

FACTEURS ECOLOGIQUES ET VARIABILITE SPATIALE DE LA FLORE DANS LA RESERVE DE FINA AU MALI.

Hady DIALLO¹, Amadou MAIGA², Yacouba MAIGA², Drissa DIALLO³

¹Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA, Mali),

Tél. (0023) 69 26 65 60, Courriel : hadys01@yahoo.fr, Bamako

² Université des Sciences, des Techniques et des Technologiques de Bamako (Mali)

³Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) Katibougou (Mali).

RESUME

L'influence des facteurs du milieu (texture du sol, pH et altitude avec les zones forestières ou facteur impact humain) sur la variation de la composition floristique a été étudiée dans la réserve de Fina. Les échantillons composites de sol associés à l'inventaire floristique complet ont été prélevés dans l'horizon 0-20 cm. Ce prélèvement a été réalisé en fonction de 4 unités géomorphologiques (plateau, glacis, plaine, vallée) dans 3 zones : référence protégée, tampon peu protégée et transition non protégée. Les résultats de l'analyse granulométrique ont révélé que le limon constitue la fraction la plus représentative de la couche arable des sols de la réserve de Fina avec des proportions plus élevées (> 35 %) en zones de référence et tampon qu'à la zone de transition (environ 26 %). Ce qui suggère une certaine influence des activités anthropiques sur la texture du sol. Dans l'ensemble des 3 zones, les valeurs mesurées du pH sont légèrement acides (> 5,5) et proches de la neutralité et qui serait le seuil favorable à une bonne assimilation des minéraux par les plantes. Ceci indiquerait que l'anthropisation n'a pas d'influence sur le pH. L'analyse canonique des correspondances a montré que tout comme la teneur du sol en limon lié à la géomorphologie, l'anthropisation constitue aussi un facteur déterminant du milieu dans la structuration de la végétation.

Mots clés : Facteurs écologiques, sols, composition floristique, réserve de Fina, Mali.

ENVIRONMENTAL FACTORS AND FLORISTIC SPATIAL VARIATION IN THE FINA RESERVE IN MALI.

ABSTRACT

The influence of some environmental factors (soil texture, pH, altitude and distance between villages and forest areas or human impact factor) on the floristic composition variation was studied in the Fina reserve. Soil composite samples associated with the complete floristic inventory were taken at a depth of 0-20 cm soil layer corresponding to the slice of the most dynamic of soil organic matter and more influenced by agricultural activities. This composite soil sample executed according to four geomorphic units (tray, glaze, plain, and valley) in 3 zones: reference protected zone, tampon buffer zone and transition unprotected zone. A complete floristic inventory was also conducted according to this device. The analysis results of the soil particle size indicate that the silt fraction is the most representative for topsoil reserve with a higher tendency in reference and buffer zones with more than 35% compared to the transition zone with 26%. This suggests human activities influence on soil texture. In all three zones, the pH values are slightly

acidic (> 5.5) and near-neutral pH favoring assimilation of important minerals by plants. This would indicate that human impact has no influence on the pH. The Canonical Correspondence Analysis showed that as the silt content of the soil related to geomorphology, the human impact is also an important environmental factor in structuring the vegetation.

Keywords : Environmental factors, soil, floristic composition, Fina reserve, Mali.

IJSER

INTRODUCTION

La compréhension de la variation spatiale des communautés floristiques et la diversification des espèces reposent sur des interactions incessantes entre les populations d'individus d'espèces et les facteurs écologiques du milieu (Bouzillé, 2007). Un facteur écologique est un élément du milieu susceptible d'agir directement sur le développement d'un être vivant (Dazoz, 2006). Il peut jouer le rôle de facteur limitant soit par son absence et/ou soit par son excès lorsqu'il conditionne les possibilités de succès d'un organisme dans ses tentatives de colonisation du milieu (Barbault, 1995 ; Shelfold, 1911 in Dazoz, 2006). Un facteur limitant pour certaines espèces peut être favorisant pour d'autres (Casenave & Valentin, 1989 ; Masse, 1992). La complexité de l'analyse de l'organisation des espèces dans la nature est imputable à l'action conjuguée des facteurs abiotiques (texture du sol, structure sol, composition chimique du sol, pH, altitude...) et biotiques (mise en cultures, pâturage, exploitation...) à laquelle sont soumis de façon simultanée les êtres vivants (Sabatier, 1983 ; Bilodeau, 2010). Cela montre toute la complexité d'étudier l'influence d'un facteur sur un être vivant, celle-ci pouvant être modifiée par l'action d'un autre facteur (Sabatier, 1983 ; Fournier *et al.*, 2001).

En effet, la dynamique des nutriments dans les sols est la résultante des interactions entre le climat, la géomorphologie et la biocénose (Delabre, 1998 ; Jauffret & Visser, 2003). A l'échelle du paysage, ce sont notamment les conditions géomorphologiques et édaphiques qui déterminent principalement les différents faciès de savane (Belsky, 1995). La diversité des propriétés des sols qui en découle, est fonction des roches mères sur lesquelles ces sols se sont développés et leur degré d'altération et d'érosion (Delabre, 1998; Hiernaux & Bruno, 1998). Ces propriétés du sol sont modifiées par une série d'interactions dont les plus actives sont les interactions qui se produisent entre le sol, le climat et la géomorphologie affectant le pédoclimat, les cycles biogéochimiques, le lessivage, d'une part, et de l'autre, l'érosion du sol avec son corollaire de transport et le dépôt des sédiments et des nutriments (Delabre, 1998).

La réserve forestière de Fina qui fait l'objet de cette étude en zone soudanienne du Mali, connaît depuis quelques décennies une importante dégradation liée aux activités agropastorales (Kébé, 1994 ; Karembé, 2001). Les systèmes de cultures sur abattis-brûlis, avec reconstitution de la fertilité par la mise en jachère des terres, ont donc progressivement laissé la place à des systèmes de culture continue suite à l'accroissement de la population (Yossi, 1996 ; Floret *et al.*, 2001 ; Blanchard, 2010). Les risques encourus par les systèmes actuels de culture sur le capital foncier et la fertilité des sols ont été mis en évidence par de nombreuses études (Dembélé *et al.*, 2003 ; Diallo *et al.*, 2004). La synthèse des travaux réalisés par Héringa *et al.* (1988) et par PIRT (1986) révèle que les paysans s'adonnent beaucoup plus à la monoculture axée sur l'exploitation minière du sol. Cette synthèse indique également que la texture des sols de la région du Baoulé est à dominance limoneuse avec une faible teneur en argile. Le pH est faible avec une tendance à la

neutralité. Selon ces auteurs, la teneur basse en argile, et surtout la teneur élevée en limon et la texture fine du sable rendent ces sols vulnérables au compactage.

