



HAL
open science

PROPRIETES ET DIAGNOSTIC DE L'ETAT AGROPEDOLOGIQUE DU SOL DE LA SERIE YAKONDE APRES FRAGMENTATION DE LA FORET A YANGAMBI, R.D. CONGO

Sylvain Alongo, Marjolein Visser, Ferdinand Kombele, Gilles Colinet, Jan
Bogaert

► **To cite this version:**

Sylvain Alongo, Marjolein Visser, Ferdinand Kombele, Gilles Colinet, Jan Bogaert. PROPRIETES ET DIAGNOSTIC DE L'ETAT AGROPEDOLOGIQUE DU SOL DE LA SERIE YAKONDE APRES FRAGMENTATION DE LA FORET A YANGAMBI, R.D. CONGO. ANNALES DES INSTITUTS SUPERIEURS D'ETUDES AGRONOMIQUES, 2013, 5 (1), pp.36-51. hal-00875748

HAL Id: hal-00875748

<https://auf.hal.science/hal-00875748>

Submitted on 22 Oct 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PROPRIETES ET DIAGNOSTIC DE L'ETAT AGROPEDOLOGIQUE DU SOL DE LA SERIE YAKONDE APRES FRAGMENTATION DE LA FORET A YANGAMBI, R.D. CONGO

Par

Sylvain ALONGO LONGOMBA, Marjolein VISSER, Ferdinand KOMBELE BISHOSHA, Gilles COLINET, Jan BOGAERT

RESUME

La fragmentation des forêts sous l'effet de l'agriculture itinérante, accroît l'hétérogénéité d'occupation du sol et la proportion de lisières dans la région de Yangambi en R.D. Congo. Cette étude avait pour objectif d'évaluer par la méthode de transect, la variabilité de réponse de paramètres physico-chimiques d'un ferralsol de la série Yakonde face aux effets de lisière jachère herbeuse-forêt dense d'origine anthropique. Le but visé était de faire un bon diagnostic des conséquences édaphiques de la fragmentation des forêts dans la région de Yangambi en R.D. Congo. Des échantillons de sols ont été prélevés le long des trois transects franchissant la jachère herbeuse, la zone de lisière et la forêt dense. Il a été observé que la zone de lisière entre la jachère et la forêt dense avait une largeur de 68 m. Les meilleures propriétés physico-chimiques des sols ont été obtenues dans la zone de la lisière et les moins bonnes sous la jachère herbeuse et la forêt dense. La zone de lisière a permis la conservation d'une bonne structure du sol (faible densité apparente) et l'amélioration significative des autres propriétés physico-chimiques du sol analysées. La fragmentation des forêts par la culture sur brûlis limite de façon significative ($p < 0,01$) les conséquences agronomiques d'une pédogenèse acidifiante qui caractérise les sols étudiés. Le pH-eau est passé de 4,1 à 4,7 et au pH_{KCl}, de 3,6 à 4,02. De par leur nature géologique, les trois occupations du sol ont les mêmes classes texturales « limon sableux » (LS) et « sableux-limon » (SL) pour l'ensemble des couches étudiées. Cette texture peut exposer ces sols de haut de versant à la dégradation par l'érosion hydrique, au lessivage des cations échangeables et à l'acidification.

Mots clés : fragmentation de la forêt, propriétés physico-chimiques du sol, état agropédologique, ferralsol, effet de lisière, Yangambi, R.D. Congo.

ABSTRACT

The fragmentation of forests in response to shifting agriculture increased the heterogeneity of land use and proportion of edge within the region to Yangambi in the DR Congo. The objective of this study was to evaluate by the method of transect variability in response of some physicochemical parameters of ferralsol to the edge effects between the grassy fallow and dense forest caused by anthropogenic disturbances. The purpose was to make a proper diagnosis the consequences of the edaphic forest fragmentation in the region to Yangambi in the DR Congo. Soil samples were collected along three transects crossing a fallow grassy, edge and dense forest. It was observed that the area of edge between the two adjacent land uses had a width of 68 m. The best physical and chemical properties of soils were obtained in the area of the edge and not so good as grass fallow and dense forest. The edge between the grass fallow and dense forest has allowed the maintenance of good soil structure (low bulk density) and the significant improvement in all physical and chemical properties of soil

agroecosystem Yakonde. That forest fragmentation caused by agriculture nomadic limited significantly ($p < 0.01$) the implications of an agronomical characteristic of pedogenesis acidifying the soils studied. The pH_{H_2O} increased from 4,1 to 4,7 and at pH_{KCl} , from 3,6 to 4,02. By their geological nature, the three land uses have the same textural classes "loam" (LS) and sandy loam (SL) for all layers studied. That texture could expose such soils from high slope to degradation by hydric erosion, leaching of exchangeable cations and the acidification.

Keywords. Forest fragmentation, physico-chemical properties of soil, status agropedological, ferralsol, edge effect, Yangambi, DR.Congo.

1. Introduction

La fragmentation des forêts sous l'effet de la pression anthropique, accroît l'hétérogénéité d'occupation du sol et la proportion de lisières dans les paysages ruraux (Cadenasso *et al.*, 2003). Les lisières ou limites écologiques sont des éléments très dynamiques des paysages fragmentés, existant entre différents habitats à diverses échelles spatiales (Cadenasso *et al.*, 2003). Elles influencent la dynamique des espèces et des communautés en modifiant de nombreux processus biotiques et abiotiques (Murcia, 1995). De même, l'histoire des activités humaines a des conséquences non seulement sur la distribution des espèces, mais aussi sur les propriétés du sol (Dupouey *et al.*, 2002; Orczewska, 2009). Cependant, il n'y a pas de principes généraux sur les effets de lisière et leur caractérisation (Li *et al.*, 2007).

Dans la région forestière de Yangambi en R.D. Congo, la mise en culture des sols par la pratique d'agriculture itinérante sur brûlis entraîne ces dernières années une importante fragmentation forestière fortement corrélée à la baisse de la productivité végétale (Kombele, 2004). Traditionnellement, les paysans restauraient la fertilité du sol par la pratique de la jachère. Mais la pression démographique actuelle ne permet plus cette pratique et par conséquent, on assiste à la mise en cultures successives des sols forestiers et à la suppression progressive du caractère itinérant de cette pratique. Etant une ressource naturelle non renouvelable à l'échelle humaine, le sol suscite de nombreuses questions aujourd'hui quant à son évolution et à sa possible dégradation en fonction de son utilisation en Cuvette centrale congolaise.

