



Caractérisation pédologique de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu en province du Kongo Central, RD Congo

Didier B. Mvila^{1*}, Emilie wa M. Kayiba¹, Emmanuel T. Kalala¹, Tony M. Muliele^{1,2}.

¹ Université Pédagogique Nationale (UPN), Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, B.P. 8815, Kinshasa / Binza, RD Congo.

² Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomiques (INERA). B.P. 2037, Kinshasa I, RD Congo.

*Auteur correspondant : didierbinda05@mail.com, (+243 82 34 92 466).

Keywords: Tropical soil, soil fertility, physical properties, chemical properties, Kasangulu.

Mots-clés : Sol tropical, fertilité du sol, propriétés physiques, propriétés chimiques, Kasangulu.

Submitted 20/06/2026, Published online on 30th September 2026 in the [Journal of Animal and Plant Sciences \(J. Anim. Plant Sci.\) ISSN 2071 – 7024](#)

1 RESUME

La caractérisation des propriétés des sols constitue une étape essentielle en vue de déterminer la vocation du sol et orienter sa gestion durable. L'objectif de cette étude était de contribuer à la caractérisation pédologique (propriétés physiques et chimiques) du sol de la ferme universitaire de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) située à Kasangulu, dans la province du Kongo Central en République Démocratique du Congo. Pour atteindre cet objectif, les échantillons de sol (perturbés et non perturbés) ont été prélevés, et un profil pédologique a été ouvert (1 m x 1 m x 1 m) et décrit. Les analyses au laboratoire ont porté sur les propriétés physiques et chimiques du sol. Sur le plan morphologique, quatre horizons distincts étaient observés : horizon Ap, mince et humifère, de couleur brun très sombre (10YR 2/2) ; horizon A1, épais et homogène, de couleur marron foncé (10YR 3/3) ; horizon A1,2, couche intermédiaire, de couleur brun légèrement foncé (10YR 4/4) et horizon B, de teinte claire et grisâtre (10YR 6/4). La densité apparente a varié entre 1,16 et 1,50 g/cm³ tandis que la densité apparente critique limitante pour la croissance racinaire (GLBD) a été évaluée à 1,55 g/cm³, seuil dépassé dans les horizons A1,2 et B. Les analyses chimiques ont montré que le sol est fortement acide (pH eau 4,5-5,4 et pH KCl 3,7-4,9), avec une faible capacité d'échange cationique (CEC 6 à 6,98 méq/100 g) et un taux de saturation en bases inférieur à 20%. Les teneurs en carbone organique (0,59-1,26%) et en matière organique sont faibles, tout comme celle de l'azote total (0,037-0,067%) et du phosphore (10-20 ppm). Les oligo-éléments ont de très faibles teneurs, le zinc a cependant atteint 4,9 ppm. Les cartes spatiales indiquent une acidité généralisée et une faible teneur en matière organique sur l'ensemble de la zone d'étude. Le sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu a donc une faible fertilité intrinsèque, caractéristique des sols tropicaux fortement altérés et lessivés, nécessitant des pratiques de gestion du sol adaptées pour améliorer sa productivité agricole.



Pedological characterization of the UPN university farm in Kasangulu, Kongo Central Province in DR Congo

ABSTRACT

The characterization of soil properties is an essential step in determining land use potential and guiding sustainable management. The objective of this study was to contribute to the pedological characterization (physical and chemical properties) of the soil at the university farm of the National Pedagogical University (UPN) located in Kasangulu, in the Kongo Central province of the Democratic Republic of Congo. To achieve this objective, soil samples (disturbed and undisturbed) were collected, and a soil profile (1 m x 1 m x 1 m) was opened and described. Laboratory analyses focused on the physical and chemical properties of the soil. On the morphological level, four distinct horizons were observed: the Ap horizon, thin and humic, with a very dark brown color (10YR 2/2); the A1 horizon, thick and homogeneous, with a dark brown color (10YR 3/3); the A1,2 horizon, an intermediate layer, with a slightly dark brown color (10YR 4/4); and the B horizon, with a light and grayish hue (10YR 6/4). Bulk density varied between 1.16 and 1.50 g/cm³, while the critical limiting bulk density for root growth (GLBD) was assessed at 1.55 g/cm³, a threshold exceeded in the A1,2 and B horizons. Chemical analyses showed that the soil is strongly acidic (pH in water 4.5-5.4 and pH in KCl 3.7-4.9), with a low cation exchange capacity (CEC 6-6.98 meq/100 g) and a base saturation rate below 20%. Organic carbon contents (0.59-1.26%) and organic matter are low, as are total nitrogen (0.037-0.067%) and phosphorus (10-20 ppm). Trace elements are present in very low concentrations, although zinc reached 4.9 ppm. Spatial maps indicate generalized acidity and low organic matter content throughout the study area. The soil of the UPN/Kasangulu university farm therefore has low intrinsic fertility, characteristic of highly weathered and leached tropical soils, requiring adapted soil management practices to improve its agricultural productivity.