De façon générale, les caractéristiques pédologiques les plus souvent invoquées dans la dégradation rapide des sols de ces écosystèmes soudanais sont les faibles teneurs en argile et/ou en matière organique des horizons de surface (Diallo *et al.*, 2004). Les difficultés de maintien du potentiel de la fertilité des sols ont été également soulignées comme l'une des causes de dégradation des sols des milieux soudanais dont la réserve de Fina (Piéri, 1989).

Face à la dégradation des ressources naturelles dans les paysages non protégés, les pressions anthropiques sur la réserve sont croissantes et les futures actions d'aménagement des écosystèmes seront certainement la restauration des écosystèmes dégradés (Diarra, 1985 ; Roose & Barthès, 2006). Cela implique une bonne maîtrise de l'écologie des espèces locales (Chazdon, 2008). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence des facteurs du milieu sur la composition floristique dans la zone forestière protégée (centrale ou de référence) par rapport aux zones de transition et de tampon (non protégées) sur 4 unités géomorphologiques (le plateau, le glacis, la plaine et la vallée) en vue de la meilleure compréhension de leur écologie. Pour ce faire, les facteurs du milieu notamment la texture (argile, limon, sable, gravier), le pH et l'altitude ont été retenus par unité géomorphologique et par zone comme variables explicatives de la variation floristique des zones étudiées. L'hypothèse émise est que dans la réserve, la composition floristique est influencée par les gradients géomorphologique et anthropique. Pour tester cette hypothèse, il a été question de savoir si dans la structuration de la composition floristique, le niveau d'anthropisation (zonage) prime sur la géomorphologie à laquelle sont liées étroitement les conditions pédologiques locales (altitude, texture et pH du sol) ?

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Milieu d'étude

L'étude a été réalisée dans la réserve de Fina, une des trois réserves adjacentes de la réserve de biosphère de la boucle du Baoulé située dans le centre d'endémisme soudanien. Elle est située à 70 km au nord-ouest de Bamako (Fig.1), entre 13°10' et 13°40' de latitude Nord et 9°30' et 9°50' de longitude Ouest. Elle couvre une superficie d'environ 668 405 ha de zone protégée, 28 000 ha de zone de tampon et 860 000 hectares de zone de transition. En 1993, l'aire centrale de la réserve de Fina a fait l'objet d'un déclassement et sa superficie est passée de 136 000 ha à 108 668 ha. Malgré ce déclassement, cette zone continue de subir des pressions foncière et animale très fortes.

La pluviométrie dans le Fina est monomodale avec des pluies entre les mois d'avril et octobre et une moyenne annuelle de 1 100 mm au sud et de 900 mm au nord avec des variations annuelles à la baisse (Nasi, 1994). La température moyenne annuelle est comprise entre 26°C et 31°C avec une amplitude thermique diurne de 5° à 10°.

La réserve de Fina repose sur un plateau gréseux, caractérisé par des sols peu profonds, rocheux ou latéritiques. Au pied du plateau, on trouve parfois des glacis. Les niveaux

intermédiaires et bas sont difficiles à distinguer et présentent la forme de petits plateaux et de bowés. Entre les plateaux existent à certains endroits des vallées à hydromorphie temporaire. Au pied du plateau, on trouve des plaines assez étendues de sols ferrugineux tropicaux de texture sableuse ou argilo sableuse de couleur jaune et ocre avec des cuirasses latéritiques dans la direction de l'affluent Baoulé. Tout le long de l'affluent, est occupée par presque toujours une haute terrasse de 5 m à 8 m élevée au-dessus de son lit d'une largeur de 100 m à 200 m.

Le nord de la Réserve est dominé par les Combrétacées et où le tapis herbacé est caractérisé par l'absence ou la rareté des graminées pérennes. Au sud se trouve la savane à *Isoberlinia doka* (Heringa *et al.*, 1988). Le long des cours d'eau est occupé par des galeries forestières.

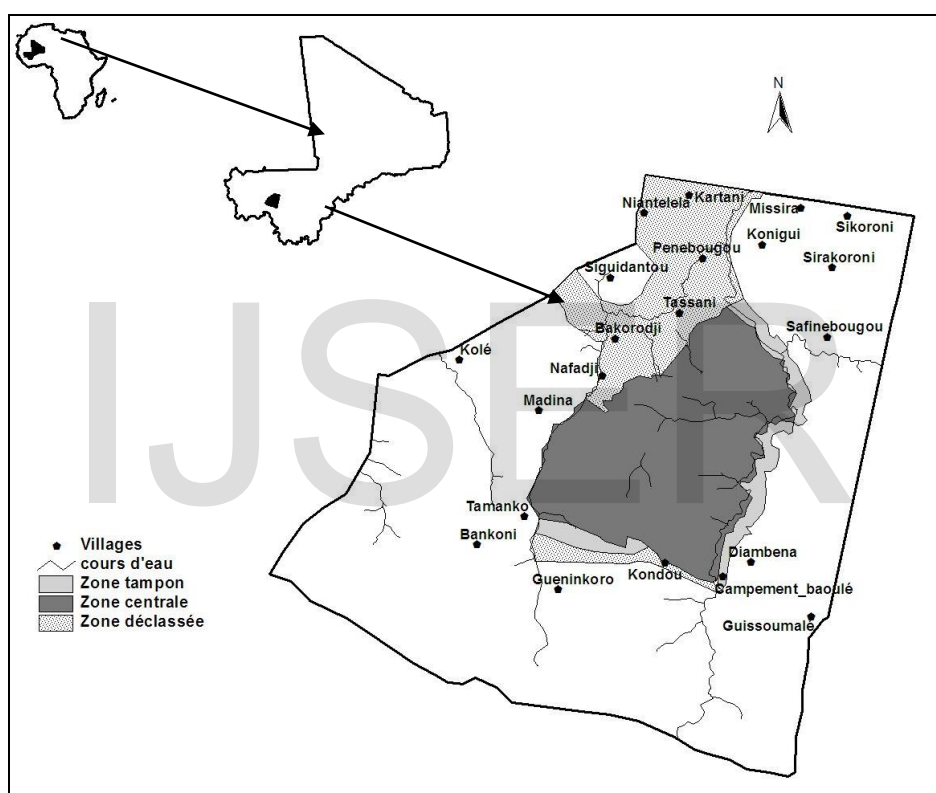


Figure 1. Localisation de la réserve de Fina.

1.2. Technique d'échantillonnage

Un prélèvement de 48 échantillons composites de sol (4 unités géomorphologiques \times 4 répétitions \times 3 zones) dans la tranche de profondeur 0-20 cm à l'aide d'une tarière appropriée a été effectué sur le site d'étude. Il faut signaler qu'il était difficile d'atteindre cette profondeur de 20 cm pour les unités de plateaux dont les sols sont dominés par des affleurements de roches. Les valeurs d'altitude extraites du GPS ont servi à caractériser la position géomorphologique des différents relevés réalisés dans chaque unité.

