charrue à partir des années 1970. Pour les villages de Bambougou et Tiongoni, ce phénomène s'est trouvé accentué par la perte en terres cultivables de la plaine d'inondation. En effet, la culture de décrue autrefois pratiquée n'est plus possible, à la suite de la fermeture permanente,

dans les années 1980, du barrage de Markala situé en aval. La jachère a quasiment disparu, pour une mise en culture continue. Du fait d'un terroir plus vaste et d'une densité démographique moindre, Bambougou est le seul village où sont encore pratiquées des jachères de courte durée (2 à 3 ans).

- Corollairement, la zone sylvo-pastorale a été réduite, jusqu'à n'être, à l'heure actuelle, qu'un lieu de passage pour les animaux (*bourtol*). Contrairement aux précédentes, celle-ci est collective, sans droits d'usage ni appropriation exclusive par un lignage particulier.

Encadré 1.

MÉTHODOLOGIE

La carte des terroirs a été établie à l'aide du logiciel Mapinfo à partir des coordonnées relevées sur le terrain avec un système de positionnement géographique (Gps) des limites des unités d'utilisation des terres, préalablement identifiées lors de la réalisation de la carte des ressources (PACHICO *et al.*, 1998), outil de la Méthode de recherche accélérée participative (Marp).

Des inventaires forestiers ont été établis sur un échantillonnage constitué de 404 placettes géoréférencées d'une surface de 1 250 m² (50 m x 25 m) représentant 4 % de la surface de chacune des unités d'utilisation. Pour chaque placette, ont été relevés le nom scientifique des espèces rencontrées, le nombre de pieds (ou souches), la circonférence du plus gros brin (à 1,30 m du sol pour les arbres d'une hauteur de plus de 2 m, au collet pour les autres), le nom du propriétaire du champ, la texture du sol.

Réalisés de mi-mai à mi-juin, c'est-à-dire avant les travaux champêtres, ils intègrent des arbres adultes préservés et des rejets de souche éliminés annuellement lors du défrichage pour l'implantation des cultures pluviales.

Les enquêtes par entretiens semi-directifs et questionnaires fermés ont permis d'approfondir des questions relatives à l'histoire des villages et aux pratiques notamment agroforestières.

L'analyse des données, qui repose sur plusieurs techniques croisant des points de vue écologique et géographique, comporte des analyses factorielles, des « boîtes à moustaches » et des analyses thématiques.

- Des analyses factorielles des correspondances (Afc) et des nuées dynamiques, qui résument et simplifient l'information d'un tableau de données sous forme graphique.

Ces méthodes ont pour objectif de construire des groupes homogènes de placettes (BENZÉCRI, 1973 ; DIDAY, 1971) et l'interprétation des résultats se fonde sur l'examen de trois paramètres principaux :

- la variance absorbée par un axe, qui permet de quantifier l'information qu'il contient ;
- la contribution de chacune des variables à la constitution d'un axe, qui permet d'identifier les variables discriminantes ;
- la corrélation, qui mesure la qualité de la représentation d'un point sur l'axe considéré.

- Des « boîtes à moustaches » (ou *box-plots*) permettant de comparer les différences inter- et intragroupes à partir des critères de biodiversité suivants : nombre d'espèces et liste des espèces, nombre de pieds par placette, indice de diversité de Shannon (H), indice d'équitabilité (E), classes de circonférence.

- Des analyses thématiques sous Mapinfo, qui visualisent la distribution spatiale de caractéristiques propres aux placettes.

L'indice de Shannon est un indicateur de la richesse spécifique pondérée par le nombre de pieds par espèce (BARBAULT, 1992) : $H = - \sum p_i \log_2 p_i$

On désigne par p_i l'abondance relative de l'espèce i dans l'échantillon ($p_i = n_i/N$). N est la somme des effectifs des S espèces constituant le peuplement considéré, n_i l'effectif de la population de l'espèce i .

L'indice de Pielou, $E = H/\log_2 S$, rend compte de la répartition des pieds entre toutes les espèces présentes dans l'unité d'échantillonnage (BARBAULT, 1992). La valeur 1 représente un effectif équiréparti entre les différentes espèces ; un indice nul rend compte d'un inventaire monospécifique.

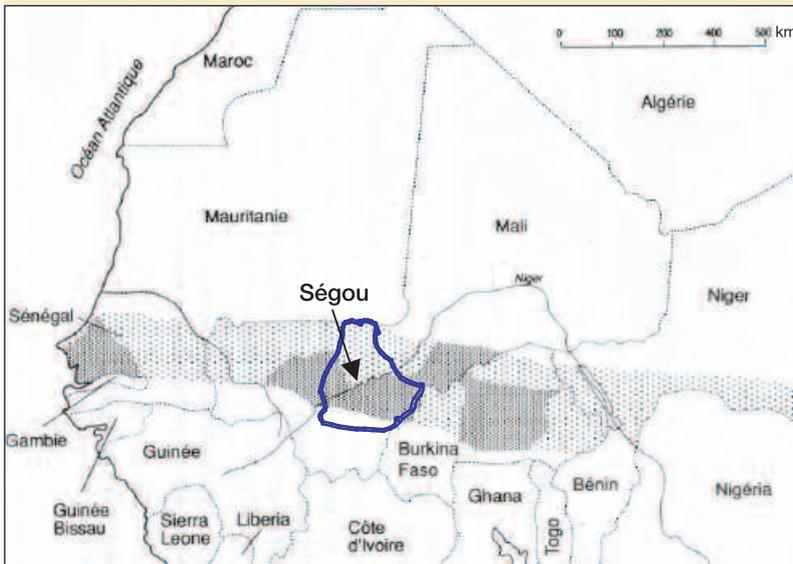


Figure 1.

La région de Ségou, délimitée en bleu, fait partie de la zone semi-aride d'Afrique de l'Ouest (en pointillé). Elle appartient également à l'une des quatre zones des systèmes prioritaires (en gras) du Réseau de recherche agroforestière pour les zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest (Salwa).

The Ségou region, outlined in blue, is in West Africa's semi-arid zone (dotted area). It is also one of the four priority systems areas according to the agroforestry research network for West Africa's semi-arid lands (SALWA).



Figure 2.

Localisation des trois villages étudiés dans la commune de Markala.
Location of the three villages surveyed in Markala municipality.
Source : IGN, 1998.

Trois autres unités sont spécifiques à un ou deux villages :

- Les vergers de manguiers ont été plantés en bordure de la plaine inondable dans les années 1960 pour des raisons économiques. La remontée des eaux depuis les années 1980 a provoqué une diminution de leur superficie.