2 INTRODUCTION

En Afrique subsaharienne, la croissance démographique rapide entraîne une augmentation constante de la demande alimentaire. Pour y répondre, les agriculteurs privilégient désormais les jachères courtes et l'agriculture sédentaire, délaissant les longues périodes de jachère (Saïdou *et al.*, 2009 ; Kaho *et al.*, 2011). Cependant, dans la majorité des pays de la région, les sols présentent une faible fertilité intrinsèque et les nutriments prélevés par les cultures ne sont pas suffisamment restitués. L'intensification agricole et la mise en valeur de nouvelles terres accentuent la pression environnementale et aggravent la dégradation de la fertilité des sols (Milleville & Serpantié, 1994 ; Diwediga *et al.*, 2012). Cette situation occasionne des rendements limités et une baisse progressive de la productivité des sols (Shepherd *et al.*, 2003 ; Saïdou *et al.*, 2009). Le sol est composé des

matières organiques et minérales essentielles au développement des plantes. Toutefois, il subit différentes formes de dégradation qui altèrent ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. En Afrique subsaharienne, cette dégradation est principalement liée à l'érosion hydrique, à la pression démographique, à la disparition du couvert végétal, aux activités minières ainsi qu'aux pratiques agricoles inadéquates. Bien que l'agriculture demeure le principal moteur de la croissance économique dans de nombreux pays africains, elle prélève, cependant, chaque année davantage des nutriments qu'elle n'en restitue au sol (Biga *et al.*, 2021 ; Coulibaly *et al.*, 2020), en raison de pratiques culturelles inadaptées (Akpo *et al.*, 2016). Selon la FAO (2015), la dégradation chimique des sols résulte de phénomènes tels que l'acidification, l'appauvrissement en



nutriments, la pollution industrielle ainsi que l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides. Ces processus compromettent la productivité et mettent en péril la durabilité des terres agricoles. La perte des éléments nutritifs essentiels (par ex. azote, phosphore et potassium) et l'acidification apparaissent particulièrement préoccupantes. Cette forme de dégradation entraîne une réduction des réserves nutritives et limite fortement la capacité productive des sols. En tant que ressource naturelle vitale pour l'humanité, le sol joue un rôle central dans les performances agricoles et nécessite des pratiques adaptées pour préserver et améliorer sa fertilité (Alifua & Mafuka, 2020). Comme les relèvent Mbonigaba *et al.* (2009), l'exploitation des sols des zones tropicales humides se heurte souvent à des contraintes liées à l'inadéquation des pratiques agricoles aux caractéristiques spécifiques de ces milieux. Dans la perspective de gestion durable des sols, la caractérisation pédologique s'avère indispensable afin d'identifier /définir les potentiels des sols et d'apporter des réponses appropriées aux défis de leur productivité (Alifua & Mafuka, 2020). En République Démocratique du Congo (RDC), les sols présentent une grande diversité spatiale. En effet, on y trouve, côte à côte, des sols très fertiles mais localisés sur de petites surfaces dispersées, et des sols pauvres occupant des surfaces beaucoup plus vastes (Mulaji, 2011). La majorité des sols du pays (79%) appartient au groupe des ferralsols, caractérisés par une faible teneur en matière organique, une capacité réduite de rétention d'eau ainsi qu'une disponibilité limitée en azote et en phosphore (Nsombo, 2016 ; Nsombo *et al.*, 2016). Ces propriétés résultent à la fois de leur nature pédologique (roches acides) et des facteurs climatiques, notamment les températures élevées qui accélèrent la minéralisation de la matière organique et les précipitations abondantes qui provoquent le lessivage des nutriments essentiels (Alongo *et al.*, 2013). Dans la province du Kongo Central, par exemple, les sols sont fortement altérés et se distinguent nettement des sols tempérés en raison de différences minéralogiques marquées. Alors que les sols

tempérés se caractérisent par une prédominance de minéraux à charge permanente dans la fraction argileuse, les sols tropicaux contiennent surtout des minéraux à charge variable, tels que la kaolinite et les sesquioxides. Sur le plan minéralogique, les sols des zones tropicales humides, comme ceux du Kongo Central, présentent des propriétés défavorables à l'agriculture : faible capacité d'échange cationique, faible rétention des éléments nutritifs, faible teneur en nutriments, faible disponibilité en eau, forte adsorption du phosphore, etc. (Van Ranst, 1991, 1995). En conséquence, ces sols nécessitent des pratiques de gestion adaptées afin d'améliorer leur productivité, généralement très faible pour la plupart des cultures. L'Université Pédagogique Nationale (UPN) a acquis une concession dans le territoire de Kasangulu (Province du Kongo Central en RDC) pour y installer une ferme agropastorale. Pour une exploitation optimale, durable et économiquement rentable de cette concession, il est important d'en déterminer la vocation des terres c'est-à-dire, l'usage agricole qui convient le mieux. Dans le processus de détermination de la vocation des terres, la caractérisation pédologique est une étape importante. Elle permet de définir les propriétés physique, chimique et biologique d'un sol, et donc son potentiel agricole (FAO, 2025). Des études pédologiques antérieures conduites dans la province du Kongo Central ont été menées à grande échelle et basées sur quelques profils ponctuels. Les résultats ont mis en évidence des sols peu fertiles, pauvres en matière organique, à pH acide avec des faibles teneurs en éléments minéraux (Baert *et al.*, 1991 ; Botula, 2013 ; CAID, 2015). Dans le territoire de Kasangulu, et particulièrement pour la concession universitaire de l'UPN, la caractérisation pédologique à l'échelle locale n'a pas encore été faite. Cette étude est conduite dans le but de combler cette lacune en vue d'une utilisation judicieuse du sol de la concession universitaire. Au regard de ce qui précède, la présente étude est focalisée sur les questions de recherche suivantes : (i) quelles sont les caractéristiques physiques et chimiques du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu



? ; (ii) quel est le degré de variabilité spatiale de fertilité chimique (notamment le pH et la teneur en matière organique) du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu ? Les hypothèses émises pour répondre aux questions de recherche susmentionnées sont : (i) le sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu serait sableux, très acide, poreux, pauvre en matière organique et en éléments minéraux essentiels pour la nutrition des plantes ; (ii) le sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu

présenterait une variabilité spatiale importante en termes de fertilité chimique.

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la caractérisation pédologique de la ferme universitaire de l'UPN à Kasangulu, dans la province du Kongo Central en RDC. Spécifiquement, cette étude vise à : (i) déterminer les propriétés physiques et chimiques, et (ii) caractériser la variabilité spatiale de la fertilité chimique du sol (notamment le pH et la matière organique) de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu.