Les lisières forestières, considérées comme « naturelles » entre la forêt et l'espace agricole sont pourtant des milieux artificialisés (Herlin, 2001). Dans les paysages forestiers anthropisés, les lisières sont créées et entretenues par les pratiques agricoles et sylvicoles (Lindenmayer & Fischer, 2006). Sans la pression constante de l'homme pour maintenir ces limites en place, la dynamique naturelle des forêts conduirait à son expansion sur la matrice agricole (Herlin *op-cit*). Les limites actuelles des forêts, à distinguer des limites potentielles qui correspondent aux limites des forêts en conditions naturelles non perturbées, sont des limites de régression, suite au défrichement et à l'expansion des formes d'exploitation agricole. Les lisières sont donc des milieux soumis le plus souvent à des perturbations récurrentes, à même de modifier les conditions environnementales (McDonald & Urban, 2006). Cependant, on manque cruellement de données scientifiques établies et utilisables des conséquences édaphiques de la fragmentation des forêts par l'agriculture nomade dans la Cuvette centrale congolaise. Or, la connaissance de ces données serait le point de départ pour toute amélioration de l'état nutritif des sols et la conservation du milieu naturel (Legros, 2007).

Pour palier à cette situation et rechercher les moyens pour faire face à la croissance démographique qui exerce une pression anthropique croissante sur les sols forestiers, nous avons fait le choix de tester la variabilité de réponse des propriétés physico-chimiques du sol de la série Yakonde face à l'effet de lisière « jachère herbeuse-forêt dense » dans la région de Yangambi. L'hypothèse à tester est que les valeurs des propriétés physico-chimiques du sol de la lisière forestière sont différentes de celles de la jachère herbeuse et la forêt dense. Ces analyses réalisées à l'échelle locale pourront fournir des données empiriques de l'impact de la fragmentation des écosystèmes sur les propriétés et l'état agropédologique des sols. En transposant ces résultats à une échelle plus large, nous serons en mesure d'estimer les conséquences édaphiques de la fragmentation des écosystèmes forestiers par l'agriculture itinérante à l'échelle du paysage et de les intégrer dans les plans de gestion et d'utilisation durable des sols dans la Cuvette centrale congolaise.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Zone d'étude

L'étude a été conduite sur le plateau Isalowe dans la région de Yangambi (24°29' E; 0°49' N à 480 m d'altitude), territoire situé à 100 km à l'ouest de la ville de Kisangani, dans la Province Orientale en R.D. Congo (De Heinzelin, 1952). Le climat est équatorial continental chaud et humide (Bernard, 1945), du type Af de Köppen avec une pluviométrie annuelle moyenne variant entre 1837 et 1875 mm/an. Ce climat se caractérise par une température moyenne annuelle de 24,6 à 24,9 °C (Vandenput, 1981), avec un taux d'humidité de 77,7 à 85,5 %. Plusieurs groupements végétaux s'y rencontrent (Van Wambeke *et al.*, 1956) depuis le stade pionnier (recrûs forestiers) jusqu'à la forêt climacique (forêts climaciques à *Brachystegia laurentii*). Les sols ferrallitiques du site d'étude occupent le haut de versant (la pente varie entre 3 et 7 %). Ils se sont développés sur des sédiments niveo-éoliens forts altérés et remaniés par colluvionnement, de texture sablo-argileuse (20-30% d'éléments fins), ocre jaune (7,5YR6/4) (Van Wambeke *et al.*, 1956). Ces sols présentent en général une structure pulvérulente en surface, finement granuleuse ensuite, franchement granuleuse en profondeur. La fraction fine (<2 µm) est généralement dominée par la kaolinite et les oxyhydroxydes de fer et d'aluminium (Kombele, 2004). Le choix du site d'étude était motivé par la présence voisine des deux occupations adjacentes du sol dont une forêt dense d'une part, et, d'autre part, une jachère herbeuse (friche herbeuse). La jachère herbeuse et la forêt dense ont été identifiées sur base des espèces végétales dominantes.

2.2. Méthodes

2.2.1. Détermination de la lisière entre la jachère herbeuse et forêt dense

La zone de lisière a été déterminée par une approche microclimatique en transects (Pohlman *et al.*, 2007) car elle est très adaptée à la description des processus spatialisés en fonction de la distance (Harper *et al.*, 2005).

Cinq transects parallèles longs de 500 m (un principal et quatre répétitions), de direction Est-Ouest et équidistants au moins de 50 m les uns des autres ont été installés de manière à traverser une succession d'occupation du sol (Euskirchen *et al.*, 2001).

Des mesures répétées de la température de l'air à l'aide de Kestrel 3500 ont été effectuées le long des transects suivant l'équidistance de 10 m matérialisée par des jalons pendant la saison sèche (février et mars 2009). Ensuite, les valeurs de la température de l'air mesurées à chaque distance similaire le long du transect principal et les quatre répétitions ont été moyennées afin de créer un transect composite représentatif puis tracer les courbes de réponse de deux paramètres microclimatiques en fonction de la distance. Ainsi, la zone de lisière a été visuellement détectée par simple observation des courbes de réponse de la température de l'air et du sol le long du transect en fonction de la distance (Chen, 1995). Enfin, les transects sur lesquels l'étude a été focalisée, ont été subdivisés en trois segments correspondant à la jachère herbeuse, la lisière et la forêt dense du site d'étude.

2.2.2. Echantillonnage du sol

Après la détection de la zone de lisière, seuls trois transects ont été retenus pour les prélèvements des échantillons du sol. Dans chaque transect, 36 échantillons élémentaires d'environ 600 g chacun ont été prélevés dans la partie supérieure du solum biodynamique (0-20 cm). Ainsi pour les trois transects, ont été prélevées à l'aide d'une tarière au total 108 échantillons répartis entre la jachère herbeuse, la zone de lisière et la forêt dense. Afin de tenir compte de l'hétérogénéité du milieu, 9 échantillons composites ont été constitués à partir d'un mélange de quatre prises élémentaires équipondérales. Pour les caractéristiques physiques du sol, neuf fosses pédologiques de 1 m x 1 m x 0,5 m ont été ouvertes dans chacune de trois occupations du sol, soit vingt sept au total. Les échantillons non perturbés et perturbés du sol ont été prélevés dans les couches de 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm de profondeur sous la jachère herbeuse, la lisière et la forêt dense à l'aide de cylindres de Kopecky pour les premiers et à l'aide du couteau de pédologue pour les seconds. Les trois couches (0-10, 10-20 et 20-30 cm) ont été retenues parce que c'est la partie du sol (0-30 cm) la plus touchée par les activités agricoles paysannes (FAO, 2003).

2.2.3. Analyse des échantillons

Les analyses effectuées ont porté sur la caractérisation physique (granulométrie, densité apparente et conductivité hydraulique) et chimique (carbone organique et azote organique total, rapport C/N et pH) des différents échantillons des sols.

L'analyse granulométrique a été effectuée sur la terre fine par la méthode de la pipette Robinson-Köhn (Baize, 2000). La conductivité hydraulique saturée a été déterminée sur les échantillons non perturbés par la méthode de la colonne d'eau constante selon la loi de Darcy (Klute *et al.*, 1986). La densité apparente (D_a) a été mesurée grâce à la méthode des cylindres en utilisant les échantillons non perturbés (Blake *et al.*, 1986). Les mesures de pH ont été effectuées par électrométrie, dans une suspension de sol dans l'eau, pour le pH-eau et dans une solution normale de chlorure de potassium (KCl), pour le pH-KCl, selon un rapport sol-solvant de 1/2,5 (Pauwels *et al.*, 1992). Les teneurs en carbone organique total (C) et azote total (N) ont été dosées par un microanalyseur élémentaire CN Leco 600.