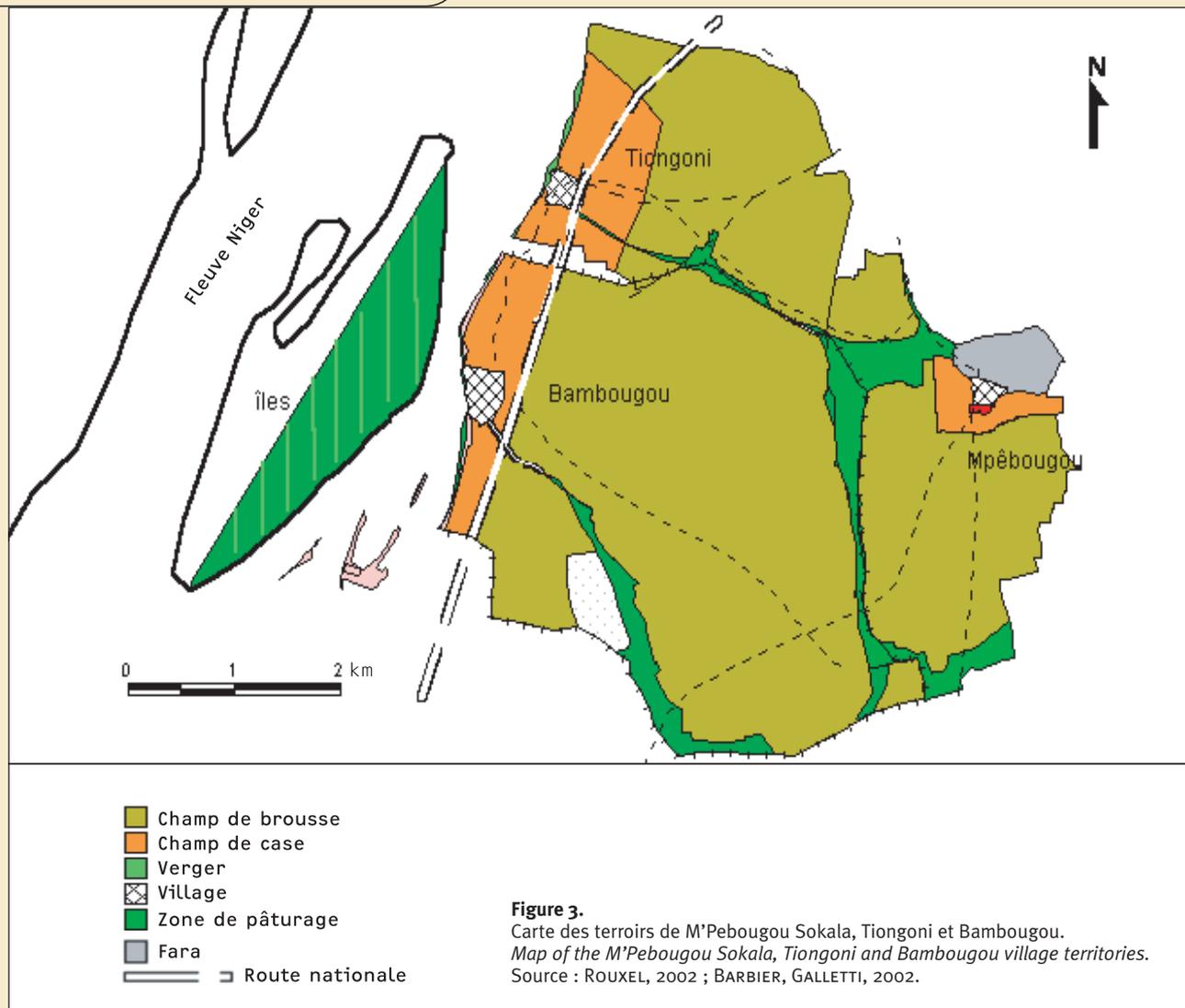
- Le chapelet d'îles (*gun*) est composé d'une alternance de zones inondées en permanence, de zones à hydro-morphie temporaire et de zones continuellement exondées. C'est un espace anciennement cultivé, réduit et fragmenté au profit de la plaine inondée, où ne subsiste que l'élevage en saison sèche.

- Une zone rocailleuse (*fara*) fut autrefois une carrière de prélèvement de matériaux pour la construction du barrage de Markala.



Baobab (*Adansonia digitata*) au milieu d'un champ de mil. On y prélève entre autres les feuilles et les fruits.

A baobab (Adansonia digitata) growing in a millet field. The leaves, fruit and other parts of the tree are used for various purposes.
Photo C. Rouxel.



Une biodiversité arborée spécifique, aux effectifs disparates...

Les inventaires des ressources arborées ont été réalisés sur l'ensemble des unités d'utilisation des trois terroirs, excepté les champs de brousse de Bambougou.

Ils révèlent une richesse floristique de 57 espèces réparties en 27 familles, celle des mimosacées comportant le plus grand cortège avec 10 espèces à elle seule (annexe 1). L'ensemble inventorié compte 14 901 pieds, soit une densité de 295 pieds par hectare. Il convient de relativiser ce chiffre par la présence d'une strate arborée permanente et une strate basse composée essentiellement de rejets de souche (10 452 pieds, soit 73,5 % de l'effectif total).

... qui permet de construire une typologie fondée sur des espèces discriminantes...

Une première Afc (Afc 1) a pris en compte les 17 espèces les plus nombreuses en termes d'effectif (au moins 97 pieds). Les autres espèces (41 au total pour un nombre de pieds par espèce inférieur à 56) ont été regroupées sous la variable « autres ». Ce choix a été fait pour éviter une trop forte dispersion des placettes et établi à partir d'un décrochement présent au niveau des effectifs (97-55 pieds). Les critères absence et présence constituent les modalités de chacune de ces 18 variables.

La variance absorbée respectivement par les axes 1, 2, 3 et 4 est de 19,3 %, 15 %, 9,4 % et 7,1 %, soit

50,8 % au total. Le premier plan formé par les axes 1 et 2 absorbe 34,3 % de la variabilité totale.

L'axe 1 oppose en abscisse deux ensembles : un groupe (groupe 1) constitué de 16 placettes du reste. Il est expliqué par la présence de *Ziziphus mucronata*, *Acacia pennata* et *Acacia sieberiana*, toutes indicatrices de milieux temporairement humides tels que les bords de rivière (figure 4).

Les 388 autres placettes regroupées autour de l'origine du plan 1 ont ensuite fait l'objet d'une seconde analyse (nuées dynamiques et Afc 2) pour établir des formes fortes. Les variables caractérisant le groupe 1 ne sont plus retenues comme variables actives.



Des feuilles de karité (*Vitellaria paradoxa*).

Shea tree leaves (*Vitellaria paradoxa*).

Photo C. Rouxel.

La modalité absence d'une variable caractérisant un groupe ne signifie pas que l'espèce est systématiquement absente de toutes les placettes de ce groupe, mais que, comparativement aux autres, sa fréquence spécifique est très faible.

La méthode de classification des nuées dynamiques n'a pas permis d'affecter 47 placettes dans ces cinq groupes. Elles constituent un ensemble de placettes mal classées : le groupe 7.

Sachant que certaines de ces espèces peuvent être affiliées à un type d'habitat particulier (ARBONNIER, 2002), la fréquence spécifique de certaines espèces peut servir d'indicateur pour dégager de grandes tendances au niveau de facteurs abiotiques et biotiques présents dans certains groupes. Ainsi, le groupe 3 est caractéristique plutôt de sols lessivés (une fréquence spécifique de 73 % pour *Combretum micranthum* et de 28 % pour *Acacia macrostachya*) et de certains lieux humides (*Acacia seyal* : 46 %). Le groupe 2 se caractérise par l'absence de *Piliostigma reticulatum* (90 % des placettes) et *Guiera senegalensis* (85 %), espèces pionnières des jachères, et la présence de *Azadirachta indica* (43 %), espèce introduite. Cela indique des terres soumises à une mise en culture intensive.