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 Milieu d'étude

3.1.1 Présentation et localisation de la zone d'étude : Cette étude a été menée à la ferme universitaire de l'Université Pédagogique Nationale (UPN), située au village Kinsambi (4°31'28,4"S, 15°05'21,1"E et à 391 m d'altitude), territoire de Kasangulu dans la province du Kongo Central en RDC (Figure 1). Une campagne de collecte d'échantillons de sol y a été organisée en vue de la caractérisation pédologique.

3.1.2 Climat : Kasangulu bénéficie d'un climat tropical chaud et humide (Aw₄, selon la classification de Köppen) caractérisé par une

alternance de deux saisons (saisons de pluies et saison sèche). La saison de pluies débute à partir du 15 octobre et se termine au 15 mai de chaque année, intercalée par une petite saison sèche au mois de février. Les mois de novembre et avril sont les plus pluvieux de l'année. La température oscille entre 28 et 30°C. Il y a diminution de température pendant la nuit, atteignant jusqu'à 20°C. Par contre, et durant la journée, la température peut atteindre 28°C. La température la plus basse (17°C) est observée au mois de juillet. Les moyennes annuelles de précipitations varient de 700 à 1 800 mm, soit en moyenne 58,3 à 150,00 mm par mois (CAID, 2015).

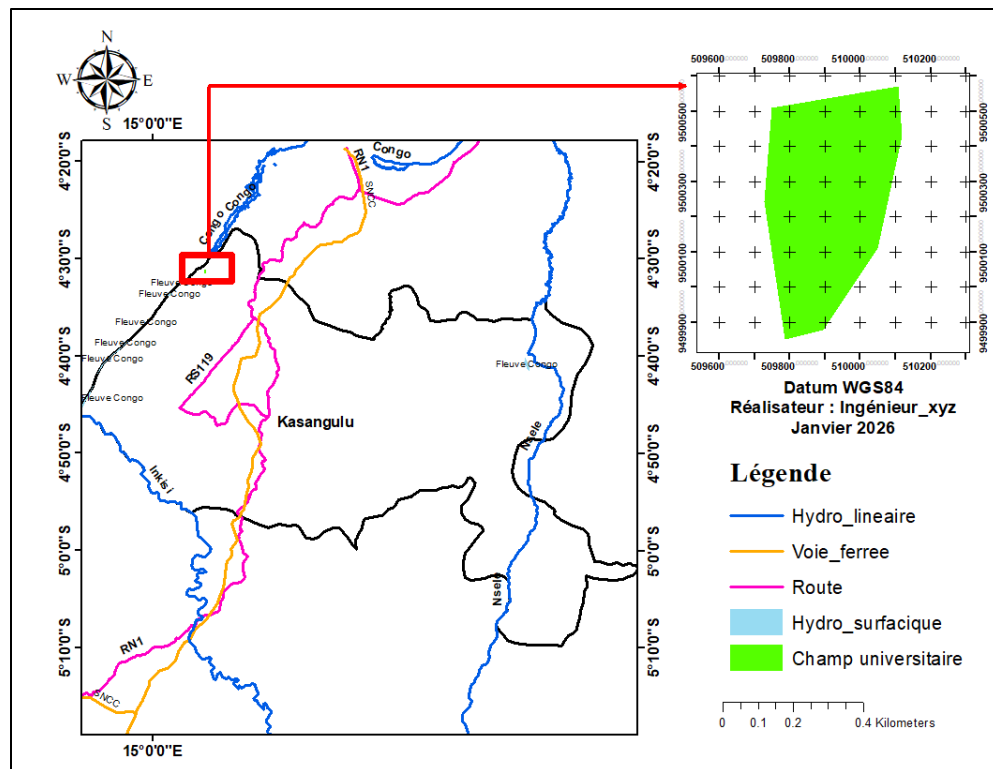


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (Ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu).

3.1.3 Sol et végétation : Du point de vue de la texture, les classes texturales argilo-sablonneux et sablo-argileux prédominent. Le sol de Kasangulu est caractérisé par un faible niveau de fertilité du sol (pauvre en carbone organique : 0,2 à 0,6%). Il s'agit des sols Hypoluviques Arénosols. Selon CAID (2015), presque 90% des sols de Kasangulu est composé de ce type de sol. La flore colonisatrice de la ferme universitaire est dominée par des espèces végétales suivantes : *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L Jacobs, *Maprounea africana* Müll. Arg., *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, *Lannea edulis* (Sond.) Engl., *Psidium guajava* L., *Eriosema psoraleoides* (Lam.) G. Don., *Annona senegalensis* Pers., *Dischrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn., *Crossopteryx febrifuga* (Afzel. Ex G. Don) Benth., *Syzigium guineense*, (Willd.) DC., *Rotheca myricoides* (Hochts.) Steane & Mabb., *Maprounea africana* Müll. Arg., *Chromolaena odorata* (L.) R.M. King & H. Rob., *Achyranthes aspera* L., *Hymenocardia acida* Tul., *Hyparrhenia diplandra* (Hack.) Stapf et *Psorospermum febrifugum* Spach.

3.2 Matériel :

Pour mener cette étude, trois types de matériels ont été utilisés, à savoir : les matériels aratoires, les matériels de collecte et préparation d'échantillons du sol, et les matériels d'analyse de sol au laboratoire.