2.2.4. Analyses statistiques

L'analyse de variance (ANOVA) à un facteur a été utilisée afin de tester l'hypothèse d'une influence de la lisière sur les propriétés physico-chimiques du sol. Il y a effet de lisière quand les valeurs moyennes d'une variable édaphique, pour la zone de lisière, diffèrent significativement de celles observées pour la zone de jachère et la forêt dense (Euskirchen *et al.*, 2001). Le test post-hoc de Tukey HSD, *Honest Significant Differences* a été utilisé pour réaliser des comparaisons multiples de moyennes au seuil de 5%. La normalité de distribution fut appréciée à l'aide du test de Shapiro-Wilk. Lorsque la distribution était anormale, les données ont été transformées (i.e. \log_{10} ou racine carré) pour respecter les conditions de normalité et d'homogénéité de la variance requises pour utiliser ces tests paramétriques. Si à contrario, les valeurs ne sont pas toujours normales après transformation, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été appliqué et la comparaison des moyennes a été effectuée par un test de Mann et Whitney. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistica 6.0.

3. Résultats

3.1. Détection de la lisière

Les principaux résultats obtenus des mesures de la température de l'air lors de la détection de la zone de lisière sont consignés dans le tableau 1. Leurs variations le long du transect en fonction de la distance sont montrées dans la figure 1. L'observation des résultats tels qu'illustrés par la figure 1 montre qu'il existe trois milieux distincts pouvant être considérés comme appartenant respectivement à la zone de jachère herbeuse la partie 60-200 m, la zone de lisière (240-310 m) et la zone de forêt dense (360-500 m). La comparaison des résultats moyens (tableau 1) indique que la température de l'air est élevée dans la jachère herbeuse ($29,1 \pm 0,1$ °C), intermédiaire dans la zone de lisière ($28,4 \pm 0,4$ °C) et basse sous forêt dense ($25,9 \pm 0,2$ °C). Toutefois, les grandes amplitudes thermiques sont plus observées au niveau de la lisière par rapport à la jachère herbeuse et la forêt dense (figure 1). Le test d'ANOVA a indiqué de différences très hautement significatives des valeurs moyennes de la température de l'air et du sol entre les trois types d'occupation du sol (Test de Tukey, $p < 0,001$).

Tableau 1. Moyennes journalières et écarts-types (\pm SD), minima et maxima de la température de l'air (°C) dans la zone de jachère, de lisière et de forêt dense de la Yakonde à Yangambi (R.D. Congo).

	Jachère herbeuse	Lisière	Forêt dense
	T °C	T °C	T °C
	air	air	air
Minimum	28,9	27,4	25,7
Maximum	29,1	28,9	26,3
Moyenne \pm SD	29,1 \pm 0,1	28,4 \pm 0,4	25,9 \pm 0,2

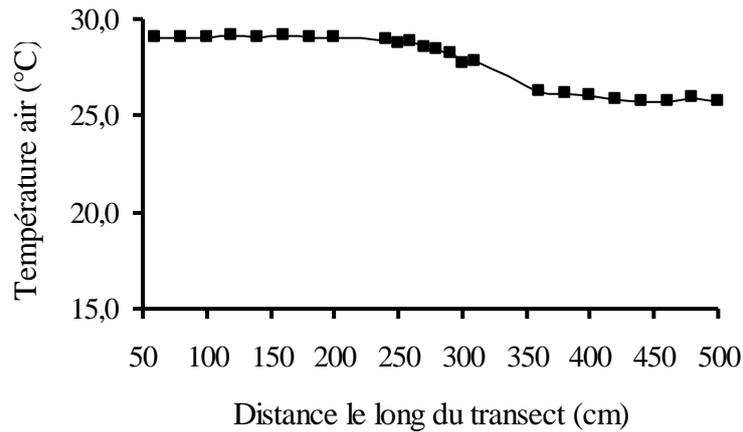


Figure 1. Evolution des moyennes journalières de la température de l'air (°C) entre 9-10h en fonction de la distance le long du transect. La largeur de la zone de lisière est estimée à 68 m, la partie comprise entre 240-310 m sur laquelle de grandes amplitudes thermiques sont observées entre la jachère herbeuse et la forêt dense de la série Yakonde dans la région de Yangambi en R.D. Congo.

3.2. Caractéristiques physiques du sol

3.2.1. Granulométrie

Les résultats de la texture du sol sous les trois types d'occupation de la série Yakonde sont présentés dans la figure 2. D'une façon générale, le sable est la fraction granulométrique la plus importante dans les couches étudiées avec des proportions élevées dans la couche 0-10 cm de profondeur. A l'inverse, le limon est la fraction la moins représentée dans ces sols. De plus, on observe que les teneurs en argile augmentent en fonction de la profondeur sous les trois types d'occupation bien que sous la jachère herbeuse, elles sont inférieures à 20 % pour l'ensemble des couches étudiées. L'analyse de variance à un critère indique qu'il existe de différences très hautement significatives ($p < 0,001$) entre les trois types d'occupation du sol par rapport à leurs effets sur les teneurs en argiles dans l'ensemble de couches étudiées. Le test de Tukey permet de distinguer trois groupes différents correspondant, à la jachère, la lisière et la forêt dense de la série Yakonde (figure 4).

Quant à la fraction limoneuse, il n'y a pas de différence significative de ses teneurs entre les trois types d'occupations du sol pour la couche 0-10 cm de profondeur. En revanche, les résultats ont indiqué des différences très significatives ($p < 0,01$) entre les trois types d'occupation du sol par rapport à leurs effets sur les teneurs en limon pour les couches 10-20 et 20-30 cm de profondeur. La comparaison des valeurs moyennes permet de distinguer deux groupes différents : (1) jachère herbeuse et (2) lisière+ forêt dense. De même, pour la fraction sableuse, dans la couche 0-10 cm, le taux est similaire sous les trois types d'occupation du sol ($p > 0,05$) pourtant significativement différent ($p < 0,01$) dans la couche 10-20 cm et 20-30 cm de profondeur). Le test de comparaison des valeurs moyennes indique que le sol de lisière est significativement plus sableux ($p < 0,01$) que ceux de jachère et forêt qui sont similaires ($p > 0,05$), alors que dans la couche 20-30 cm, les sols de jachère et forêt dense paraissent significativement plus sableux par rapport à celui de la lisière.

Selon les limites des classes granulométriques utilisées dans le système international de la FAO, les sols sous les trois occupations étudiées entrent de façon générale dans les mêmes classes texturales « limon sableux » (LS) et sableux limon (SL) » (figure 3).