Les données floristiques (ligneuses et herbacées) ont été collectées sur les mêmes parcelles dans lesquelles les échantillons de sol ont été prélevés.

1.3 Analyse des échantillons de sol

L'ensemble des échantillons prélevés dans l'horizon de surface 0-20 cm a été soumis à des analyses granulométriques effectuées sur la terre fine par la méthode de pipette de Robinson-Köhn (Baize, 2003). Les différentes classes texturales ont été identifiées selon le système international de la FAO « *FAO textural triangle* ». La proportion des éléments grossiers (graviers) de taille supérieure à 2 mm a été déterminée au préalable par tamisage sur chaque échantillon. Le pH du sol a été mesuré par pH-métrie dans un rapport terre/eau: 1:2,5 (Pauwels, 1992). Ces différentes analyses des échantillons de sol (texture et pH) ont été faites dans le laboratoire Sol-Eau-Plante de l'I.E.R de Sotuba.

1.4 Analyse statistique des données

Les tests *ANOVA* à une significativité de 5 % appliqués sur les différentes fractions granulométriques du sol, le pH en fonction des unités géomorphologiques et les 3 zones ont été effectués à partir du programme R après vérification de la normalité des données. Le test *HSD de Tukey*, a été effectué chaque fois que la probabilité calculée était significative pour comparer les différentes moyennes et apprécier les différences significatives qui existent entre celles-ci. Le test non paramétrique de *Kruskal-Wallis* a été appliqué aux données pédologiques anormalement distribuées (Sherrer, 2007).

Une analyse canonique par correspondance *CCA* a été appliquée pour l'ordination des relevés floristique et l'analyse des facteurs écologiques (48 relevés x 207 espèces et 48 relevés x 6 facteurs écologiques : limon, sable, argile, gravier, pH, altitude). A cet effet, le programme *Canoco* (Canonical Community Ordination) for windows, version 4 (ter Braak & Smilauer, 1998) a été utilisé.

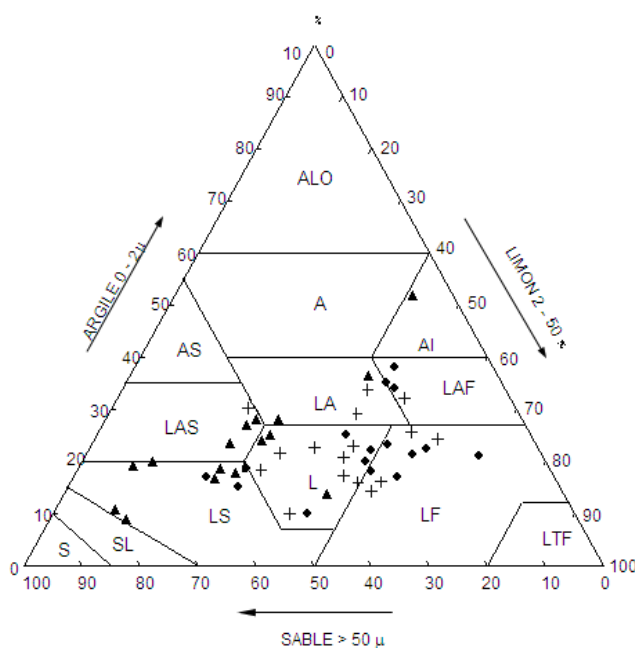
2. RESULTATS

2.1. La texture du sol

Les principaux résultats de l'analyse granulométrique des sols des zones étudiées suivant les 4 faciès sont présentés dans la Fig 1 et dans le Tableau I.

L'analyse des résultats montre d'une façon générale que les sols des zones étudiées sont majoritairement dominés par la fraction limoneuse (**Fig. 2**).

Le limon paraît la fraction granulométrique la plus représentative de la couche arable pour les sols étudiés. Selon les limites granulométriques utilisées dans le système international de la FAO, les sols étudiés entrent dans les classes limon « L », limon-fin « LF » à limon argilo-fin « LAF » pour les zones de référence et de tampon, et d'un sable limoneux « SL » à limon sableux « LS » voire limon argileux « LA » à limon « L » pour la zone de transition (**Fig. 2**). La fraction limoneuse en zone de transition est différente de celle des zones de tampon et de référence. Elle représente plus de 45 % des fractions granulométriques pour les sols des zones de référence et de tampon. Par ailleurs, la fraction limoneuse représente seulement 26% pour la zone de transition. La différence constatée entre les zones de transition et de tampon comparativement à la zone de référence traduirait les conditions pédologiques naturelles de cette dernière.



▲ : Transition, + : Tampon, ◆ : Référence.

Fig 2. Diagramme textural FAO des échantillons composites du sol entre 0-20 cm de profondeur en fonction des 3 zones. (N = 48)

Le Tableau I de l'analyse de variance à deux facteurs indique que les unités géomorphologiques n'ont aucun effet significatif sur les caractéristiques granulométriques des sols.

Tableau I. Effets des unités géomorphologiques et des zones sur les caractéristiques granulométriques des sols.

Texture	Facteurs (géomorphologie et zones)	Sum Sq	Df	F value	p
Argile	Unités géomorphologiques	445,56	3	2,51	0,07
	Zones	8,29	2	0,07	0,93
	Unités géomorphologiques zones	01,38	6	1,97	0,09
	Résidus	2127,25	36		
Limon	Unités géomorphologiques	414,6	3	1,19	0,32
	Zones	4177,5	2	18,04	0,00003***
	Unités géomorphologiques zones	503,1	6	0,72	0,63
	Résidus	4167,3	36		
Sable	Unités géomorphologiques	1030,0	3	1,60	0,20
	Zones	3937,5	2	9,18	0,0005***
	Unités géomorphologiques zones	1607,5	6	1,25	0,30
	Résidus	7716,0	36		

*** : très hautement significatif ; sans étoile : non significatif ; N= 48 ; p au seuil de 5% ; Df : degré de liberté ; Sum sq : somme des carrés des moyennes, F value : statistique du test.

L'effet de l'interaction entre zones et unités géomorphologiques est aussi non significatif sur la texture des sols. Par contre, l'effet zone excepté la fraction argileuse ($p > 0,05$), est

significatif ($p < 0,001$) sur les fractions limoneuse et sableuse. En effet, la fraction argileuse, réputée faible pour les sols des milieux soudaniens, reste encore stable dans ces zones. Il est probable que l'absence de différence soit liée au nombre restreint d'échantillons de sols prélevés dans chaque zone forestière en fonction des unités géomorphologiques. L'effet zones sur les fractions limoneuse et sableuse serait lié également à l'hétérogénéité du sol en particulier l'humidité (galerie forestière) d'une part et le modelé du microrelief créé par les pratiques agricoles d'autre part. L'apport divers des fractions fines du sol (argile) de la zone de transition vers l'affluent baoulé en zone de tampon suite aux eaux de ruissellement contribuerait à cette différence. Ces enrichissements seraient probablement le reflet de l'interconnexion entre la zone de transition fréquemment cultivée et la zone de tampon non cultivée mais qui sert de couloirs de passage pour les animaux transhumants.