3.3 Méthodes : Les échantillons de sol ont été collectés dans la zone de la ferme universitaire de l'UPN/Kasangulu dominée par la savane clairsemée d'arbustes (Fig. 1.), couvrant 3,44 ha. L'échantillonnage du sol a été conduit de manière aléatoire (méthode zig-zag) de façon à couvrir, de manière représentative, la zone d'échantillonnage. Au total, 60 échantillons de sols perturbés ont été prélevés. Ces prélèvements ont été réalisés verticalement à l'aide d'une tarière (marque Eijkelkamp) et a concerné les vingt premiers centimètres du sol (profondeur 0 - 20 cm). Des 60 échantillons perturbés prélevés, 25 échantillons dont 14 composites (issus de 47 échantillons individuels) ont été analysés au laboratoire. Mis à part ces échantillons du sol perturbés, dix (10) échantillons du sol non perturbés et représentatifs ont également été prélevés, de

manière aléatoire, à l'aide des cylindres de Kopecky de 100 cm³. Immédiatement après le prélèvement sur le terrain, ces échantillons étaient pesés pour relever le poids frais. Après échantillonnage sur le terrain, les échantillons perturbés du sol ont été emmenés au laboratoire et séchés à l'air libre sur papier duplicateur pendant 24h. Ensuite, ils ont été broyés (si nécessaire, à l'aide d'une bouteille de bière) puis tamisés au moyen d'un tamis (mailles de 2 mm de diamètre) pour obtenir la terre fine. Chaque échantillon a été étiqueté (numéro et date de prélèvement, profondeur de mesure, coordonnées GPS). Passant d'un échantillon à un autre, le tamis était nettoyé à l'aide d'une brosse et l'essuie tout pour éviter la contamination entre deux échantillons successifs. Ainsi préparés, les échantillons étaient prêts pour les analyses au laboratoire. Les échantillons non perturbés prélevés avec les cylindres de Kopecky ont été séchés à l'étuve, à 105°C pendant 72h en vue de déterminer la masse du sol sec. La caractérisation physique du sol a porté sur la description du profil pédologique, la densité apparente (Da), la teneur en eau du sol (teneur en eau gravimétrique et volumétrique), la porosité du sol et la texture du sol. La densité apparente (Da, masse d'un échantillon de sol sec sur le volume d'échantillonnage) a été mesurée suivant la méthode gravimétrique au moyen des cylindres de Kopecky (100 cm³) sur des échantillons non perturbés et frais (Okalebo *et al.*, 2002 ; Van Ranst *et al.*, 1999). Les données de la composition granulométrique des sols (texture) ont été projetées sur le triangle textural de densité apparente limitante pour la croissance (GLBD) (Daddow & Warrington, 1983) en vue d'en évaluer pour le sol de cette étude. La porosité totale du sol a été déduite de sa relation avec la densité apparente (Da) et réelle (Dr) du sol selon l'équation décrite par Arrouays *et al.* (2003) (Eq. 1) :

$$Pt (\%) = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100 \quad \text{Eq.1}$$

Où Pt : Porosité totale, Da : densité apparente et Dr : densité réelle (2,65 g/cm³).

La teneur en eau gravimétrique du sol qui correspond à l'humidité pondérale du sol a été déterminée par la formule suivante (Eq. 2) :

$$w = \frac{(Masse\ sol\ humide - Masse\ sol\ sec)}{Masse\ sol\ sec} \quad \text{Eq.2}$$

Où w : Eau gravimétrique (g eau/g sol sec).

La teneur en eau volumétrique du sol qui correspond au volume d'eau contenu dans un volume donné de sol a été déterminée par la formule suivante (Eq. 3) :

$$\Theta v = w \times \frac{Da}{Masse\ volumique\ d'eau} \quad \text{Eq. 3}$$

Où Θv : teneur en eau volumétrique (cm³ eau / cm³ total) ; w : Eau gravimétrique (g eau/g sol sec) ; Da : Densité apparente du sol ; Masse volumique de l'eau : 1 g/cm³.

La description morphologique du profil a été réalisée *in situ*, conformément aux directives standardisées pour la description des sols de la FAO (FAO, 2006). La couleur de la matrice du sol à l'état humide a été déterminée à l'aide de référentiels des couleurs des sols (Munsell Soil Color Charts, 2009). Quant aux analyses chimiques du sol, elles ont concerné le pH eau, la teneur en éléments minéraux du sol dont les macroéléments et éléments secondaires (N, P, K, Ca, Mg) ; les oligo-éléments (Cu, B, Zn) et la teneur en carbone organique (CO). Le pH, la teneur en carbone organique et en éléments nutritifs du sol (N total, P assimilable, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn et B) ont été analysés à l'aide du spectromètre ATR Platinum. Dix échantillons ont été analysés avec cet appareil. Un échantillon du sol (prise 5 g) est déposé sur le cristal de mesure du module ATR Platinum. Le spectromètre envoie un faisceau infrarouge dans le cristal permettant de détecter les liaisons chimiques caractéristiques des composés présents (matière organique, argile, etc.). Le spectre infrarouge obtenu, est enregistré et traité par le logiciel de gestion du spectromètre. Le logiciel qui pilote la machine corrige les spectres, puis applique un modèle de calibration statistique permettant d'estimer divers paramètres du sol. Le spectromètre produit un rapport des résultats de l'analyse du sol et les recommandations pour optimiser le rendement des cultures (actuellement les recommandations



concernent uniquement la culture du maïs) (Cécillon *et al.*, 2017). La teneur en matière organique (MO) du sol a été calculée en multipliant la teneur en carbone organique par 1,72 (soit une teneur moyenne de 58% de carbone organique dans la matière organique) (Baize, 2017). Le rapport C/N (carbone/azote) est le quotient de la teneur en carbone sur la teneur en azote. Par ailleurs, 15 échantillons de sol ont été analysés suivant les méthodes usuelles en vue de déterminer le pH-eau et KCl, la capacité d'échange cationique (CEC), la somme de bases échangeables, la teneur en oxydes de fer et d'aluminium (Fe_2O_3 et Al_2O_3), ainsi que l'acidité d'échange (Al^{3+} et H^+). Le pH eau a été mesuré avec un pH mètre (marque Hanna) dans une suspension d'un mélange sol-eau avec un rapport de 1:2,5 (Sys, 1972) et le pH KCl 1 N, a été déterminé dans un rapport de 1:5. La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée conformément à la méthode d'extraction (percolation) en milieu tamponné avec la solution d'acétate d'ammonium à pH = 7, adaptée aux sols acides (Pansu & Gautheyrou, 2006). Le taux de saturation en bases (V) est le quotient de la somme de bases échangeables sur la CEC, multiplié par cent. L'acidité d'échange ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$) a été déterminée suivant la méthode décrite par McLean (1965) : percolation sur 10 g de sol avec 100 ml de KCl 1 M (4 x 25 ml) et dosage par titrage avec NaOH (acidité totale) et HCl (aluminium échangeable). La quantité de H^+