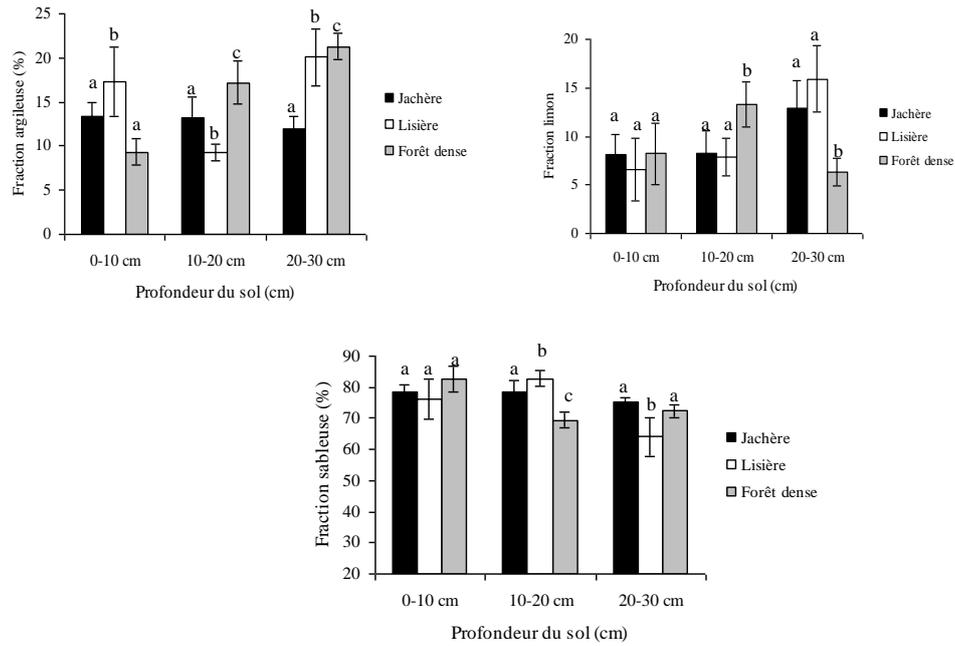


Figure 2. Distribution des fractions granulométriques (a, b, c) des couches 0-10, 10-20 et 20-30 cm de profondeur du sol de la série Yakonde sous la jachère herbeuse, la lisière et la forêt dense en R.D. Congo. Les barres correspondent aux écarts types de la moyenne et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Test Tukey HSD, *Honest Significant Differences*).

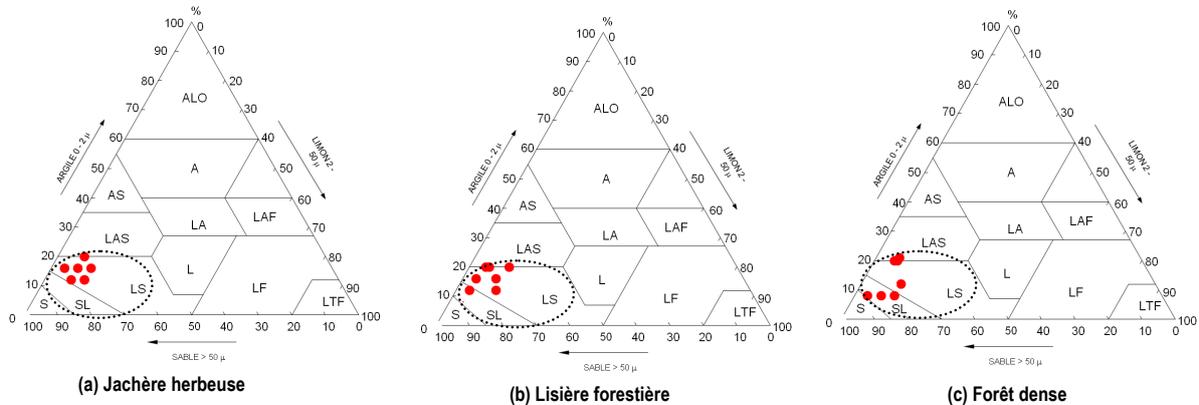


Figure 3. Diagramme textural FAO des couches 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm de profondeur du sol sous la jachère herbeuse (a), la lisière (b) et la forêt dense (c) de la série Yakonde après la fragmentation à Yangambi, R.D. Congo.

3.2.2. Densité apparente du sol

Les résultats de la densité apparente du sol sont présentés dans la figure 4. En général, la densité apparente du sol est plus faible sous la lisière et la forêt dense qu'en jachère herbeuse. Les valeurs de la D_a sous les trois types d'occupation du sol sont comprises entre $1,15 \text{ g/cm}^3$ (lisière) et $1,44 \text{ g/cm}^3$ (jachère herbeuse). L'ANOVA à un facteur contrôlé révèle qu'il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les trois types d'occupation par rapport à leurs effets sur la densité apparente du sol pour la couche 0-10 cm. Ceci peut s'expliquer par la présence des horizons humifères de surface relativement bien structurés et caractérisés par des

densités apparentes plus faibles que celles des horizons minéraux sous-jacents à structure massive. En revanche, pour les couches 10-20 cm et 20-30 cm, les différences observées sont très significatives ($p < 0,01$). Ceci pourrait être causé par les phénomènes d'entraînement et de lessivage favorisé par la position topographique, l'activité biologique et des pratiques agricoles.

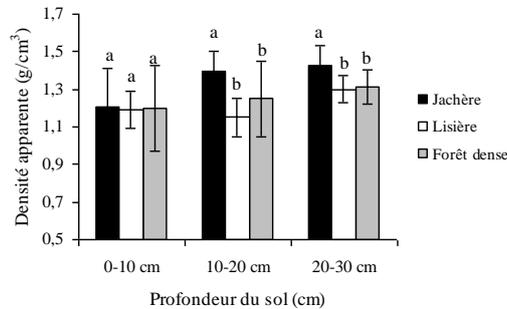


Figure 4. Densités apparentes moyennes ($n=9$) des couches 0-10, 10-20 et 20-30 cm de profondeur du sol de la série Yakonde sous la jachère herbeuse, la lisière et la forêt dense en R.D. Congo. Les barres correspondent aux écarts types de la moyenne et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Test Tukey HSD, *Honest Significant Differences*).