2.2. Le pH du sol

La position géomorphologique, le zonage ainsi que leur interaction (Tableau II) n'ont aucun effet significatif sur le pH ($p > 0,05$). L'analyse des valeurs moyennes et des écartypes du pH du sol sous les 3 zones forestières en fonction des 4 unités géomorphologiques montre que les sols sont dans l'ensemble légèrement acides et proches du pH neutre. Le pH le plus élevé est observé dans la zone de transition sur les unités de plaine ($6,83 \pm 0,70$), suivie par la référence également sur les unités de plaine ($6,61 \pm 0,67$). Par contre, le plus faible pH est enregistré en zone tampon dans les vallées ($6,10 \pm 0,48$).

Tableau II. Effets des unités géomorphologiques et des zones sur le pH des sols.

Texture	Unités géomorphologiques et zones	Sum Sq	Df	Fvalue	P
pH	Unités géomorphologiques	0,32	3	0,69	0,56
	Zones	0,09	2	0,28	0,75
	Unités géomorphologiques zones	1,69	6	1,79	0,12
	Résidus	5,67	36		

N= 48 ; P au seuil de 5% ; Df : degré de liberté ; Sum sq : somme des carrés des moyennes, F value : statistique du test.

2.3. Corrélation entre espèces et variables environnementales

La variance floristique ou l'inertie absorbée respectivement par les axes 1, 2, 3 et 4 à partir d'une CCA est de 6,93 % (**Tableau III**). L'analyse du tableau montre que les variables environnementales sont corrélées à 13,41 % (obtenue en faisant le rapport en pourcentage de la somme des valeurs propres canoniques sur la somme des valeurs propres) de la variabilité floristique. Les deux premiers axes contribuent à expliquer 51% de la dispersion des variables dans le diagramme CCA (**Fig. 3**).

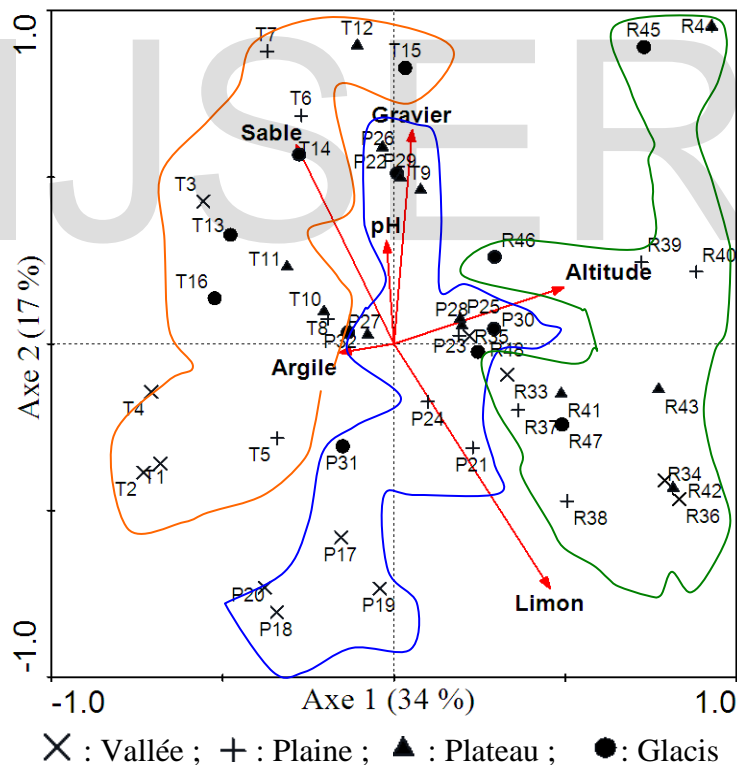
La CCA révèle aussi suivant les deux premiers axes canoniques, une distinction de trois groupes de relevés qui correspondent aux zones de transition (perturbée), de tampon (peu perturbée) et de référence (moins perturbée) ainsi que la superposition des corrélations avec différents paramètres environnementaux.

Tableau III. Valeurs de la variance de la composition floristique expliquée par les quatre premiers axes de la CCA.

Axes	1	2	3	4	Inertie totale
Valeurs propres	0,34	,17	0,16	0,14	6,93
Corrélations espèces environnement	0,89	0,88	0,84	0,86	
Pourcentage cumulé de variance des espèces	3,5	6,0	8,3	10,4	
De la relation espèces environnement	26	44,5	62,2	77,9	
Somme des valeurs propres					6,93
Somme des valeurs propres canoniques					0,92

Le coté positif de l'axe 1 est corrélé à la teneur en gravier et à l'altitude et le coté négatif est corrélé à la teneur en argile. Cette dernière est négativement corrélée à la teneur sable. Par contre le coté positif de l'axe 2 est corrélé à la teneur du sol en sable et à son pH. Il faut noter que la corrélation avec le pH est plus faible et le sable n'explique pas suffisamment la variabilité floristique.

Sur le coté négatif de l'axe 2 se trouve la teneur du sol en limon le plus corrélé à cet axe et qui traduit l'influence de ce facteur sur la structuration de la composition floristique.



(48 relevés x 207 espèces ; 48 relevés x 6 facteurs écologiques). Les flèches représentant les facteurs écologiques qui sont orientées dans la direction du changement maximal de la variable. Les variables écologiques qui ont de longues flèches sont plus corrélées avec l'axe d'ordination que les autres et expliquent mieux le modèle de variation floristique tel que présenté dans la figure.

Fig. 3. Diagramme de l'ordination des relevés et des variables écologiques dans le plan factoriel des deux premiers axes (axe 1 : horizontal ; axe 2 : vertical) de la CCA.

Le test de Monte Carlo (**Tableau IV**) met en évidence l'influence marquée du facteur limon ($F = 1,55 ; p < 0,01$) sur la composition floristique parmi les différents paramètres étudiés.

Tableau IV. Facteurs explicatifs de la variabilité floristique à l'échelle des zones.

Variables	Ratio-F	P
Gravier	0,76	0,91
Sable	0,98	0,51
Argile	0,74	0,92
pH	1,01	0,44
Altitude	1,13	0,15
Limon	1,55	0,008**

** hautement significatif

2.4. Classification hiérarchique ascendante

La classification hiérarchique ascendante (**Fig. 4**) de la matrice relevés \times espèces a permis d'établir un dendrogramme séparant trois sous-ensembles de relevés.