a été obtenue par différence entre l'acidité totale et la quantité d'aluminium échangeable. Le fer libre (Fedcb) et l'aluminium libre (Aldcb) ont été extraits avec la solution de dithionite et citrate de sodium tamponnés par le bicarbonate de sodium, et dosés par spectrophotométrie d'émission atomique (Mehra & Jackson, 1960). Les cartes illustrant la variabilité spatiale du pH et de la teneur en matière organique ont été réalisées à l'aide du GPS et du SIG, en utilisant l'outil d'interpolation de la boîte à outils ArcGIS, soutenu par l'outil de géotraitement. La méthode de Krigeage a été utilisée pour interpoler la distribution spatiale du pH et de la matière organique à partir des échantillons collectés (Oliver, 1990). Après la collecte des données, des analyses statistiques univariée (moyenne et écart-type), bivariée (analyse de corrélation de Pearson) et multivariée (analyse en composantes principales) ont été réalisées grâce aux logiciels R, version 4.5.0 et RStudio 2025 (R Development Core Team, 2025). Pour interpréter les résultats des analyses du sol, à défaut des normes d'interprétation des analyses des sols en RDC et plus particulièrement pour la zone d'étude, les normes de Mémento de l'Agronome (CIRAD-GRET, 1994) ; celles de Landon (1991) et la fiche d'interprétation des résultats des analyses des sols générée par le spectromètre ATR Platinum du Laboratoire des sols de l'Université Loyola du Congo (ULC) ont servi des références.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RESULTATS

4.1.1 Propriétés physiques du sol :

a) Teneur en eau, densité apparente et porosité du sol : Le tableau 1 présente les caractéristiques physiques du sol de la ferme universitaire de l'UPN/Kasangulu. Ce tableau montre que la densité apparente varie entre 1,16 et 1,50 g/cm³. Sur la profondeur de mesure (0-5

cm), la porosité totale la plus faible est de 43% et s'accroît d'environ 13% sur d'autres points de mesure. Quant à la teneur en eau du sol (gravimétrique et volumétrique), elle varie de 3 à environ 23%, avec des moyennes de 9% (teneur en eau gravimétrique) et 12% (teneur en eau volumétrique).

Tableau 1 : Propriétés physiques du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu.

Echantillons du sol	Paramètres			
	Θ_v (%)	w (%)	Da (g/cm ³)	P tot (%)
1	14,63	11,00	1,33	49,81
2	11,12	8,00	1,39	47,55
3	22,61	17,00	1,33	49,81
4	11,88	9,00	1,32	50,19
5	14,80	10,00	1,48	44,15
6	8,12	7,00	1,16	56,23
7	4,29	3,00	1,43	46,04
8	4,44	3,00	1,48	44,15
9	8,58	6,00	1,43	46,04
10	19,50	13,00	1,50	43,40
Moyenne $\pm$ Ecart-type (n = 10)	12,00$\pm$4,71	8,70$\pm$3,30	1,39$\pm$0,08	47,74$\pm$3,02

Légende : Θ_v (%) : Teneur en eau volumétrique ; w (%) : Teneur en eau gravimétrique ; Da : Densité apparente (g/cm³) ; P tot (%) : Porosité totale du sol.

b) Densité apparente limitante (GLBD) des cultures : La projection des données granulométriques sur le triangle textural des densités apparentes limitantes pour la croissance (GLBD, selon Daddow & Warrington, 1983) montre que le seuil critique de GLBD est atteint plus rapidement (à une valeur plus faible) dans les horizons riches en argile (Figure 2). Indépendamment de la profondeur de l'horizon, cette valeur de GLBD se situe autour de 1,55 g/cm³. Le tableau 2 compare les densités apparentes mesurées sur le terrain aux valeurs critiques estimées à partir de la figure 2. Il en

ressort que dans les horizons de surface, la densité apparente mesurée reste systématiquement plus éloignée du seuil critique. L'horizon Ap présente l'écart le plus important avec la valeur critique, suivi de près par l'horizon A1. Ces écarts marqués indiquent que la densité apparente actuelle de ces horizons n'exerce aucune contrainte majeure sur le développement des racines. Les horizons A1,2 et B, à l'inverse, dépassent ce seuil critique, ce qui traduit une résistance mécanique du sol limitant la croissance racinaire des plantes.

Tableau 2 : Comparaison des valeurs de densité apparente (Da) mesurée et critiques (GLBD) pour les échantillons du profil de la zone d'étude selon les profondeurs types.

Echantillons du sol	Paramètres			
	Da mesurée (1)	Da Critique* (2)	(2) – (1)	Profondeur (cm)
Horizon Ap	1,28	1,55	0,27	0-7
Horizon Ap	1,37	1,55	0,18	
Horizon Ap	1,39	1,55	0,16	
Moyenne	1,34	1,55	0,20	
Horizon A1	1,45	1,55	0,1	8-50
Horizon A1	1,53	1,55	0,02	
Horizon A1	1,61	1,55	-0,06	
Moyenne	1,53	1,55	0,02	
Horizon A1,2	1,64	1,55	-0,09	51-68
Horizon A1,2	1,65	1,55	-0,10	
Horizon A1,2	1,59	1,55	-0,04	

Moyenne	1,62	1,55	-0,08	69-100
Horizon B	1,64	1,55	-0,09	
Horizon B	1,65	1,55	-0,10	
Horizon B	1,59	1,55	-0,04	
Moyenne	1,62	1,55	-0,08	

Légende : Da : Densité apparente (g/cm³) ; * Valeurs estimées par interpolation à partir de la Figure 2.