3.2.3. Conductivité hydraulique du sol

Bien que la conductivité hydraulique soit en grande partie dépendante de la texture du sol, les pratiques culturales modifient aussi énormément la porosité dans les horizons de surface et par voie de conséquence, la perméabilité du sol. L'analyse des résultats obtenus (Figure 5) indique que la conductivité hydraulique diminue sensiblement en fonction de la profondeur sous les trois types d'occupation étudiés. Dans la couche 0-10 cm, on constate la valeur élevée de perméabilité du sol sous la forêt dense (32,9 cm/h), intermédiaire sous la lisière (31,7 cm/h) et faible sous la jachère herbeuse (21,9 cm/h). Au-delà de 10 cm de profondeur, la conductivité hydraulique diminue de 16,3 à 12,3 cm/h en forêt dense, de 24,9 à 17,9 cm/h au niveau de la lisière puis de 7,2 à 6,3 cm/h au niveau de la jachère herbeuse entre les couches 10-20 et 20-30 cm, respectivement. Le test de Kruskal-Wallis indique qu'il existe de différences très hautement significatives entre les trois types d'occupation du sol en ce qui concerne leurs effets sur la perméabilité du sol. La séparation des moyennes (Test U Mann-Whitney) des données met en évidence deux groupes dans la couche 0-10 cm : (1) jachère et (2) lisière + forêt dense. Pour le reste, dans les couches 10-20 et 20-30 cm de profondeur, les valeurs moyennes obtenues diffèrent significativement ($p < 0,001$) entre les trois types d'occupation du sol.

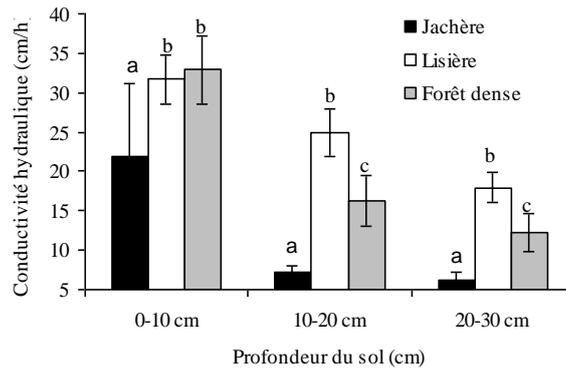


Figure 5. La conductivité hydraulique moyenne ($n=9$) des couches 0-10, 10-20 et 20-30 cm de profondeur d'un ferralisol de la série Yakonde sous la jachère herbeuse, la lisière et la forêt dense en R.D. Congo. Les barres représentent les écarts types de la moyenne et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Test U Mann Whitney).

3.3. Caractéristiques chimiques

3.3.1. Réaction du sol (pH)

Les résultats du pH (figure 6) indiquent que les sols sous les trois types d'occupation ont un $\text{pH-eau} < 5,5$, et par conséquent, caractérisés par une réaction acide. Cependant, le sol de lisière ($\text{pH}=4,4 \pm 0,2$) et de la forêt dense ($\text{pH}=4,1 \pm 0,3$) sont fortement acides par rapport à celui de jachère herbeuse ($\text{pH}=4,7 \pm 0,4$). De plus, sous les trois types d'occupation du sol, le pH-eau est supérieur au $\text{pH}_{-\text{KCl}}$, qui oscille entre $3,7 \pm 0,2$ (forêt dense) et $4,0 \pm 0,2$ sous la jachère, traduisant la présence des colloïdes à charge négative dans les sols étudiés. Le test de Kruskal Wallis indique un effet significatif ($p < 0,01$) du facteur occupation du sol sur le pH-eau du sol. La comparaison statistique des valeurs moyennes (Test U de Mann-Whitney) permet de distinguer trois groupes statistiquement différents : (1) jachère herbeuse (2) lisière et (3) forêt dense. De même, pour le $\text{pH}_{-\text{KCl}}$, les résultats de l'Anova un facteur contrôlé indique un effet significatif du facteur occupation du sol ($p < 0,01$) sur l'acidité potentielle du sol. Le test de Tukey révèle que les valeurs moyennes de $\text{pH}_{-\text{KCl}}$ du sol sous la jachère herbeuse diffèrent très significativement ($p < 0,01$) de celles de lisière et la forêt dense, alors que ces deux derniers présentent une acidité potentielle du sol similaire ($p > 0,05$).

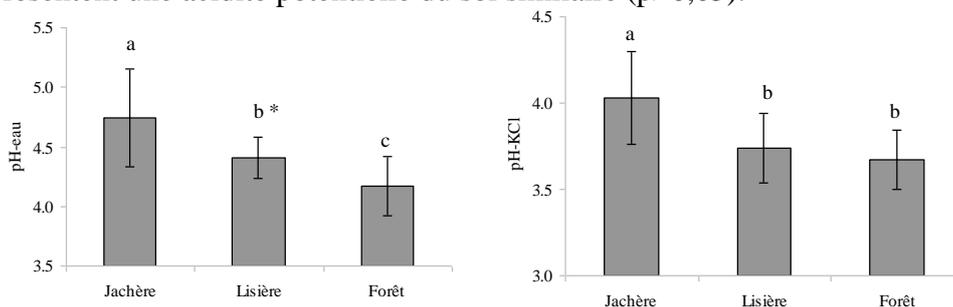


Figure 6. Valeurs moyennes ($n=9$) des pH-eau et au $\text{pH}_{-\text{KCl}}$ des échantillons composites dans la couche 0-20 cm de profondeur du sol sous la jachère herbeuse, lisière et la forêt dense du domaine Yakonde en R.D. Congo. Les barres représentent les écarts types de la moyenne et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Tests Mann-Whitney et Tukey HSD, *Honest Significant Differences*). L'astérisque indique un effet de lisière sur la variable considérée.

3.3.2. Carbone et azote organique totaux et rapport C/N

Les teneurs moyennes en C.O.T et Nt puis le rapport C/N dans la couche 0-20 cm sous les trois types d'occupation du sol sont illustrées dans la figure 7.

Pour le C.O.T. du sol, les valeurs moyennes sont comprises entre $1,23 \pm 0,1$ (sous la forêt dense) et $2,09 \pm 1,39$ % (sous la lisière). En revanche, les teneurs moyennes en Nt sont comprises entre $0,06 \pm 0,02$ (sous forêt dense) et $0,12 \pm 0,10$ % (sous la lisière). Des différences très significatives (test de Kruskal Wallis, $p < 0,01$) des teneurs moyennes en C.O.T et en Nt sont observées entre trois types d'occupations du sol. Le test U Mann-Whitney confirme celui de Kruskal et révèle que les teneurs moyennes en C.O.T et Nt sous la lisière sont significativement élevées ($p < 0,01$) par rapport à celles obtenues sous la jachère herbeuse et la forêt dense du site d'étude. Ces résultats ont permis de mettre évidence un effet de lisière sur ces deux paramètres agropédologiques du sol de Yakonde.

Quant au rapport C/N moyen sous les trois types d'occupation du sol étudiés, les valeurs moyennes sont comprises entre $17,9 \pm 2,3$ (sous la lisière) et $25,7 \pm 7$ (forêt dense). La forêt dense présente des valeurs moyennes intermédiaires ($23,5 \pm 5,6$). Le test de Kruskal Wallis a indiquée un effet très significatif du facteur occupation du sol ($p < 0,01$) sur le rapport C/N moyens du sol de Yakonde. La comparaison des valeurs moyennes (Test U de Mann Whitney) révèle que le sol de lisière avec des teneurs relativement élevées en C.O.T présente le rapport C/N moyen faible ($p < 0,01$) par rapport à ceux de jachère herbeuse et de forêt dense.