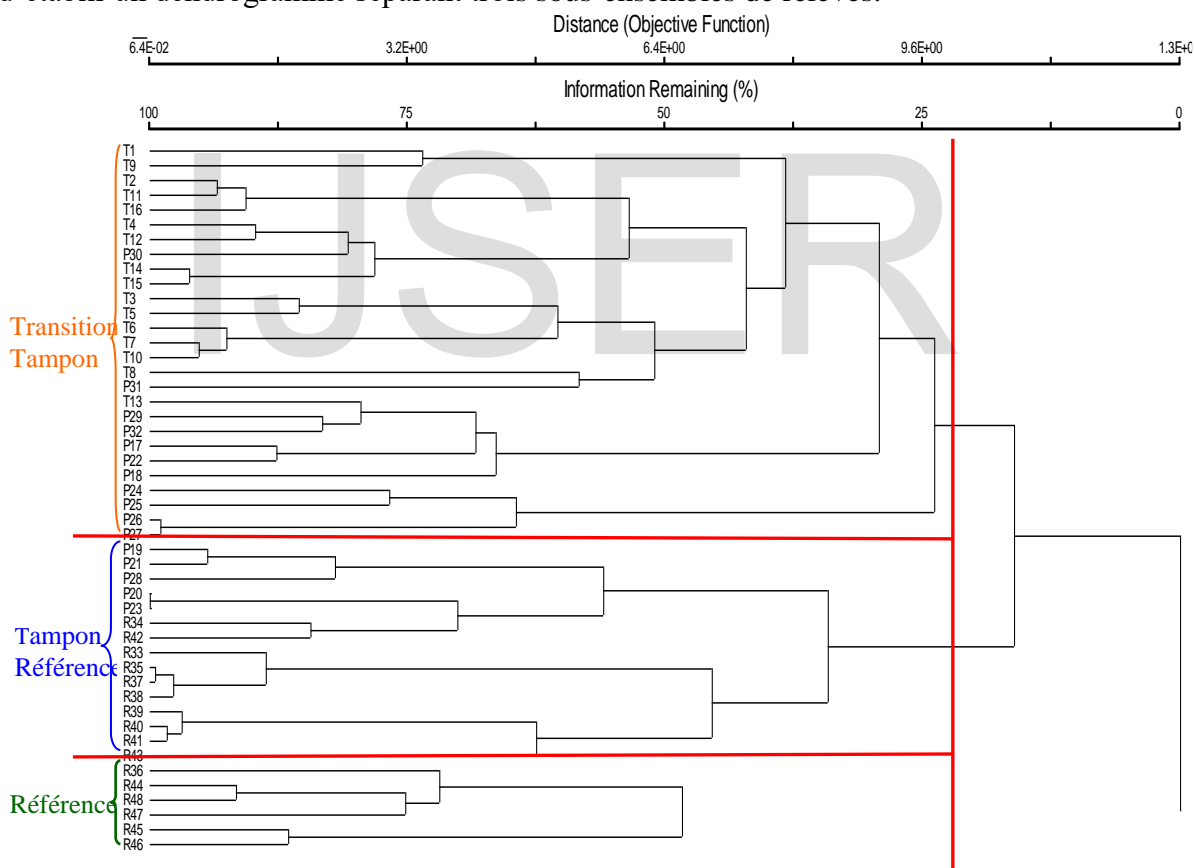


Fig. 4. Classification hiérarchique ascendante de la matrice 48 relevés \times 207 espèces suivant la méthode d'agrégation de Ward's et la mesure de distance de similarité relative de Sørensen.

Les résultats de cette classification ressortent mieux le dispositif de zonage en comparaison au facteur géomorphologique bien que le facteur sol (limon) ait plus d'influence sur la distribution floristique, et correspondent au regroupement obtenu avec la CCA. Cette

distinction est plus prononcée entre la zone de référence et les deux autres zones : transition et tampon dont les relevés sont légèrement mélangés.

3. DISCUSSION

3.1. Texture

Les résultats de notre étude ont montré que la texture du sol dans la réserve de Fina au sud du Mali est principalement dominée par la fraction limoneuse associée avec l'argile et du sable. Ces résultats convergent à ceux rendus par de nombreux auteurs (Heringa *et al.*, 1988 ; PIRT, 1986 ; Nasi, 1994 ; Gigou *et al.*, 2003) sur la texture des sols dans les milieux soudaniens au Mali, qui ont montré cette prépondérance des limons. En effet, les sols riches en limon ont généralement une faible cohésion et une faible stabilité structurale (Roose & Barthès, 2006). De tels sols, bien que potentiellement propice à l'installation de la végétation et des cultures, sont sensibles à l'érosion et aux effets de piétinement (Carrière, 1999). En zone de savane, les effets du piétinement sont généralement moins importants sur les sols secs de nature sableuse alors que leur incidence est parfois spectaculaire sur les sols humides riches en éléments fins comme les limons et argiles non gonflantes (Carrière, 1999). Il s'ensuit parfois un compactage (Toutain *et al.*, 1983 ; Daget & Godron, 1995) induisant une baisse de l'infiltrabilité (Boutrais, 1994).

Les différences actuelles à travers les résultats des fractions granulométriques entre les trois zones forestières confirmées par les diagrammes de texture de la FAO peuvent être imputées à la toposéquence d'une part et d'autre, à l'hétérogénéité spatiale de la couverture pédologique étudiée. En fait, la texture du sol est un paramètre édaphique qui évolue moins sous l'influence directe des activités agricoles (Van Wambeke, 1995). Dans cette optique, les différences observées des teneurs en fractions granulométriques seraient éventuellement liées à la position géomorphologique qui conditionne la nature des sols et la dynamique de leurs attributs de la fertilité (Penning de Vries & Djitèye, 1982 ; Lykke, 2000 ; Diouf *et al.*, 2004). Pour une altitude élevée (plateau) correspond un sol gravillonnaire ou caillouteux et sec et au contraire pour une altitude faible (bas fonds) le sol souvent humide est dépourvu de gravillons, abondant en limons en combinaison avec le sable et ou l'argile (Wala, 2004 ; Ouédraogo, 2009). Lal (1996) démontre que la pratique de mise en culture continue des terres arables basées sur des jachères de courte durée entraîne une diminution de la teneur en argile du sol des horizons de surface et les enrichit en fractions sableuses. Nos résultats concordent avec ceux d'abondantes littératures qui ont démontré les faibles teneurs en argile de nombreux sols des savanes soudaniennes du Mali (PIRT, 1986 ; Diallo *et al.*, 2004). Ces faibles teneurs en argile sont considérées comme les causes de dégradation rapide des sols et déterminent également leur grande vulnérabilité à l'érosion (Diallo *et al.*, 2004; Roose & Barthès, 2006).