... validée par l'analyse de critères de biodiversité

L'analyse de la biodiversité au travers de sa composition, de sa structure et de sa démographie corrobore la typologie obtenue précédemment. En effet, les médianes et les variabilités intra- et intergroupes des figures 6 et 7 mettent en perspective le fait que le groupe 2 s'oppose le plus fortement aux groupes 1 et 3, tandis que les trois autres groupes 4, 5 et 6 apparaissent intermédiaires.

Cela tend à signifier qu'il peut y avoir un lien selon des degrés plus ou moins importants entre la présence et l'absence d'espèces indicatrices et les caractéristiques de biodiversité des différents groupes.

Par ailleurs, si cinq espèces (*Balanites aegyptiaca*, *Faidherbia*

albida, *Guiera senegalensis*, *Leptadenia hastata* et *Piliostigma reticulatum*), aux effectifs globaux parmi les plus élevés, sont représentées dans les sept groupes, dix-sept ne sont présentes que dans un seul. Les plus significatives sont *Acacia pennata* (groupe 1) pour son effectif et quatre espèces exotiques pour le groupe 2. Ces dernières sont plantées soit pour un usage alimentaire (*Mangifera indica* = manguiers, *Psidium gajava* = goyavier), soit dans un but commercial (fruits de *Mangifera indica* et feuilles de *Lawsonia inermis* = henné), ou pour une délimitation des parcelles ou une protection contre le bétail (*Jatropha curcas* = pourguère). Elles révèlent des changements sur le plan des pratiques agroforestières.

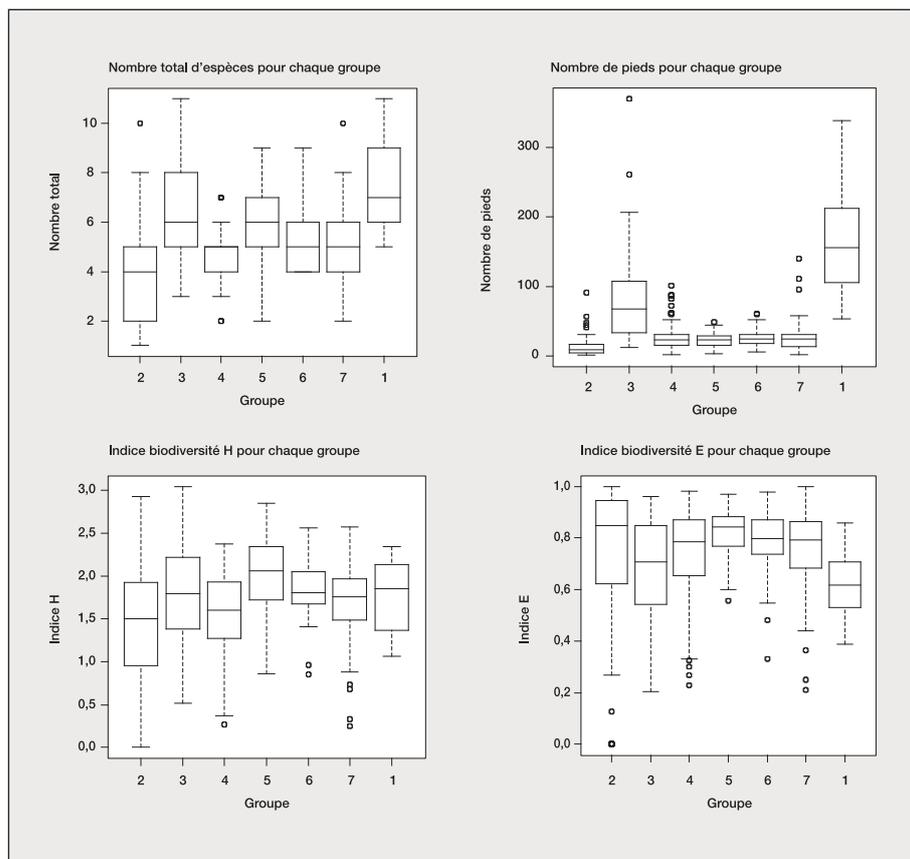


Figure 6.

Variabilités intragroupes et intergroupes sous forme de « box-plots » pour quatre composantes de la biodiversité ligneuse : nombre total d'espèces, nombre de pieds, indice de Shannon H et indice d'équitabilité E pour chacune des placettes. *Intra-group and inter-group variability in the form of "box-plots" for four tree biodiversity components: total number of species, number of stems, Shannon indicator (H) and evenness indicator (E) for each square.*

Des groupes écologiques toujours corrélés à l'histoire agraire, parfois aux facteurs physiques

La visualisation de la répartition des placettes représentatives de chacun des groupes montre une forte tendance à l'agrégation (figure 8).

L'histoire agraire est le facteur prépondérant de la répartition des placettes des différents groupes puisque, en s'appuyant sur le tableau de contingence (tableau I), on s'aperçoit que :

- les placettes du groupe 2 se situent principalement dans les champs de case (76 %) ;
- celles du groupe 3 se situent en zone sylvo-pastorale (est incluse la zone du Fara) (93 %) ;
- celles du groupe 1 sont exclusivement présentes sur les îles (100 %) ;
- les placettes des groupes 4 (94 %), 5 (89 %), 6 (81 %) et 7 (74 %) se répartissent dans les champs de brousse.



Ficus iteophylla : du fourrage pour le bétail.
Ficus iteophylla: fodder for cattle.
 Photo C. Rouxel.

Tableau I.
 Répartition des placettes de chacun des groupes dans les diverses zones.

Groupe	Champs de brousse	Champs de case	Îles	Verger	Zone sylvo-pastorale	Total	Placettes des zones principales/ensemble des placettes (%)
2	15	71	3	2	2	93	76
3	4				50	54	93
4	96	2			4	102	94
5	40	5				45	89
6	38	8			1	47	81
7	35	8			4	47	74
1			16			16	100
Total	228	94	19	2	61	404	
Pourcentage	92	76	84	100	82		