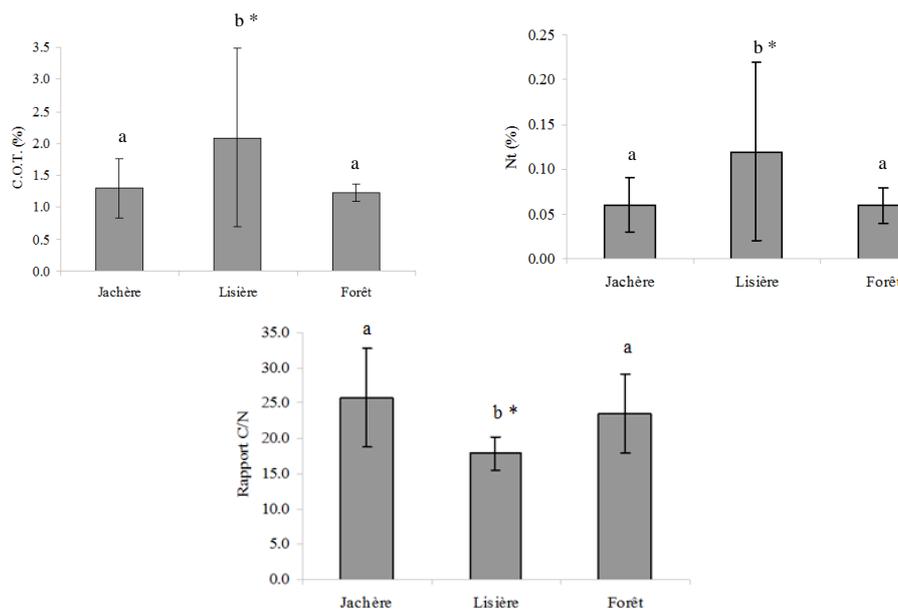


Figure 7. Teneurs moyennes (n=9) en C.O.T, en Nt et le rapport C/N des échantillons composites dans la couche 0-20 cm de profondeur du sol sous la jachère herbeuse, lisière et la forêt dense de la série Yakonde en R.D. Congo. Les barres représentent les écarts types de la moyenne et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Tests Mann-Whitney et Tukey HSD, *Honest Significant Differences*). L'astérisque indique un effet de lisière sur la variable considérée.

4. Discussion

4.1. Caractéristiques physiques du sol

L'analyse granulométrique des sols étudiés a montré une texture sableuse sous les trois occupations du sol (figure 3). Les deux premières couches (0-10 et 10-20 cm) de tous les sols étudiés contiennent moins de 20 % d'argile et environ 9 % de limon, le reste étant constitué de sable. Cela traduit l'unicité du matériau parental constaté dans les études de Van Wambeke (1956). Il s'agit des formations géologiques sableuses du Néogène (Tertiaire supérieur), du Pléistocène et de l'Holocène (Quaternaire) (Cahen, in Kombele, 2004) observées le long des rives du fleuve Congo à Yangambi et dans plusieurs vallées de ses affluents et sous-affluents. Une texture similaire a été signalée par Kombele (2004) pour la même série du sol à Yangambi. Par ailleurs, les différences observées entre les fractions granulométriques sous les trois types d'occupation peuvent être imputables au modelé du microrelief et à l'hétérogénéité du terrain suite aux techniques culturales pratiquées (Van Wambeke, 1995). Toutefois, les teneurs en argile ont augmenté de la surface vers la profondeur du solum sous les trois occupations du sol. Cela peut être imputable à la pente, à la destruction de l'argile de l'épépédon et à l'activité de vers de terre ou des termites (Van Wambeke, op-cit).

La densité apparente est plus faible sous la lisière et la forêt dense qu'en jachère herbeuse. Les causes pourraient être une grande activité de la faune du sol et les racines de ligneux qui ameublissent le sol en formant des pores remplis d'air (Joffre & Rambal, 1988). Les causes pourraient être aussi l'existence d'une matière organique de meilleure qualité sous la lisière rendant ainsi le sol à ce niveau d'occupation plus meuble. En revanche, l'augmentation généralisée de la *Da* en fonction de la profondeur traduit une accumulation relative d'argile. Celle-ci serait un produit de néoformation résultant de la décomposition des minéraux plus altérables, accompagnée de libération et lixiviation des éléments biogènes. Toutefois, les valeurs obtenues sous la jachère herbeuse traduiraient les effets des feux brousse répétés et mises à nu sans protection végétale après le déboisement et généralement en l'absence de tout apport de matières organiques sur cette occupation du sol. Cela entraîne une érosion intense en raison des fortes pluviométries dans la zone intertropicale et les sols peuvent présenter rapidement un horizon compacté à faible profondeur (Boyer, 1982).

La conductivité hydraulique est un paramètre communément utilisé pour exprimer la perméabilité d'un sol dont les conséquences sont importantes, puisqu'une réduction de ce paramètre augmente le risque de ruissellement de surface. Compte tenu de sa texture sableuse, le sol de Yakonde s'est montré très perméable dans la couche 0-10 cm pour l'ensemble du site et 10-20 cm sous la lisière et forêt dense. Ces résultats s'expliquent par la dominance de la macroporosité dans ces deux couches du sol (Hubert *et al.*, 2007). Plusieurs auteurs (Vervoort & Cattle, 2003 ; Lipiec *et al.*, 2006 ; Sasal *et al.*, 2006), ont prouvé que la conductivité hydraulique est un paramètre principalement contrôlé par la macroporosité du sol : taille, connectivité et stabilité des vides agencés entre les agrégats. Par ailleurs, la rapide décroissance de *Ks* avec la profondeur sous la jachère herbeuse peut s'expliquer par le fait que la macroporosité elle-même peut être influencée par les pratiques culturales (Pagliai *et al.*, 2004 ; Hubert *et al.*, 2007) qui modifient la structure du sol. La macroporosité du sol cultivé évolue en permanence et à très court terme sous l'effet du climat (Sveistrup *et al.*, 2005), de la faune du sol (Hubert *et al.*, 2007), des racines et des actions de l'agriculteur (Roger-Estrade *et al.*, 2009). Ce dernier agit plus par ses techniques culturales et par le choix des successions de culture qui détermine le calendrier d'occupation de la parcelle. La structure du sol est donc

une caractéristique dynamique dont l'évolution est régie par des actions qui entraînent soit sa dégradation (diminution de la macroporosité), soit sa régénération (accroissement de la macroporosité).