3.2. pH

Dans la réserve, le pH obtenu est proche de la neutralité qui est une condition favorable au développement des espèces végétales. L'assimilation des éléments nutritifs par les plantes est meilleure pour des pH voisins de la neutralité (Boyer, 1982). Malgré cela,

l'acidification est à craindre avec l'accroissement de la mise en cultures permanentes et continues des terres arables sans observer les périodes des jachères. Lorsque le pH diminue, l'acidité s'accompagne d'un risque de toxicité aluminique avec des dysfonctionnements racinaires, provoquant des difficultés d'alimentation des plantes (Reyniers & Netoyo, 1994). Soulignons tout de même que, la teneur en éléments chimiques des sols est sensible à la pression animale (Kièma, 2007). A cet égard, Devineau *et al.* (2009) montrent que, dans une zone à forte activité agro-pastorale, il s'en suit très souvent, une réduction des nutriments et une augmentation éphémère du pH de l'horizon supérieur. Ces auteurs ont souligné que les érosions éolienne et hydrique augmentent sensiblement sous l'effet de la pression animale avec un risque élevé de lessivage des minéraux.

3.3. Corrélation espèces et variables environnementales

L'analyse canonique par correspondance CCA associée à une classification ascendante hiérarchique (CAH) a permis, d'une part de mettre en évidence l'importance des variables et leurs relations et, d'autre part, d'établir un regroupement des relevés floristiques sur la base de leurs caractéristiques édaphiques en fonction de la géomorphologie et du zonage de la réserve. Cependant, ce regroupement est mieux structuré suivant le dispositif de zonage en comparaison aux unités géomorphologiques (plateaux, glacis, vallées, plaines) et met en exergue, en plus du facteur limon, l'influence de l'anthropisation sur la composition floristique et une distinction entre milieux perturbés (transition et tampon) et milieux non perturbés (référence). En effet, dans des conditions écologiques locales pratiquement semblables dans la réserve, le zonage caractérisant l'anthropisation est aussi important que les facteurs texture du sol qui sont liés aux conditions géomorphologiques dans la structuration floristique. Cette anthropisation aurait aussi une certaine influence sur la texture du sol en particulier sur la teneur en limon.

Dans la réserve étudiée, une succession d'occupation de l'espace des parcs agroforestiers vers les formations naturelles des milieux non protégés et protégés est visible. Ces formations naturelles se distinguent par une dégradation marquée dans les milieux non protégés à forte activité agropastorale comparativement aux milieux protégés. Rouxel *et al.* (2005) ont fait la même remarque dans la région de Ségou au Mali tout en soulignant que la densité arborée croît progressivement quand on s'éloigne successivement des villages vers les champs de case, les champs de brousse et les formations naturelles. Le même constat a été fait par Yossi (1996) en zone soudanienne. Les perturbations multiples pour la végétation naturelle en milieux non protégés créent une polarisation dans la flore en distinguant d'un côté les espèces tolérantes et de l'autre côté, les espèces sensibles aux nouvelles conditions de sélection (Birnbaum, 2005). Les espèces tolérantes ou résistantes aux pressions de mise en cultures, de feu, à la coupe et à l'émondage semblent être favorisées avec une aptitude à coloniser les espaces. Les espèces sensibles aux conditions anthropiques vont se fractionner et se cantonner dans des environnements protégés et ou marqués par des sources résurgentes qui forment des isolats dans les hauts glacis, les

plateaux gréseux et les galeries forestières, secteurs inaccessibles dans les savanes exploitées (Akpo, 1998 ; Cordonnier, 2004).

Dans la réserve, le pH étant faiblement acide pour l'ensemble de la zone, ne semble pas être un facteur limitant de croissance pour de nombreuses plantes supérieures (Dabin, 1985). La petite variation observée dans la réserve pour le pH indique moins l'effet anthropique mais au contraire, l'hétérogénéité de la couverture pédologique étudiée. Par ailleurs, la géomorphologie a toujours été citée comme variable discriminante à laquelle est corrélé le type de sol (Sinsin, 1993; Wala, 2004) et intervient par le biais du drainage, en induisant une composition floristique spécifique différente. Des études analysant la dynamique du couvert végétal par rapport à la séquence géomorphologique, ont montré que les vallées humides, en basse altitude abritent une flore beaucoup plus riche que les plateaux (Lykke, 2000). Dans les milieux localisés sur les unités de plateaux ou les sols sont plus riches en limon et en sable fortement graveleux les plantes éprouvent beaucoup de difficultés à développer leurs racines (Lucot & Gaiffe, 1995 ; Wala, 2004 ; Masharabu, 2011). Les seules portions de terre disponibles (recouvrement limono sableux et irréguliers pour le cas de la réserve de Fina) constituent pour les plantes non seulement la source de nutriments, mais aussi le réservoir d'eau utile (Lucot & Gaiffe, 1995). L'installation des plantes serait donc limitée par une charge graveleuse élevée au niveau de ces unités de plateaux. Globalement on peut considérer la variable altitudinale comme un des facteurs qui contribue aussi à la variabilité spatiale de la flore dans la réserve.

La CCA a aussi montré que la corrélation entre espèces et variables environnementales est faible (13 %). Cette faible variance suggère une évaluation approximative de l'hétérogénéité environnementale, à l'implication d'autres facteurs environnementaux entre autres: la pente, les variations pluviométriques (Slik *et al.*, 2003), le pâturage, les feux, les interactions fauniques, la dispersion des diaspores (Hubbell, 1979 ; Sheil & Salim, 2004) et même à l'échantillonnage (Kouob, 2009). La profondeur du sol est également un facteur à considérer dans la variance inexpliquée et demeure en zone soudanienne comme un paramètre édaphique principal qui explique le changement floristique d'un écosystème à l'autre du fait qu'elle intervient dans la répartition verticale des paramètres édaphiques (Ouédraogo, 2009). L'évaluation de la pente, la combinaison de la texture du sol à la proportion des cations échangeables au niveau pédologique permettraient d'obtenir de meilleurs résultats (Pieri, 1989 ; Vormisto *et al.*, 2004 ; Ouédraogo, 2009).

4. CONCLUSION

Les résultats de l'étude ont montré que les 3 zones forestières étant dans des conditions géomorphopédologiques similaires, les facteurs édaphiques étudiés sont peu déterminants dans la structuration de la végétation des zones étudiées. Ceci soulignerait l'intérêt de prendre en compte d'autres facteurs édaphiques susceptibles d'influencer la composition floristique dans la réserve de Fina tels que : la pente, l'aluminium échangeable, le phosphore assimilable, l'azote et la matière organique. En revanche, il se peut que l'anthropisation à travers le dispositif de zonage soit l'un des facteurs déterminants dans la

structuration de la végétation et de ce fait, mériterait également des études plus approfondies. Les deux axes n'expliquent qu'à moitié (51 %) la dispersion des variables et suggèrent également l'implication d'autres facteurs édaphiques. Le nombre insuffisant des échantillons prélevés au niveau de chaque zone forestière suivant les unités géomorphologiques pourrait également expliquer cette faiblesse.