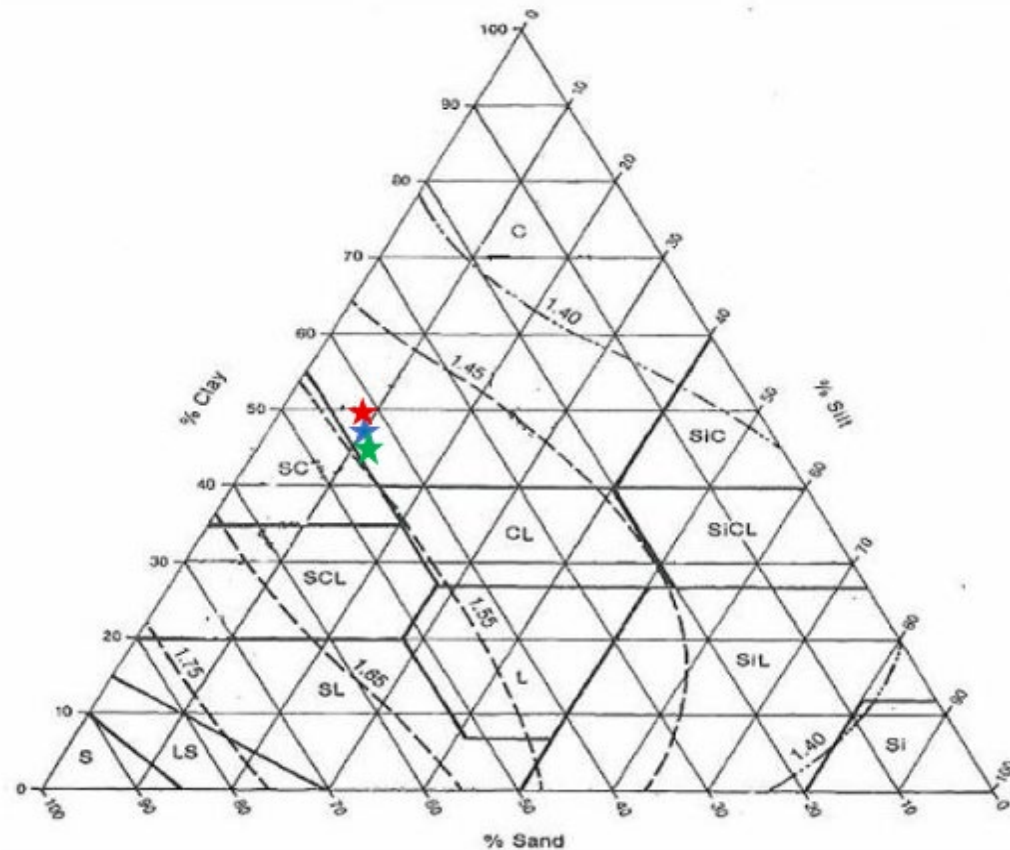


Figure 2 : Positionnement des échantillons des sols du profil dans le diagramme textural de densité apparente limitante pour la croissance racinaire (Daddow & Warrington, 1983).

★ : Horizon Ap ; ★ Horizon A1 ; ★ Horizons A1,2 et B ; Echantillons du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu. Chaque point correspond à un échantillon non perturbé selon les profondeurs de chaque horizon. Les lignes discontinues représentent les compositions granulométriques d'égale densité apparente limitante pour la croissance.

c) Description du profil pédologique : Le tableau 3 et la figure 3 présentent la description morphologique des horizons du profil FU1 (Série Kinsambi) du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu. Le profil montre quatre horizons différents suivant leurs couleurs : Horizon Ap, Horizon A1, Horizon A1,2 et Horizon B. La

transition des couleurs (du brun très sombre au brun jaunâtre clair) traduit la diminution progressive de la matière organique et l'augmentation relative des minéraux oxydés (fer et aluminium). Biologiquement, la dynamique est concentrée dans les horizons supérieurs, tandis que les horizons A1,2 et B agissent comme une limite physique et chimique.



Tableau 3 : Description morphologique des horizons du profil FU1 (Série Kinsambi) du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu.

Horizon	Type d'horizon	Code Munsell	Nom de la couleur	Description
Ap	Horizon de surface labouré	10YR 2/2	Brun très sombre (Very Dark Brown)	Mince couche supérieure humifère, de couleur sombre (accumulation de matière organique décomposée). Présence active de racines de graminées.
A1	Horizon humifère supérieur/Eluvial ou Lessivé	10YR 3/3	Marron foncé (Dark Brown)	Couche plus épaisse, sombre du profil avec une bonne aération. Sa couleur brune à marron foncé provient d'une forte concentration en matière organique (humus). Présence de six racines d'arbustes et de deux macropores.
A1,2	Horizon de transition	10YR 4/4	Brun jaunâtre foncé (Dark Yellowish Brown)	Couche avec couleur intermédiaire, de teinte claire (brun légèrement foncé) que l'horizon A1 sous l'effet d'une baisse progressive du taux d'humus.
B	Horizon d'accumulation ou altération/Iluvial	10YR 6/4	Brun jaunâtre clair (Light Yellowish Brown)	Couche inférieure peu affectée par les processus biologiques. Nuance plus claire, grisâtre ou beige (diminution de la matière organique, due à l'accumulation d'oxydes de fer et d'argiles, et une faible altération chimique).