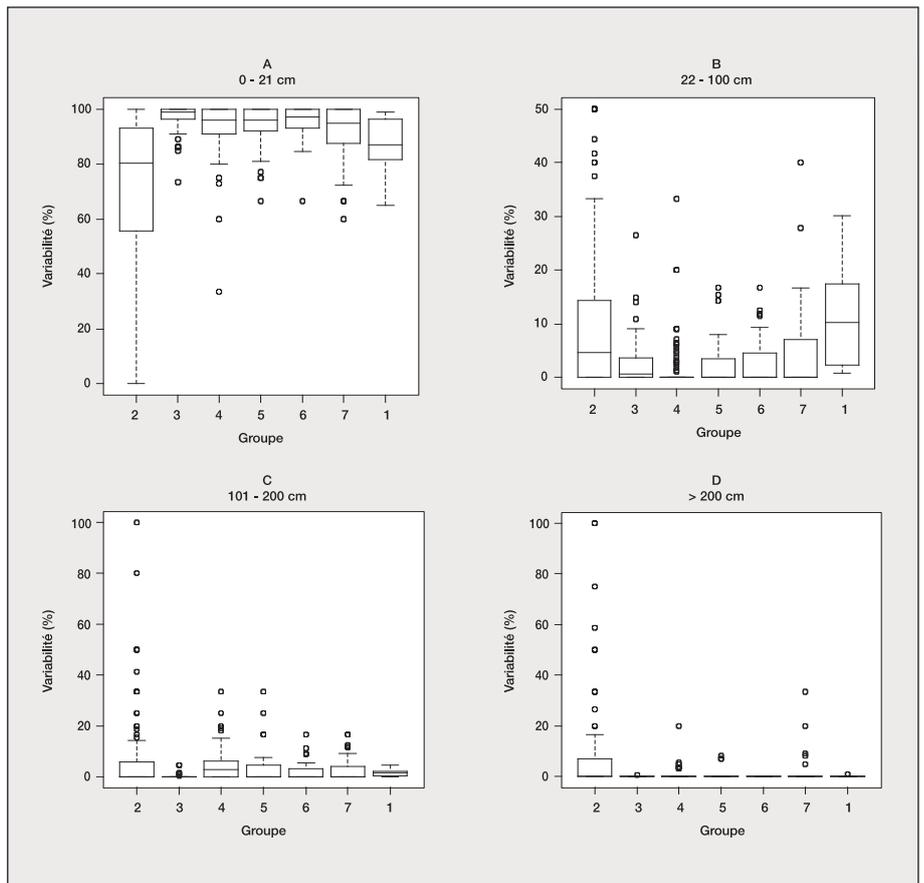


Figure 7.

Variabilités intragroupes et intergroupes pour chacune des classes de circonférence constituées (A : 0-21 cm ; B : 22-100 cm ; C : 101-200 cm ; D : > 200 cm). À 22 cm, se situe la limite inférieure du bois « fort », en dessous de laquelle le bois ne sera plus coupé pour le chauffage (BERNARD, 1999).

Intra-group and inter-group variability for each circumference class: A = 0-21 cm ; B = 22-100 cm ; C = 101-200 cm ; D > 200 cm. 22 cm corresponds to the lower threshold for hardwood, below which the wood will not be cut for firewood (BERNARD, 1999).

Tableau II.
Texture superficielle du sol pour chacune des placettes du village de M'Pebougou Sokala.

Groupe	Argileux	Limoneux	Sableux	Sablo-argileux	Total
4	5	18	5	14	42
5		11		6	17
6		16	3	5	24
Total	5	45	8	25	83

Dans le village de M'Pebougou Sokala, la texture superficielle du sol a été répertoriée pour chacune des placettes. Le tableau II indique que le groupe 4 accueille les trois types de texture et plus particulièrement la totalité des placettes à texture argileuse, et plus de la moitié des placettes à texture sablo-argileuse, tandis que les deux autres groupes majoritaires dans les champs de brousse (les groupes 5 et 6) sont surtout composés de sols à texture limoneuse.

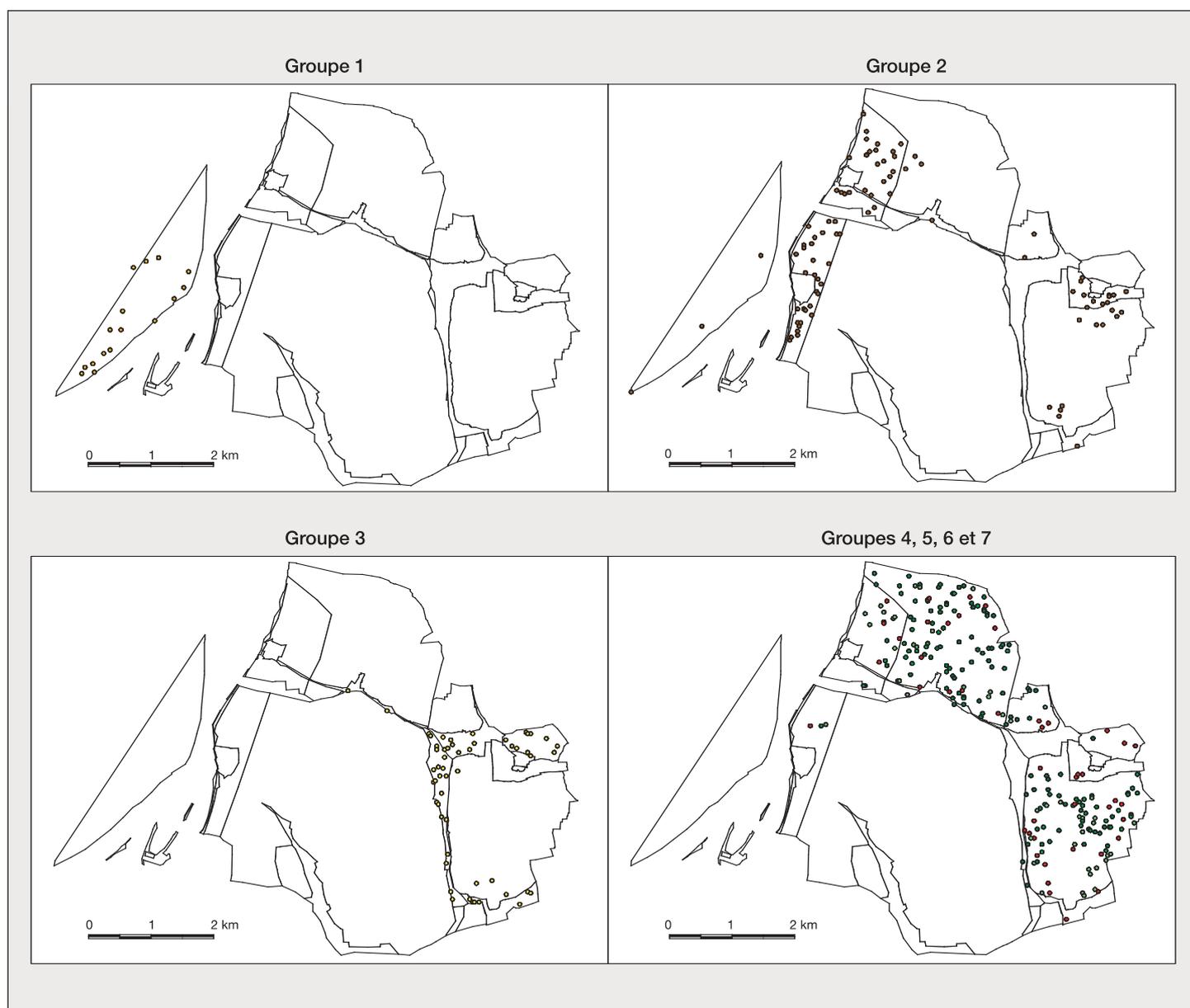


Figure 8.
 Cartes de la répartition spatiale des placettes des différents groupes.
 Maps showing the spatial distribution of squares for different groups.

Or, le groupe 4 présente une fréquence spécifique plus importante pour *Vitellaria paradoxa* (76 %) que dans les groupes 5 (24 %) et 6 (7 %), ces derniers étant surtout caractérisés par des fréquences spécifiques respectivement élevées pour *Sclerocarya birrea* (70 %) et *Balanites aegyptiaca* (58 %).