L'étude a montré également que les sols dans la réserve sont à dominance limoneuse avec un taux d'argile faible. Ces sols sont réputés sensibles à l'érosion hydrique et éolienne du fait de la faible stabilité de la teneur en argile qui contribue avec la matière organique au développement, au maintien de la structure du sol et à une bonne capacité d'échange cationique. Les pratiques de gestion de la fertilité des sols doivent donc soutenir cette capacité d'échange en augmentant le taux de matière organique des sols par apport de fumure organique, en protégeant les éléments fins des sols et en facilitant le drainage des eaux de pluies par des mesures de luttés anti-érosives.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Coopération Technique Belge (CTB), L'université Libre de Bruxelles et le Gouvernement de la République du Mali.

Le présent article est soumis en Hommage au Professeur Titulaire Drissa DIALLO coauteur de cet article, décédé au moment où nous nous proposons de soumettre cet article pour publication.

REFERENCES

- AKPO, L.E. (1998). *Effet de l'arbre sur la végétation herbacée dans quelques phytocénoses au Sénégal. Variation selon le gradient climatique*. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 133 p.
- AL MADJOU, H., BRUAND, A., DUVAL, O. & COUSIN, I. (2007). Comparaison de fonctions de pedotransfer nationales et européennes pour prédire les propriétés de rétention en eau des sols. *Etude et Gestion des sols* **14** (2): 103-116.
- ARROUAYS, D., SABY, N., WALTER, C., LEMERCIER, B. & SCHVARTZ, C. (2006). Relationships between particle size distribution and organic carbon in French arable topsoils. *Soil Use and Management*, 22 (1): 48-51.
- BAIZE, D. (2000). *Guide des analyses courantes en pédologie*. INRA, France. 257p.
- BARBAULT, R. (1995). *Ecologie des peuplements, Structure et dynamique de la biodiversité*. Masson, Paris, Milan, Barcelone, 273 p.
- BIRNBAUM, P. (2005). *Mali, un oasis pour la biodiversité*, 48 p.
- BLANCHARD, M. (2010). *Gestion de la fertilité des sols et rôle du troupeau dans les systèmes coton-céréales-élevage au Mali Sud. Savoirs techniques locaux et pratiques d'intégration agriculture élevage*. Thèse de doctorat, Université Paris-Est, Créteil, 301 p.
- BOUTRAIS, 1994. BOUTRAIS J., 1994. Les Foulbés de l'Amadoua et l'élevage: de l'idéologie pastorale à la pluriactivité. *Cahiers d'Etudes africaines* XXXIV (1-3), pp: 175-196.

- BOUZILLE, (2007). *Gestion des habitats naturels et biodiversité: concepts, méthodes et démarches*. Lavoisier, Paris, 331 p.
- BOYER, J. (1982). Les sols des tropiques : facteurs de fertilité et utilisation des sols: Paris: ORSTOM édit. Tome X, 3è trimestre, 384 p.
- CARRIÈRE, S. (1999). "*Les orphelins de la forêt*". *Influence de l'agriculture itinérante sur brûlis des Ntumu et des pratiques agricoles associées sur la dynamique forestière du sud Cameroun*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France, 459 p.
- CHAZDON L.R. (2008). Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands In: the future of forests. *Science*, 320 : 1458-1460
- CILSS. (2001). *Les aptitudes agricoles et pastorales des sols dans les pays du CILSS*. Rapport d'étude, CILSS, 173 p.
- CORDONNIER, T. (2004). *Perturbations, diversité et permanence des structures dans les écosystèmes forestiers*. Thèse de doctorat, ENGREF, France, 259 p.
- DABIN, B. (1985). Les sols tropicaux acides. *Cahier de l'ORSTOM, série. Pédologie.*, vol. XXI, n°1, 1984 1985: 7-19.
- DAGET, PH & GODRON, M. (1995). *Pastoralisme : Troupeaux, espaces et sociétés*. HATIER, AUPELF, UREF, Universités francophones, 510 p.
- DELABRE, E. (1998). *Caractérisation et évolution d'écosystèmes anthropisés sahéliens : Les milieux post-culturels du sud ouest nigérien*. Thèse de doctorat, Université, Paris VI, France, 276 p.
- DEMBELE, F., YOSSI, H. & KAREMBE, M. (2003). Influence de la gestion des pratiques de feu et de pâturage en période de jachère sur la production ligneuse, la fertilité du sol et le rendement des céréales après remise en cultures en zone soudanienne nord du Mali. *Communication à l'atelier national de validation des acquis scientifiques et techniques du projet de recherche sur l'amélioration des jachères en Afrique de l'Ouest Phase I*, pp.1-11. FED-IER, Sikasso, Mali.
- DEVINEAU, J.L., FOURNIER A. & NIGNAN S. (2009). "Ordinary biodiversity" in western Burkina Faso (West Africa): what vegetation do the state forests conserve? *Biodiversity and Conservation*, **18** (8): 2075-2099.
- DIALLO, D., BARTHÈS, B., ORANGE, D. & ROOSE, E. (2004). Comparaison entre stabilité des agrégats ou des mottes et risques de ruissellement et d'érosion en nappe mesurés sur parcelles en zone soudanienne du Mali. *Sécheresse*, **15** (1) : 57-64.
- DIOUF, M., DO, F., AKPO, E.L., GOUDIABY, V. & ROCHETEAU, A. (2004). Variations spatiales de la structure spécifique des ligneux en milieu sahélien (Ferlo, Nord Sénégal). *Ann. Bot. Afr. Ouest*, 3: 75- 86
- FAO. 1975. *Troisième Réunion du Sous-Comité ouest et centre africain de corrélation des sols. Guide pour la tournée sur le terrain*. Sénégal, février-mars 1975. 92 p.
- GIGOU, J., GIRAUDY, F., DOUCOURE, C. O., HEALY, S., TRAORE K. & GUINDO, O. (2003). Le passage de la culture itinérante à la culture permanente révélé par l'âge des champs au Mali-Sud. In : *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux* (eds P. Dugué & P. Jouve), p. 103-112. CNEARC-SAGERT, Montpellier, France.