4.2. Caractéristiques chimiques du sol

D'une façon générale, la valeur agricole naturelle des sols de la Cuvette centrale congolaise est très réduite. La grande perméabilité de ces sols jointe aux conditions climatiques équatoriales (pluies abondantes et température élevée) a permis une lixiviation très poussée des éléments biogènes. Les résultats obtenus dans cette étude ont révélé de façon générale que la lisière forestière entraîne l'accroissement significatif ($p < 0,001$) des teneurs en carbone et azote organiques totaux du sol par rapport à la jachère herbeuse et le témoin forêt dense. Ces résultats ont permis de mettre en évidence l'effet améliorant des lisières forestières, avec le temps, sur le statut organique du sol et constitue un acquis important de ce travail. Cet effet bénéfique serait attribuable à l'équilibre entre le brûlis et jachère dans le système d'exploitation à faible niveau d'intrant. En effet, le brûlis et la jachère forestière apparaissent comme deux éléments complémentaires, pour l'expression et la préservation des potentialités agricoles du milieu forestier. Il existe une abondante littérature sur les effets de bénéfiques des périodes de jachère sur le statut organique des sols (Greenland & Nye, 1959; Feller *et al.*, 1993). Les résultats obtenus dans les zones de lisières se trouvant à une longue durée de jachère (plus de 9 ans) par rapport à celle de la jachère herbeuse (4 ans) confirment ces observations.

Durant la phase de jachère comme celle caractérisant les lisières étudiées à la région de Yangambi en R.D. Congo, les apports de composés organiques sous forme de litière aérienne et racinaire participent activement à la constitution de la matière organique des sols (Feller *et al.*, 1993). En fait, la teneur en matière organique dans le sol étant étroitement liée à la texture du sol et au couvert végétal, ces facteurs importants peuvent davantage expliquer le statut organique du sol sous la lisière forestière de la série Yakonde. Feller (1992), dans une recherche menée dans les sols sableux sous jachère comme ceux de la série Yakonde, a trouvé des accroissements significatifs de carbone et azote organiques totaux voire même de phosphore assimilable. En effet, dans les sols sableux sous jachères, les fractions organiques grossières dominantes minéralisent rapidement et contribuent fortement à la nutrition minérale des micro-organismes du sol et des plantes étant donné qu'ils sont doués de fortes activités biologiques (Feller, op-cit). Ainsi, les teneurs élevées en C.O.T., celles encore plus élevées en Nt et les faibles valeurs du rapport C/N observées sous la lisière montrent que celle-ci forme un écosystème particulier qui, par sa végétation pionnière à majorité héliophile, connaît un "turn over" plus rapide que les deux occupations adjacentes du sol.

A contrario, les faibles teneurs en ces éléments et le rapport C/N moyen observés sous forêt dense peuvent s'expliquer par l'acidité marquée des sols forestiers qui favorise la décomposition mycologique de la M.O.S. et la prédominance de complexes organo-minéraux instables, conduisant à la présence d'une matière organique de mauvaise qualité. Ce sont essentiellement les champignons et les termites qui détruisent la matière végétale au fur et à mesure de sa formation. Une microfaune acidophile, comprenant notamment des protozoaires, contribue à contrecarrer l'action des bactéries. Ce rapport C/N est caractéristique des sols à faible teneur en azote due à la faible vitesse de minéralisation de la matière organique (Boyer, 1982). Selon Landon (1991), dans les sols à $pH < 5,5$; les bactéries nitrifiantes et fixatrices d'azote sont détruites par l'acidité du sol et la nitrification de la matière organique est significativement limitée.

Quant à la jachère herbeuse, la forte pression anthropique associée aux caractéristiques climatiques (températures élevées et fortes précipitations) du site d'étude explique en grande partie les résultats obtenus. Les matières minérales libérées par les cendres sont très rapidement lessivées par ruissellement et par percolation. Les matières végétales non brûlées et l'humus colloïdal du sol sont à leur tour très rapidement détruits par oxydation et par l'activité microbiologique. De plus, la diminution du taux de matière organique dans les sols sous jachères herbeuses pourrait aussi provenir du fait que la totalité de la végétation en place est herbeuse. Les racines de ces herbes se limitant aux vingt-cinq à trente centimètres supérieurs du sol, et sans oublier que les températures élevées de la saison sèche activent intensément la minéralisation de cette matière organique. Cependant, les valeurs élevées du rapport C/N sous les jachères herbeuses montrent que le processus de minéralisation, bien qu'actif, serait quelque peu occulté par la réduction de l'humidité et des échanges gazeux du sol due à sa compaction qui diminuerait les taux annuels de minéralisation et de nitrification (Certini, 2005).

En définitive, les résultats de cette étude ont montré que la fragmentation des forêts qui fait suite à l'agriculture itinérante sur brûlis augmente de façon significative ($p < 0,01$) le pH du sol. Elle provoque en effet, une certaine désacidification par l'augmentation du pH-eau sous la jachère herbeuse et la lisière. Cela peut s'expliquer par le fait que les cendres issues du brûlis de la végétation coupée lors de la mise en culture d'une portion de forêt constituent un engrais à effet de chaux qui influence le pH, bases, acidité d'échange, rapport carbone/azote, CEC; mais cet effet neutralisant se résorbe rapidement suite aux récoltes, à l'érosion et au lessivage sous culture et jachère, imposant de courtes périodes culturales (Certini, 2005). L'augmentation dans le contexte de cette étude est de 0,6 et 0,4 pour respectivement le $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et le pH_{KCl} . Ce phénomène présente une importance prépondérante étant donné la pauvreté chimique extrême de ces sols. Il a pour effet de stimuler l'action des bactéries du sol favorables à la formation d'humus vrais (Landon, 1991).

5. Conclusion

Cette étude a démontré que la lisière entre la jachère herbeuse et la forêt dense du site d'étude représente un élément régulateur du stock organique et par conséquent, renferme un sol avec des caractéristiques de fertilité physico-chimique meilleures qu'à l'état initial sous la forêt dense. Cette différence est interprétée comme résultant de la déprotection progressive de la matière organique sous l'influence de l'acidité forestière. La fragmentation de la forêt dense par l'agriculture itinérante sur brûlis limite les conséquences agronomiques d'une pédogenèse acidifiante qui caractérise les sols étudiés. Toutefois, c'est un processus très dangereux dans l'évolution des autres paramètres édaphiques comme la densité apparente et la conductivité hydraulique du sol sous la jachère herbeuse. Dans tous les cas, la prise en compte de l'historique cultural et de l'état des parcelles, à l'abandon des cultures, est un élément important pour l'analyse de l'évolution des sols et de la dynamique des jachères, en rapport avec les conditions d'exploitation des milieux forestiers. Les résultats de cette étude ont amené à des précisions sur les conséquences édaphiques de la fragmentation des forêts par l'agriculture itinérante sur brûlis à Yangambi. En définitive, cette recherche, associée à de nombreux travaux sur les effets d'anthropisation des paysages forestiers constitue une banque des données fiable qu'il faut intégrer dans les plans de gestion et d'utilisation durable des sols en vue de contribuer au développement d'une agriculture plus durable qui réduit la pression sur la forêt dense.

Remerciements

Cette étude a été rendue possible grâce à l'appui financier de la Coopération Technique Belge.