CUNY *et al.* (1997) rapportent que *Vitellaria paradoxa* préfère les terrains argileux secs et sableux, ce qui semble confirmé ici. Par conséquent, les facteurs édaphiques pourraient être un élément d'explication de l'existence de plusieurs groupes au sein des champs de brousse et de la répartition plus nébuleuse des placettes de chacun des groupes 4, 5 et 6.

En conclusion, le zonage des différents groupes constitués est la combinaison de facteurs édaphiques et de facteurs anthropiques. Et plus la culture est ancienne, plus ces derniers deviennent prépondérants.

Si on reprend les résultats de l'Afc 2, on remarque que les deux premiers groupes distinctement constitués sont le 2 et le 3. En l'occurrence, les placettes du groupe 2 sont en majorité situées dans la zone la plus anciennement cultivée, alors que les placettes du groupe 3 appartiennent à la zone sylvo-pastorale qui n'a jamais été mise en culture (quand on se réfère à l'historique des villages constitués).

La végétation du groupe 1 résulte de conditions d'hydromorphie plus importantes et de mutations dans l'utilisation des terres par un élevage, en régression, qui a remplacé l'agriculture.

Du fait d'une mise en culture relativement récente, en comparaison de celle des champs de case, les champs de brousse se caractérisent par la présence de quatre groupes (4, 5, 6, 7) où le sol est encore un facteur influent.

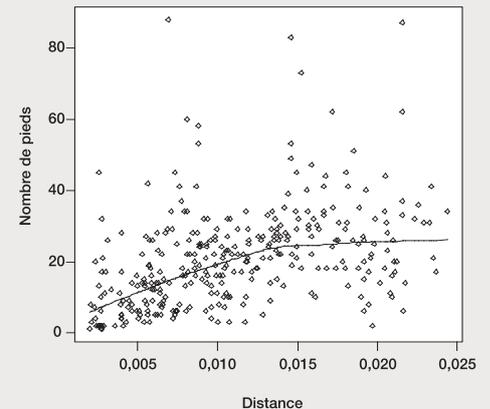


Figure 9.

Nombre de pieds inventoriés par placette en fonction de la distance au village. Les distances en abscisse sont en degrés (0,01 degré étant sensiblement équivalent à 1,1 km). Le trait plein indique la courbe de tendance.

Number of stems per square according to their distance from villages. The scale on the x axis is in degrees (0.01 degree is approximately equivalent to 1.1 km). The black line shows the trend curve.

Des indicateurs de la construction progressive des champs de case et de brousse

En calculant la distance des placettes à leurs villages respectifs sur la base des coordonnées géoréférencées, des tendances peuvent être établies avec le nombre de pieds (figure 9) et la circonférence des arbres (figure 10).

La densité arborée croît progressivement du village vers les champs de brousse jusqu'à un seuil d'environ 1,5 km (figure 9). Par ailleurs, la proportion de la classe des 1-21 cm tend également à croître au fur et à mesure de cet éloignement, les trois autres classes affichant des tendances opposées.

Cette analyse vérifie les propos de PULLAN (1974) sur les parcs agroforestiers de l'Afrique de l'Ouest : « La différence entre les zones caractérisées par un grand nombre de petits arbres et celles qui ne comportent que quelques arbres aux larges couronnes est souvent fonction de la durée d'exploitation agricole. »

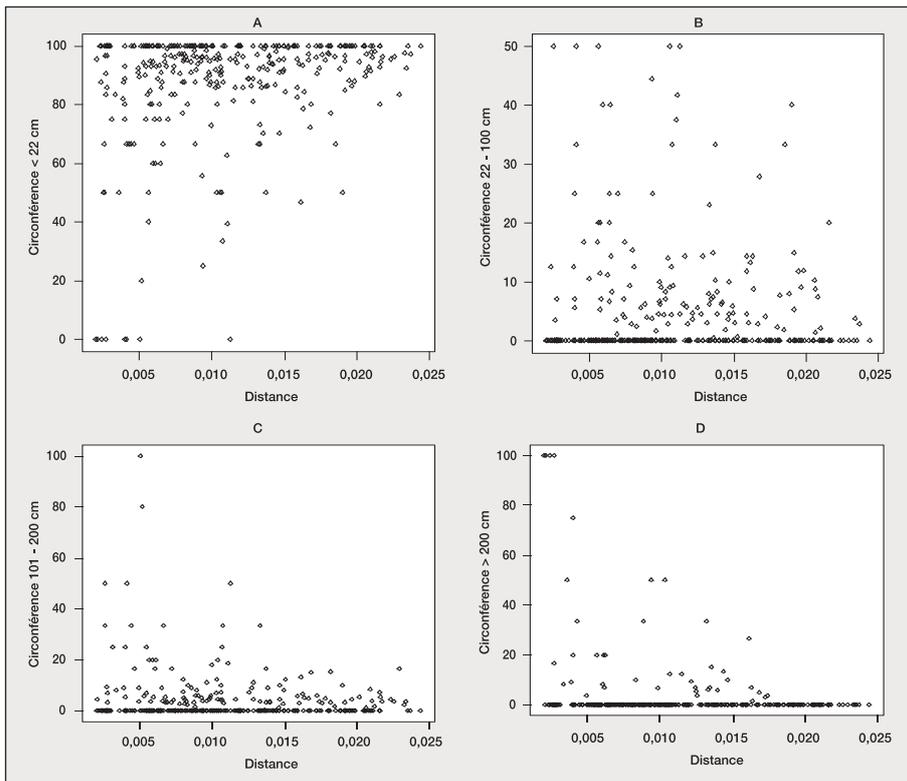


Figure 10.

Proportion de pieds (pourcentage) par classe de circonférence (A : 0-21 cm ; B : 22-100 cm ; C : 101-200 cm ; D : > 200 cm) dans chaque placette en fonction de la distance au village. Les distances en abscisse sont en degrés (0,01 degré étant sensiblement équivalent à 1,1 km).

Proportion (percentage) of stems per circumference class (A = 0-21 cm; B = 22-100 cm; C = 101-200 cm; D > 200 cm) in each square according to their distance from villages. The scale on the x axis is in degrees (0.01 degree is approximately equivalent to 1.1 km).

Des dynamiques des espèces agroforestières révélatrices d'une zone de transition

Les champs de case ont été les premières terres mises en culture, où l'ancienneté d'anthropisation du milieu s'est traduite par une composition floristique ligneuse proche du groupe 2, dont nous rappellerons les principales caractéristiques :

- Une absence de *Guiera senegalensis* et *Piliostigma reticulatum*, qui sont des espèces de recolonisation dans les jachères. L'absence de ces espèces dans la majeure partie des champs de case laisse à penser que ces deux espèces, ainsi que beaucoup d'autres, ont été éliminées soit volontairement (essouchage, par exemple) ou dans le temps (par une coupe annuelle au début des travaux champêtres sur un grand nombre d'années). Leur présence dans les champs de brousse, en strate basse du fait d'une coupe annuelle, traduirait quant à elle une volonté de

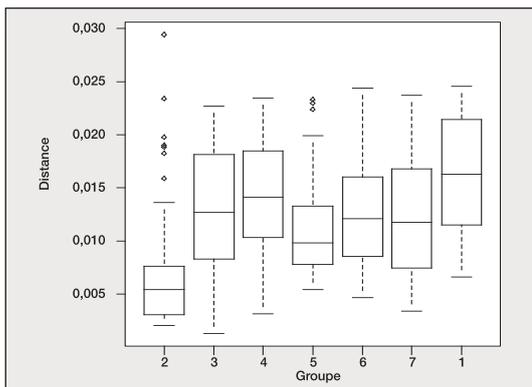


Figure 11.