- GILLET, F. (2000). La Phytosociologie synusiale intégrée - Guide méthodologique. 4^{ème} édition revue et corrigée. Documents du Laboratoire d'Ecologie Végétale, 1 : 68 p. Université de Neuchâtel-Institut de Botanique.
- GROOTJANS, A.P., ADEMA, E.B., BLEUTEN, W., JOOSTEN, H. & MADARAS, M. (2006). Hydrological landscape settings of base-rich fen mires and fen meadows an overview. *Applied Vegetation Science*, 9: 175–184.
- HIERNAUX, P. & BRUNO, G. (1998). The influence of vegetation pattern on the productivity diversity and stability of vegetation. The case of “Brousse tigrée” in the Sahel. *Ecologica*, 20 (3): 147-158.
- HUBBELL, S. P. (1979). Tree Dispersion, Abundance, and Diversity in a Tropical Dry Forest. *Science*, 203:1299-1309.
- JAUFFRET, S. & VISSER, M. (2003). Assigning life-history traits to plant species to better qualify arid land degradation in Presaharian Tunisia. *Journal of Arid Environments*, 55: 1-28.
- KEÏTA, B. (2000). *Les sols dominants du Mali*. In : Rapport sur les Ressources en Sols du Monde (FAO), n°98, Sous-comité Ouest et Centre Africain de Corrélation des Sols pour la Mise en Valeur des Terres, Réunion 14, Abomey (Bénin), du 9 au 13 Octobre 2000, Rome (Italy) : FAO, Div. de la Mise en Valeur des Terres et des Eaux, p. 95-103.
- KIEMA S., 2007. Elevage extensif et conservation de la diversité biologique dans les aires protégées de l'Ouest burkinabé. Arrêt sur leur histoire, épreuves de la gestion actuelle, état et dynamique de la végétation. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 657p.
- KOUOB, S. (2009). *Les forêts matures de terre ferme du sud-est Cameroun*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 162 p.
- LAL, R. (1996). Axle load and tillage effects on soil degradation and rehabilitation in Western Nigeria. I. Soil physical and hydrological properties. *Land Degradation Review*, 7: 19-45.
- LEVÊQUE, C. (1997). *La biodiversité. Que sais-je ?* Presses Universitaires de France. Paris, France, 128 p.
- LUCOT, E. & Gaiffe, M. (1995). Méthode pratique de description des sols forestiers caillouteux sur substrat calcaire. *Etude et Gestion des Sols*, 2 (2): 91-104.
- LYKKE, A.M. (2000). Vegetation change in a Sahelian valley system in Burkina Faso. *Proceedings IAVS Symposium, Upulus Press, Uppsala*: pp. 245-248.
- MANIL, G. (1953). Profil chimique, solum biodynamique et autres caractéristiques écologiques du profil pédologique. *Extrait de science du sol*, 1: 1-15.
- MASHARABU, T. (2011). Flore et végétation du Parc National de la Ruvubu au Burundi: diversité, structure et implications pour la conservation. Thèse de doctorat, Université de Bruxelles, 247 p.
- OGUNWOLE, JO, RAJI BA, ADEAOTI, A.A., ADEOYE, K.B. & OGUNLELA, V.B. (1999). Effect of tillage on surface soil conditions and yield of late sown cotton in northern Nigeria. *African Soil*; 29: 25-32.

- OLINA BASSALA, J.P., M'BIANDOUN, M. EKORONG, J.A. & ASFOM, P. (2008). Evolution de la fertilité des sols dans un système cotonnier céréales au Nord Cameroun: diagnostic et perspectives. *Tropicultura*, **26** (4) : 240-245
- OLIVIER, R., NJITI, C.F. & HARMAND, J.M. (2000). Analyse de la durabilité de la fertilité acquise suite à des jachères arborées au Nord-Cameroun. *Etude et gestion des sols*, **7** (4) : 287-309.
- OUEDRAOGO, (2009). *Phytosociologie, dynamique et productivité de la végétation du Parc National d'Arly (Sud-est du Burkina Faso)*. Thèse de doctorat. Université de Ouagadougou, 139 p.
- PAUWELS, J.M., VAN RANST, E., VERLOO, M. & MVENDO ZE A. (1992). Manuel de laboratoire de pédologie. Méthodes d'analyses des sols et des plantes, équipements, gestion de stocks de verrerie et de produits chimiques. *Bruxelles : Administration Générale de la Coopération au Développement (AGCD)*.
- PENNING DE VRIES, F.W.T. & DJITEYE, M.A. (1991). *La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle*. Pudoc, Wageningen, 523 p.
- REYNIERS, F.N. & NETOYO, L. (1994). Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale, vers une gestion des flux hydriques par le système de culture. Paris : UREF, Séminaire international de Bamako (Mali) du 09 au 13 décembre 1991.
- RICHER DE FORGES, A., FELLER, C., JAMAGNE, M. & ARROUAYS, D. (2008). Perdus dans le triangle des textures. *Étude et Gestion des sols*, **15** (2) : 97-111.
- ROOSE, E. & BARTHÈS, B. (2006). Soil carbon erosion and its selectivity at the plot scale in Tropical and Mediterranean regions. In: *Soil erosion and carbon dynamics. Advances in Soil Sciences?* (eds E.Roose., Lal R., Feller C., Barthès B. & Stewart, B.), pp 55-72. CRC Press, Boca Raton, Floride.
- ROUXEL, C. BARBIER, J., NIANG, A., KAYA, B. & SIBELET, N. (2005). Biodiversité et spécifique ligneuse et terroirs: quelles relations? Le cas de trois villages de Ségou (Mali). *Bois et Forêts des Tropiques*, **283** (1) : 33-49.
- SENTERRE, B. (2005). *Recherches méthodologiques pour la typologie de la végétation et la phytogéographie des forêts denses d'Afrique tropicale*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 371 p.
- SHEIL, D. & SALIM, A. (2004). Forest Tree Persistence, Elephants, and Stem Scars. *Biotropica*, **36** (4): 505-521.
- SINSIN, B. 1993. *Phytosociologie, écologie, valeur pastorale, production et capacité de charge des pâturages du périmètre Nikki-Kalalé au Nord-Bénin*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 350 p.
- SLIK, J.W.F, POULSEN, A.D., ASHTON, P.S., CANNON, C.H., EICHHORN, K.A.O., KARTAWINATA, K., LANNIARI, I., NAGAMASU, H., NAKAGAWA, M., VAN NIEUWSTADT, M.G.L., PAYNE J., PURWANINGSIH SARIDAN, A., SIDIYASA, K., VERBURG, R.W., WEBB C.O. & WILKIE, P. (2003). A floristic analysis of the lowland dipterocarp forests of Borneo. *Journal of Biogeography* **30**: 1517-1531.

- TOUTAIN, B., BORTOLIL, T., DULIEU, D., FORIGIRNI, G., MENAU, J.C. & PIOT, J. (1983). *Espèces ligneuses et herbacées dans les ecosystems pâturés sahéliens de haute volta*. ACC GRIZA (LAT), GERDAT, 124 p.
- VAN WAMBEKE A. (1995). *Les sols des tropiques: propriétés et appréciation*. CTA & Huy Trop asbl. 335p.
- VORMISTO, J., SVENNING, J. C., HALL, P. & BALSLEV, H. (2004). Diversity and dominance in palm (Arecaceae) communities in terra firme forests in the western Amazon basin. *Journal of Ecology*, 92: 577-588.
- WALA, K. (2004). *La végétation de la chaîne de l'Atakora au Bénin: diversité floristique, phytosociologie et impact humain*. Thèse de doctorat, Université de Lomé. 139 p.
- LAL, R. (2005). World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment International*, 31: 575-584.
- FALLISSARD, B. (1998). *Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie*. Collection Evaluation et Statistique. Masson (ed.), Paris, 332 p.

IJSER