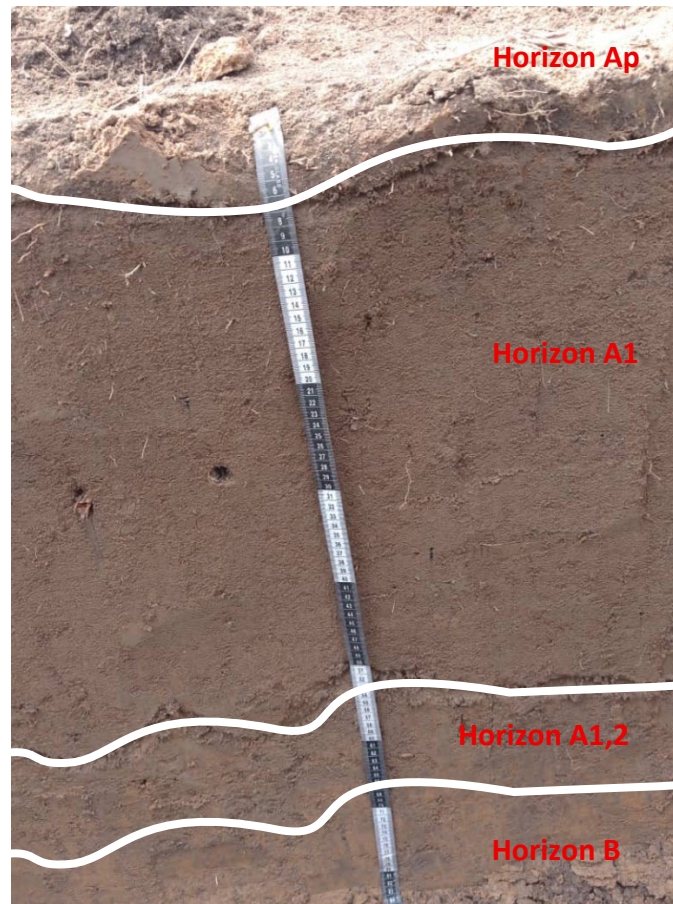


Figure 3 : Profil pédologique du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu.

4.1.2 Propriétés chimiques et classes texturales du sol : Les propriétés chimiques du sol du site d'étude sont présentées au tableau 4. Le pH est généralement très acide, avec des valeurs allant de 4,5 à 5,2. La teneur en carbone organique (CO) est faible, elle ne dépasse pas 1,26%. A certains points de mesure, elle est même très faible (0,59%). La teneur en matière organique (MO) suit la même tendance que le carbone organique ($MO = CO \times 1,72$). L'azote total est très faible sur l'ensemble de la zone d'échantillonnage (0,037 à 0,067%). Le rapport C/N varie entre 15 et 30. Quant à la teneur en phosphore, elle est quasi-identique sur

l'ensemble d'échantillons analysés sauf à un point de mesure dont la teneur est le double (20 ppm). Comme pour les autres éléments minéraux du sol, les teneurs en bases échangeables sont tout de même très faibles, avec des valeurs inférieures à 1 méq/100 g de sol. En ce qui concerne les oligo-éléments, le bore est caractérisé par des valeurs plus faibles comparées au cuivre et zinc dont les teneurs ont atteint jusqu'à 4,9 ppm. La texture du sol est dominée par les classes argilo-sableuse et limono-argilo-sableuse en surface. Dans certains points de mesure, la texture argileuse domine (Tableau 4).

**Tableau 4 :** Propriétés chimiques et classes texturales du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu.

Paramètres	Echantillons										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moyenne $\pm$ Ecart-type (n = 10)
pH	4,8	5,2	4,7	4,5	4,7	4,8	4,7	4,8	4,8	5	4,8 $\pm$ 0,19
CO (%)	1,16	0,59	1,1	1,24	1,11	0,93	1,26	0,69	1,24	0,74	1,0 $\pm$ 0,25
MO (%)	1,99	1,02	1,89	2,14	1,91	1,6	2,17	1,19	2,14	1,28	1,7 $\pm$ 0,43
N tot (%)	0,057	0,041	0,045	0,052	0,037	0,055	0,065	0,045	0,064	0,032	0,05 $\pm$ 0,1
P (ppm)	10,0	20,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	11,0 $\pm$ 3,16
K (méq/100 g)	0,21	0,14	0,18	0,28	0,18	0,20	0,28	0,19	0,24	0,20	0,2 $\pm$ 0,04
Ca (méq/100 g)	0,35	0,70	0,15	0,15	0,15	0,65	0,19	0,15	0,37	0,60	0,3 $\pm$ 0,23
Mg (méq/100 g)	0,43	0,41	0,44	0,49	0,44	0,67	0,49	0,40	0,60	0,37	0,5 $\pm$ 0,09
SBE (méq/100 g)	0,99	1,25	0,77	0,92	0,77	1,52	0,96	0,74	1,21	1,17	1,0 $\pm$ 0,25
B (ppm)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8 $\pm$ 0,00
Cu (ppm)	1,8	1,8	4,9	4,9	1,8	1,8	4,9	1,8	1,8	1,8	2,7 $\pm$ 1,50
Zn (ppm)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0 $\pm$ 0,00
C/N	20,0	15,0	24,0	24,0	30,0	17,0	19,0	15,0	19,0	24,0	20,7 $\pm$ 4,76
Classe texturale	Argilo-sableuse	Limono-sableuse	Argilo-sableuse	Argileuse	Argilo-sableuse	Limono-argilo-sableuse	Argileuse	Limono-argilo-sableuse	Argilo-sableuse	Limono-argilo-sableuse	-

Analyses faites à l'aide du spectromètre ATR Platinum.