Variabilité intragroupe et intergroupe de la distance au village. Les distances en ordonnée sont en degrés (0,01 degré étant sensiblement équivalent à 1,1 km). *Intra-group and inter-group variability in terms of distance from villages. The scale on the y axis is in degrees (0.01 degree is approximately equivalent to 1.1 km).*

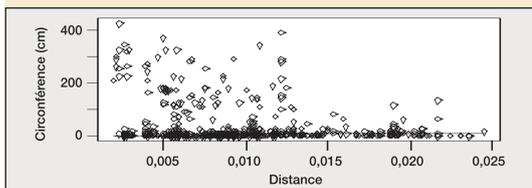


Figure 12.

Circonférence (cm) des pieds recensés de *Faidherbia albida* en fonction de leur distance au village. Les distances en abscisse sont en degrés (0,01 degré étant sensiblement équivalent à 1,1 km). *Circumference (cm) of Faidherbia albida stems according to their distance from villages. The scale on the x axis is in degrees (0.01 degree is approximately equivalent to 1.1 km).*

maintenir des espèces reconnues comme fertilisantes dans des parcelles qui ne reçoivent pas ou peu de fumure organique, ou bien de disposer d'un « stock » d'espèces pour permettre une recolonisation plus rapide de la strate arborée en cas de remise en jachère.

- *Faidherbia albida* y domine par sa fréquence spécifique (79 %) et imprime sa marque au paysage par une strate arborée. C'est une espèce préservée pour ses intérêts agronomique et économique reconnus, puisqu'il s'agit d'une espèce fertilisante en association avec les excréments du bétail qui séjourne sous ces arbres et pour lequel les gousses et les feuilles sont du fourrage. Par ailleurs, l'analyse du ratio nombre de pieds de *Faidherbia albida*/nombre de pieds d'autres espèces montre que celui-ci croît positivement avec les classes de circonférence : il est respectivement de 0,2, 0,3, 1,7 et 1,8 pour les quatre classes des trois villages. Nous sommes ici en présence d'un parc à *Faidherbia albida* péri-villageois, comme il en existe dans une vaste partie du Sahel autour des vieux villages (RAISON, 1988).

- Une présence de *Azadirachta indica*, alors qu'il est à l'origine essentiellement planté dans les concessions. Sa présence relativement fréquente à proximité des pieds d'autres arbres est vraisemblablement le fait d'une dissémination des graines par les oiseaux (DEPOMMIER, 1996).

Faidherbia albida n'est pas une espèce discriminante car elle est présente dans chacun des groupes significatifs de la zone agricole, avec des fréquences spécifiques de 40 % (groupe 4), 68 % (groupe 6) et 76 % (groupe 5). Néanmoins, il est intéressant de noter que plus la médiane de la distance moyenne au village augmente (figure 11), plus la fréquence spécifique de *Faidherbia albida* décroît. Par ailleurs, les pieds de *Faidherbia albida* supérieurs à 22 cm se situent globalement dans la première moitié des terroirs et les pieds inférieurs à 22 cm sur l'ensemble du terroir, avec de manière générale une tendance régressive du village vers sa périphérie (figure 12).

La figure 13 montre, quant à elle, des densités croissantes de *Guiera senegalensis* et de *Piliostigma reticulatum*, d'une absence au niveau du village jusqu'à un plateau.

Ces résultats semblent traduire la présence d'une zone de transition marquée à la fois par une extension de *Faidherbia albida* et du groupe 2. Cela est une conséquence d'une mise en culture continue progressive des champs de brousse avec élimination de *Guiera* et de *Piliostigma* ; ce contexte devenant favorable à un développement spatial de *Faidherbia albida*, espèce « opportuniste » de ces agro-écosystèmes.

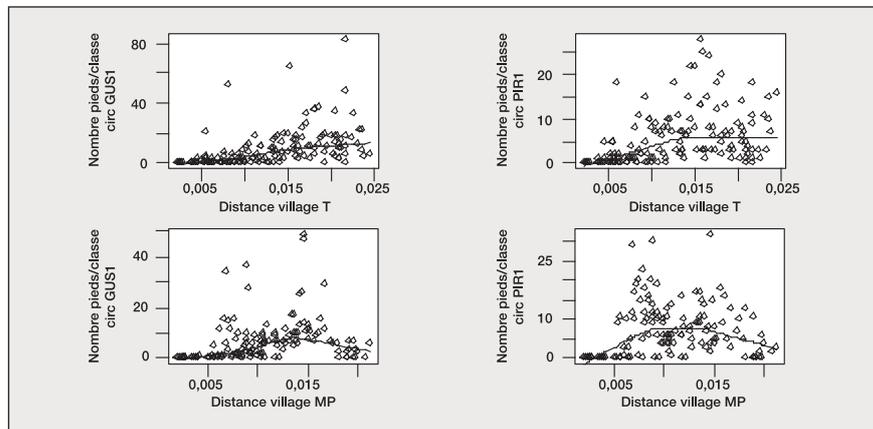


Figure 13.

Densité de *Guiera senegalensis* (Gs) et de *Piliostigma reticulatum* (Pr) (nombre de pieds par placette) en fonction de la distance au village de Tiogoni (T) ou de M'Pebugou Sokala (MP). Les distances en abscisse sont en degrés (0,01 degré étant sensiblement équivalent à 1,1 km). Les traits en plein indiquent les courbes de tendance. *Density (number of stems per square) of Guiera senegalensis (Gs) and Piliostigma reticulatum (Pr), according to their distance from the village of Tiogoni (T) or M'Pebugou Sokala (MP). The scale on the x axis is in degrees (0.01 degree is approximately equivalent to 1.1 km). The black lines show the trend curve.*

Une biodiversité arborée agroforestière révélatrice des changements agro-écologiques et socio-économiques des terroirs

L'observation courante du paysage laisse supposer qu'il y a une relation entre biodiversité arborée et unités d'utilisation de la terre des terroirs villageois. Les données récoltées dans les trois villages étudiés et l'analyse effectuée permettent de le confirmer pour les critères retenus et de le quantifier. Les unités d'utilisation des terres peuvent, de ce fait, être assimilées à des agro-écosystèmes, caractérisés par une biodiversité et des pratiques paysannes différentes.

La biodiversité à ses niveaux spécifiques et « agro-écosystémiques » n'est pas statique. Elle apparaît, au contraire, dynamique dans l'espace et dans le temps, s'inscrivant dans un processus global de construction des terroirs. Soumise aux changements agro-écologiques et socio-économiques qui s'y opèrent, elle en est également l'élément révélateur.