Bibliographie

- Baize, D. 2000. Guide des analyses courantes en pédologie. *INRA, France*. 257p.
- Blake, R.G. & Hartage K.H. 1986. Bulk density. In: Klute A., ed. *Methods of soils analysis. Part 1*. 2nd ed. Madison, WI, USA: *American Society of Agronomy* 363-375.
- Boyer, J. 1982. Les sols ferrallitiques : facteurs de fertilité et utilisation des sols. Paris: ORSTOM édit. Tome X, 3e trimestre, 384p.
- Bernard, E. 1945. Le climat écologique de la Cuvette Equatoriale Congolaise. *Bruxelles: publications I.N.E.A.C., hors série*, 44p.
- Cadenasso, M. L., Pickett, S. T. A., Weathers, K. C., Bell, S. S., Benning, T. L., Carreiro, M. M. & Dawson, T. E. 2003. An interdisciplinary and synthetic approach to ecological boundaries. *Bioscience* 53: 717-722.
- Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143 : 1-10.
- Chen, J., Franklin, J.F. & Spies, T. 1995. Growing season microclimatic gradients from clearcut edges into old growth Douglas-fir forest. *Ecological Applications* 5: 74-86.
- De Heinzelin, J. 1952. Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du bassin du Congo. Bruxelles: Publication. INEAC., 168p.
- De Leenheer, L., D'Hoore J., & Sys K. 1952. Cartographie et caractérisation pédologique de la catena de Yangambi. Yangambi: Publication. INEAC., série scientifique. n°55, 62p.
- Dupouey, J. L., Dambrine, E., Laffite, J. D. & Moares, C. 2002. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology* 83: 2978-2984.
- Esseen, P. A., Jansson, K. U. & Nilsson, M. 2006. Forest edge quantification by line intersect sampling in aerial photographs. *Forest Ecology and Management* 230: 32-42.
- Euskirchen, E. S., Chen, J. Q. & Bi, R.C. 2001. Effects of edges on plant communities in a managed landscape in northern Wisconsin. *Forest Ecology and Management* 148: 93-108
- Fagan, W.E., Cantrell, R. & Cosner, C. 1999. How habitat edges change species interactions. *American Naturalist* 153: 165-182.
- FAO, 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la Sécurité Alimentaire en Afrique Subsaharienne. FAO, Rome.
- Feller C., 1992. Matière organique et activités biologiques dans les sols tropicaux (Sénégal). Cahier ORSTOM, *série Pédologique*, 1: 1-3.
- Feller, C., Lavelle P., Albrecht A., Nicolardot B. 1993. « La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux : rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : p.33-46.
- Greenland D.J. & Nye P.H. 1959. « Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows », *Journal of Science*, n°10: p.284-299.

- Harper, K.A., Macdonald, S.E., Burton, P.J., Chen, J., Brosofske, K.D., Saunders, S.C., Roberts, D., Jaiteh, M.S. & Essen, P. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 19: 768-782.
- Herlin, I.L.S. 2001. Approaches to forest edges as dynamic structures and functional concepts. *Landscape Research* 26: 27-43.
- Hubert, F., Hallaire, V., Sardini, P., Caner, L. & Heddadj, D. 2007. Pore morphology changes under tillage and no-tillage practices. *Geoderma* 142: 226-236.
- Joffre, R. et Rambal, S. 1988. Soil water improvement by trees in the rangelands of southern Spain. *Acta Oecologia / Oecol Plant* 9: 405-422.
- Kombebe, B. 2004. Diagnostic de la fertilité des Sols dans la Cuvette centrale congolaise. Cas des séries Yakonde et Yangambi. *Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique.*
- Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. In: Klute A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. Madison, WI, USA: *American Society of Agronomy* p. 635-662.
- Landon, J.R. 1991. Booker tropical soil manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. *Oxon, UK: Booker Tate Limited; Harlow, Essex, UK: Longman.*
- Li, L. G., He, X. Y., Li, X. Z., Wen, Q. C. & He, H. S. 2007. Depth of edge influence of the agricultural forest landscape boundary, southwestern China. *Ecological Research* 22: 774-783.
- Lindenmayer, D.B. & Fischer, J. 2006. Habitat fragmentation and landscape change. *Washington DC* 328 pp.
- Lipiec, J., Kus, J., Slowinska-Jurkiewicz, A. and Nosalewicz, A. 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil Tillage Research* 89: 210-220.
- Legros, J.P. 2007. Les grands sols du monde. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Espagne, p 566.
- McDonald, R.I & Urban, D.L. 2006. Edge effects on species composition and exotic species abundance in the North Carolina Piedmont. *Biology Invasions* 8: 1049-1060.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 10: 58-62.
- Orczewska, A. 2009. The impact of former agriculture on habitat conditions and distribution patterns of ancient woodland plant species in recent black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) woods in south-eastern Poland. *Forest Ecology and Management* 258: 794-803.
- Pagliai, M., Vignozzi, N. & Pellegrini, S. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil Tillage Research* 79: 131-143.
- 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).*

- Peters, D.P.C., Gosz, J.R., Pockman, W.T., Small, E.E., Parmenter, R.R., Collins, S.L. & Muldavin, E. 2006. Integrating patch and boundary dynamics to understand and predict biotic transitions at multiple scales. *Landscape Ecology* 21: 19-33.
- Philibert, M., Fortin, M.J. & Csillag, F. 2008. Spatial structure effects on the detection of patches boundaries using local operators. *Environmental and Ecological Statistics* 15: 447-467.
- Pohlman, C.L, Turton SM. & Goosem M. 2007. Edge effects of linear canopy openings on tropical rain forest understory microclimate. *Biotropica* 39: 62-71.
- Roger-Estrade, J., Richard, G., Dexter, A.R., Boizard, H., De Tourdonnet, S., Bertrand, M. & Caneill, J., 2009. Integration of soil structure variations with time and space into models for crop management. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 135-142.
- Sasal, M.C., Andriulo, A.E. and Taboada, M.A. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil Tillage Research* 87: 9-18.
- Sveistrup, T.E., Haraldsen, T.K., Langohr, R., Marcelino, V. and Kvaerner, J. 2005. Impact of land use and seasonal freezing on morphological and physical properties of silty Norwegian soils. *Soil Tillage Research* 81: 39-56.
- Vandenput, R. 1981. Les principales cultures en Afrique centrale. Tournai: publications D.G.A., *Editions Lesaffre, hors série* p. 228-259.
- Van Wambeke, A. 1956. Notice Explicative de la Carte des Sols et de la Végétation du Congo-Ruanda-Urundi. *Bruxelles: Publication INEAC*, 28p.
- Van Wambeke, A. 1995. Les sols des tropiques: propriétés et appréciation. CTA & Huy Trop asbl. 335p.
- Vervoort, R.W. & Cattle, S.R. 2003. Linking hydraulic conductivity and tortuosity parameters to pore space geometry and pore-size distribution. *Journal of Hydrology* 272: 36-49.