Qu'il s'agisse de l'extension des parcs agroforestiers de la zone sylvo-pastorale, dans lesquels les paysans sélectionnent les arbres pouvant satisfaire leurs besoins, du développement de *Faidherbia albida*, ou de l'apparition de nouvelles espèces par la plantation... la biodiversité se modèle au gré des changements rencontrés dans les modes d'utilisation des terres et des pratiques s'y rapportant.

Puisque l'étude entreprise sur ces trois terroirs se fonde sur des inventaires par échantillonnage, seules des tendances peuvent être dégagées. Une analyse diachronique à partir de photos aériennes pourrait permettre de juger de la variation de la densité arborée dans ces terroirs.

Néanmoins, certains indices tendent à montrer que la durée d'anthropisation des agro-écosystèmes n'est pas systématiquement responsable d'une baisse de la richesse spécifique.



La Marp. Une approche participative pour le recueil de données générales du village.
The PRAM. A participatory approach for the collection of general village data.
Photo N. Sibelet.



Coupe collective des rejets de souche annonçant les futurs travaux champêtres de l'hivernage.
Cutting back root shoots to prepare for agricultural tasks in the rainy season.
Photo C. Rouxel.



Labour en culture attelée.
Ploughing with a team of oxen.
Photo C. Rouxel.



Une zone de transition entre les champs de case sans strate basse et les champs de brousse parsemés de touffes de *Piliostigma reticulatum*.
A transition zone between village fields with no understorey and bush fields with scattered clumps of *Piliostigma reticulatum*.
Photo C. Rouxel.



Un parc à *Faidherbia albida* (« balanzan » en bambara, « kad » en français) en champs de case en saison sèche.
Parkland with *Faidherbia albida* ("balanzan" in the Bambara language) in village fields in the dry season.
Photo C. Rouxel.



Drageon de *Faidherbia albida*.
A *Faidherbia albida* sucker.
Photo C. Rouxel.

Avec 46 espèces en zone agricole, les parcs agroforestiers constituent un réservoir de ressources génétiques forestières non négligeable.

De plus, le groupe 2, bien que disposant de la médiane la plus faible pour le nombre d'espèces (figure 6), est le groupe qui présente la plus grande richesse spécifique (36 espèces), toutes placettes cumulées. Cela est d'autant plus remarquable que le groupe 2 compte le plus faible effectif de pieds recensés (1 041). Une forte hétérogénéité de composition spécifique existe donc entre les différentes unités d'échantillonnage de ce groupe.

L'analyse et les conclusions qu'on peut tirer des compositions spécifiques des parcs agroforestiers et de leurs dynamiques relatives peuvent dépendre des échelles spatiales et temporelles utilisées.

Une analyse plus poussée de l'un des terroirs à partir d'inventaires systématiques, corrélée à une analyse diachronique sur un laps de temps de plusieurs dizaines d'années, permettrait d'établir une comparaison entre les résultats obtenus selon les deux méthodologies différentes et de rendre compte d'une dynamique de la biodiversité spécifique plus proche de la réalité.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Sandrine Galletti (Cnearc) pour l'apport des données du village de Tiongoni, les différents techniciens forestiers de l'Icraf pour leur participation aux inventaires, Michel Arnaud (Cirad-tera) pour sa collaboration et son précieux apport à l'analyse statistique des données, Maya Leroy (Cnearc) pour l'encadrement de deux étudiants lors de leur stage et pour la relecture de cet article. Enfin, un merci aux habitants des trois villages pour leur accueil, leur disponibilité et leur aide dans la réalisation des cartes des terroirs et des inventaires.

Annexe 1.**Liste des familles et espèces recensées sur les terroirs.**

En gras dans la colonne effectif, les effectifs des espèces ayant été retenues comme variables pour les analyses factorielles, les autres étant regroupées sous la variable autres.

Familles	Espèces	Nom vernaculaire	Effectif
Anacardiacées	<i>Lannea microcarpa</i> Engl. et K. Krause	M ^o Pekouba	1
	<i>Mangifera indica</i> L.	Mangoro	28
	<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst.	N ^o gounan	134
Apocynacées	<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon	Zaba	9
Arécacées	<i>Borassus aethiopum</i> Mart.	Sebe	55
	<i>Hyphaene thebaica</i> (L.) Mart.	Zimini	24
Asclépiadiacées	<i>Calotropis procera</i> (Ait.) Ait. F.	Fukofuko	30
	<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne.	Zonie	1 799
Balanitacées	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	Zeguene	460
Bignoniacées	<i>Stereospermum kunthianum</i> Cham.	Soyirinin	50
Bombacacées	<i>Adansonia digitata</i> L.	Sira	42
	<i>Bombax costatum</i> Pellegr. et Vuillet	Bumbu	4
Burséracées	<i>Commiphora africana</i> (A. Rich.) Engl.		2
Capparacées	<i>Capparis corymbosa</i> Lam.		4
	<i>Capparis tomentosa</i> Lam.	Doncori	11
	<i>Maerua angolensis</i> DC.	Kokayirini	2
Célastracées	<i>Gymnosporia senegalensis</i> Aubrév.	Gnikélé	8
Césalpiniacées	<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.		5
	<i>Cordyla pinnata</i> (Lepr. ex-A. Rich.) Milne-Redhead	Dogora	6
	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	Niama	2 137
	<i>Tamarindus indica</i> L.	N ^o tomi	3
Combretacées	<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC.) Gill. et Perr.	N ^o Galama	1
	<i>Combretum aculeatum</i> Vent.	Wolokoli	46
	<i>Combretum micranthum</i> G. Don.	N ^o Golobe	515
	<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.	Kundje	5 337
Ébénacées	<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex-A. Rich.	Sunsun	210
Euphorbiacées	<i>Euphorbia balsamifera</i> Ait.	Sindjiba	21
	<i>Jatropha curcas</i> L.		7
	<i>Securinega virosa</i> (Roxb. ex-Willd.) Baill.		23
Fabacées	<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	Goni	2
	<i>Pterocarpus lucens</i> Guill. et Perr.	N ^o galayiri	3
Lythracées	<i>Lawsonia inermis</i> L.		6
Méliacées	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Saïyirini	241
Mimosacées	<i>Acacia ataxacantha</i> DC.	Murulu	3
	<i>Acacia macrostachya</i> Reichenb. ex-DC.	Bonzoni	150
	<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex-Del.	Buana	14
	<i>Acacia pennata</i> (L.) Willd.	Tufin	185
	<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd.	Patugu	1
	<i>Acacia seyal</i> Del.	Zadie	118
	<i>Acacia sieberiana</i> DC.	Baki	1 435
	<i>Albizia chevalierii</i> Harms		1
	<i>Dichrostachys glomerata</i> (Forssk.)	N ^o Gliki	15
	<i>Faidherbia albida</i> (Del.) Chev.	Balanzan	631
Moracées	<i>Ficus iteophylla</i>	Zere	3
	<i>Ficus platyphylla</i> Del.	N ^o Gaba	1
Myrtacées	<i>Psidium guajava</i>	Buyaki	1
Olacacées	<i>Ximenia americana</i> L.	Tonge	8
Polygalacées	<i>Securidaca longepedunculata</i> Fres.	Satine	4
Rhamnacées	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	N ^o tomo	542
	<i>Ziziphus mucronata</i> Willd.	Suruku N ^o Tomo	97
Rubiaceées	<i>Feretia canthioides</i> Hiern.	Mununa	223
	<i>Gardenia erubescens</i> Stapf. et Hutch	M ^o Boure	38
	<i>Gardenia ternifolia</i> Schumach. et Thonn.		10
	<i>Mitragyna inermis</i> (Willd.) Kuntze	Djoun	3
	<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn. F.	Si	187
Sapotacées	<i>Grewia mollis</i> Juss.	Nyonyodie	4
Verbénacées	<i>Vitex doniana</i> Sweet		1
27 familles	57 espèces		14 901 pieds

Références bibliographiques

- ARBONNIER M., 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Cirad/Mnhn, 573 p.
- BARBAULT R., 1992. Écologie des peuplements. Paris, France, Masson, 273 p.
- BARBIER J., GALLETTI S., 2002. Étude de la biodiversité agroforestière de deux terroirs villageois de la région de Ségou. Montpellier, France, Cnearc, 126 p.
- BENZECRI J.-P., 1973. L'analyse des données. II. L'analyse des correspondances. Paris, France, Dunod, 619 p.
- BERNARD C., 1999. Structure, dynamique et fonctionnement des parcs agroforestiers traditionnels : cas de Dolekaha, Nord Côte d'Ivoire, et Holom, Nord Cameroun. Thèse de doctorat, université Panthéon-Sorbonne (Paris I), 387 p.
- BOFFA J.-M., 2000. Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. Fao, Icrf, 258 p.
- CUNY P., SANOGO S., SOMMER N., 1997. Arbres du domaine soudanien : leurs usages et leur multiplication. Bamako, Mali, Ier, 120 p.
- DEPOMMIER D., 1996. Structure, dynamique et fonctionnement des parcs à *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. Caractérisation et influence des facteurs biophysiques et anthropiques sur l'aménagement et le devenir des parcs de Dossi et de Watinoma, Burkina Faso. Thèse de doctorat, université Pierre et Marie Curie (Paris VI), France, 559 p.
- DIDAY E., 1971. Une nouvelle méthode de classification automatique et reconnaissance de formes. La méthode des nuées dynamiques. Revue de Statistique Appliquée, 19 (2) : 19-33.
- GIJSBERG H. J. M., KESSLER J. J., KNEVEL M. K., 1994. Dynamic and natural regeneration of woody species in farmed parklands the Sahel region (province of Passoré, Burkina Faso). Forest Ecology and Management, 64 : 1-12.
- ICRAF, 2002. Augmenter la biodiversité des systèmes des parcs agroforestiers en vue d'améliorer le bien-être de la population rurale sahélienne pauvre. Un projet collaboratif pour réduire la pauvreté et enrichir la biodiversité par l'usage répandu d'arbres agroforestiers dans les champs. Icrf, 15 p.
- LE HOUEROU H. N., 1989. The grazing land ecosystems of the African Sahel. Berlin, Allemagne, Springer-Verlag, Ecological Studies 75.
- LERICOLLAIS A., 1989. La mort des arbres à Sob, en pays sereer (Sénégal). In : Tropiques, lieux et liens. Paris, France, Orstom, p. 187-197.
- OUEDRAOGO S. J., ALEXANDRE D. Y., 1996. Dynamique des parcs à *Faidherbia albida*. Contraintes écologiques et économiques sur le terroir de Watinoma au Burkina Faso. In : Les parcs à *Faidherbia*. Cah. Sc. du Cirad-forêt, 12 : 191-202. Paris, France, Cirad/Orstom/Coraf.
- PACHICO D., ASHHBY J., FARROX A., FUJISAKA S., JOHNSON N., WINOGRADE M., 1998. Case study and empirical evidence for assessing natural resource management research : the experience of CIAT. Paper presented at the workshop on accessing impacts in natural resource management research, April 27-29, ICRAF House, Nairobi, Kenya.
- PULLAN R. A., 1974. Farmed parklands in West Africa. Savanna, 3 (2) : 119-151.
- RAISON J.-P., 1988. Les parcs en Afrique : état des connaissances, perspectives de recherches. Document de travail. Paris, France, Ehess, Centre d'études africaines, 117 p.
- ROUXEL C., 2002. De la biodiversité arborée au sein de terroirs de la zone semi-aride ouest-africaine : cas des parcs agroforestiers du village de M'Pébougou Sokala (région de Ségou, Mali). Mémoire de fin d'études, Dess gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales, université Paris XII, 72 p.
- SALWA, 1994. Les parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest. Conclusions et recommandations d'un symposium international, 25-27 octobre 1993, Ouagadougou, Burkina Faso, 22 p.
- TORQUEBIAU E., MARY F., SIBELET N., 2002. Les associations agroforestières et leurs multiples enjeux. Bois et Forêts des Tropiques, 271 (1) : 23-35.

Synopsis

RELATIONSHIPS BETWEEN VILLAGE TERRITORIES AND THE BIODIVERSITY OF TREE SPECIES. CASE STUDY ON THREE VILLAGES IN THE SEGOU REGION (MALI)

Christophe ROUXEL, Julien BARBIER, Amadou NIANG, Bocary KAYA, Nicole SIBELET

Agroforestry parklands

are the dominant feature of Mali's agricultural landscape (90% of the country's agricultural lands). These are multifunctional areas that are used for agronomic, pastoral and domestic purposes, and which are also gene pools for forest resources. Declining biodiversity, reflected in a drop in species numbers and tree density, is the most common description of the evolution of these systems, in which the causes are both climatic and anthropogenic.

Evolution of tree resources

The aim of this article is to make new contributions to the understanding of the factors that determine the make-up and evolution of tree resources and their biodiversity. The methodology is mainly based on an agro-ecological approach using sampling and inventories coupled with GIS tools. Agro-ecosystemic and specific biodiversity is not static. On the contrary, it is dynamic in space and time and integral to the overall evolution of village territories. As this biodiversity is affected by agro-ecological and socio-economic changes, it also reveals those changes.

Biodiversity and the typology of ecological groups

Species richness in village territories is relatively high. 57 tree species were listed in 5% of the area of the village territories, and 46 species in the agricultural area.

A typology of ecological groups was built up by distinguishing between species by presence and absence. Seven ecological groups were established using biodiversity criteria: number of species, number of stems, the Shannon indicator (H), the Piélou indicator (E) and circumference class ratios per sampling unit.

Biodiversity as a reflection of changes in land use

The squares of the different groups agree in spatial terms with the different land use units defined by the farmers. Only one group characterizes areas which had never been cultivated in the entire agrarian history of the villages (the forest-pastoral area), or were left fallow (islands), as well as areas cultivated from an early stage (village fields). Areas cultivated for some decades (bush fields) fall into 4 groups: the soil seems to be an influential factor in the distribution of discriminating species.

Tree density and average circumference are indicators of the duration of cultivation in a given space: they are related negatively in the first case and positively in the second. Furthermore, a transition area extends from the boundary between village and bush fields to the bush fields themselves: there is a progressive increase in the densities of *Piliostigma reticulatum* and *Guiera senegalensis*. In parallel, *Faidherbia albida*, which is initially present in the village fields, tends to propagate through the entire village territory as permanent cultivation extends outwards.

The presence of planted exotic species in village fields is another indicator of changes in agroforestry practice.