Légende : pH : Potentiel hydrogène, CO : Carbone organique, MO : Matière organique, N tot : Azote total, P : Phosphore assimilable, K : Potassium, Ca : Calcium, Mg : Magnésium, SBE : Somme de bases échangeables, B : Bore, Cu : Cuivre, Zn : Zinc, C/N : Rapport carbone sur azote, ppm : Partie par million, méq/100 g : Milliéquivalent sur 100 g de sol



4.1.3 pH, SBE, CEC, saturation en bases, teneurs en oxydes de Fe et d'Al libres et acidité de réserve : Le tableau 5 présente les résultats des analyses du sol (15 échantillons) mesurées suivant les méthodes usuelles. Le sol est acide, avec des valeurs qui varient entre 4,8 et 5,4 tandis que le pH-KCl diminue d'une demie à une unité (3,7 et 4,9). La somme de bases échangeables varie de 0,34 à 1,05 méq/100 g de sol, et la CEC reste aussi très faible (6-6,98 méq/100 g de sol), indiquant une faible capacité

de rétention en cations. Le taux de saturation en bases (V) est très bas (5,41-17,21 %), confirmant un sol acide et peu fertile ($V < 20\%$). Les teneurs en oxydes de fer (1,65-2,87%) et d'aluminium ($< 1\%$) sont très faibles. Quant à l'acidité de réserve, la teneur en aluminium échangeable (Al^{3+}) s'accroît de 0,24 à 0,66 méq/100 g de sol, et celle de H^+ varie largement selon les points de mesure (0,18 à 2,37 méq/100 g de sol).

Tableau 5 : pH, SBE, CEC, taux de saturation en bases, teneurs en oxydes de Fe et d'Al libres et acidité de réserve du sol de la ferme universitaire de l'UPN/Kasangulu.

Echantillons	pH_eau	pH_K Cl	SBE	CEC	V	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ³⁺	H ⁺
1	5,3	4,9	1,05	6,10	17,21	2,14	0,58	0,24	0,88
2	5,3	3,9	0,4	6,16	6,49	1,92	0,75	0,26	0,95
3	4,9	3,9	0,4	6,24	6,41	2,29	0,84	0,28	1,01
4	5,2	4,2	0,69	6,98	9,89	1,89	0,67	0,26	0,95
5	5,1	3,8	0,44	6,30	6,98	1,96	0,71	0,30	1,08
6	5,3	3,7	0,34	6,29	5,41	2,87	0,57	0,65	2,36
7	5,4	3,7	0,41	6,32	6,49	2,65	0,37	0,50	1,80
8	5,2	3,8	0,52	6,45	8,06	1,65	0,44	0,61	2,20
9	4,9	3,8	0,44	6,38	6,9	1,89	0,19	0,41	1,48
10	5,3	3,9	0,56	6,52	8,59	2,13	0,15	0,24	0,19
11	4,9	3,9	0,37	6,28	5,89	2,13	0,08	0,26	0,18
12	5,2	3,9	0,47	6,41	7,33	2,13	0,0	0,28	1,02
13	5,1	3,9	0,54	6,55	8,24	2,11	0,08	0,26	0,96
14	5,3	3,8	0,43	6,36	6,76	2,23	0,15	0,30	1,09
15	4,8	3,7	0,48	6,47	7,42	2,21	0,23	0,66	2,37
Moyenne ± Ecart-type	5,1±0,2	3,9±0,2	0,5±0,11	6,39±0,14	7,87±1,68	2,15±0,20	0,42±0,24	0,37±0,13	1,23±0,54

Légende : Potentiel hydrogène eau (solvant eau) ; Potentiel hydrogène KCl (solvant chlorure de potassium) ; SBE (méq/100 g) : Somme des bases échangeables en milliequivalent sur 100 g de sol ; CEC (méq/100 g) : Capacité d'échange cationique en milliequivalent sur 100 g de sol ; V (%) : Taux de saturation en bases ; Fe₂O₃ (%) : Oxyde de fer ; Al₂O₃ (%) : Oxyde d'aluminium ; Al³⁺ (méq/100 g) : Aluminium échangeable en milliequivalent sur 100 g de sol ; H⁺ (méq/100 g) : Hydrogène échangeable en milliequivalent sur 100 g de sol.

4.1.4 Relation entre les propriétés chimiques du sol et la texture : La relation entre les propriétés chimiques et la texture du sol du site d'étude est illustrée à la figure 4. Les deux premiers axes expliquent 70,3% de la variance totale (47,4% pour Dim1 et 22,9% pour Dim2). L'ACP montre que l'axe 1 (horizontal) est plus important car il sépare les échantillons du sol en deux groupes distincts : à droite le groupe organique dont la matière organique, le carbone organique et l'azote total qui sont très proches et évoluent dans le même sens ($r = 0,657$), plus le sol est riche en matière organique plus il est riche en azote ; et à gauche le groupe pH, phosphore et calcium qui évoluent dans le même sens ($r = 0,745$

et $r = 0,797$), plus le pH remonte, le phosphore est plus présent dans le sol. Le magnésium et la SBE (Somme de bases échangeables) sont orientés vers le haut et le rapport C/N est orienté vers le bas ($r = -0,437$ et $r = -0,216$). Ceci indiquerait que là où la décomposition de la matière organique est lente (C/N élevé), le sol est moins riche en bases échangeables. Les échantillons de sol riches en argile (en rouge, points 4 et 7) sont caractérisés par des teneurs en carbone organique (CO%), en matière organique (MO%) et en azote élevées, montrant que l'argile aide à stocker et conserver la matière organique dans le sol. Les sols limono-sableux (en violet, point 2) sont relativement moins acides (pH

élevé) et riches en phosphore assimilable et en calcium (Ca), mais très pauvres en matière organique. Les sols argilo-sableux (en vert, numéros 3 et 5) sont liés au rapport C/N élevé. Par contre, les sols limono-argilo-sableux (en bleu) sont plutôt riches en

magnésium (Mg) et ont des valeurs de SBE supérieures, surtout pour les points 6 et 1. Bien plus, plus un sol est argileux et riche en matière organique, plus son pH a tendance à être bas (acide) (Figure 4).

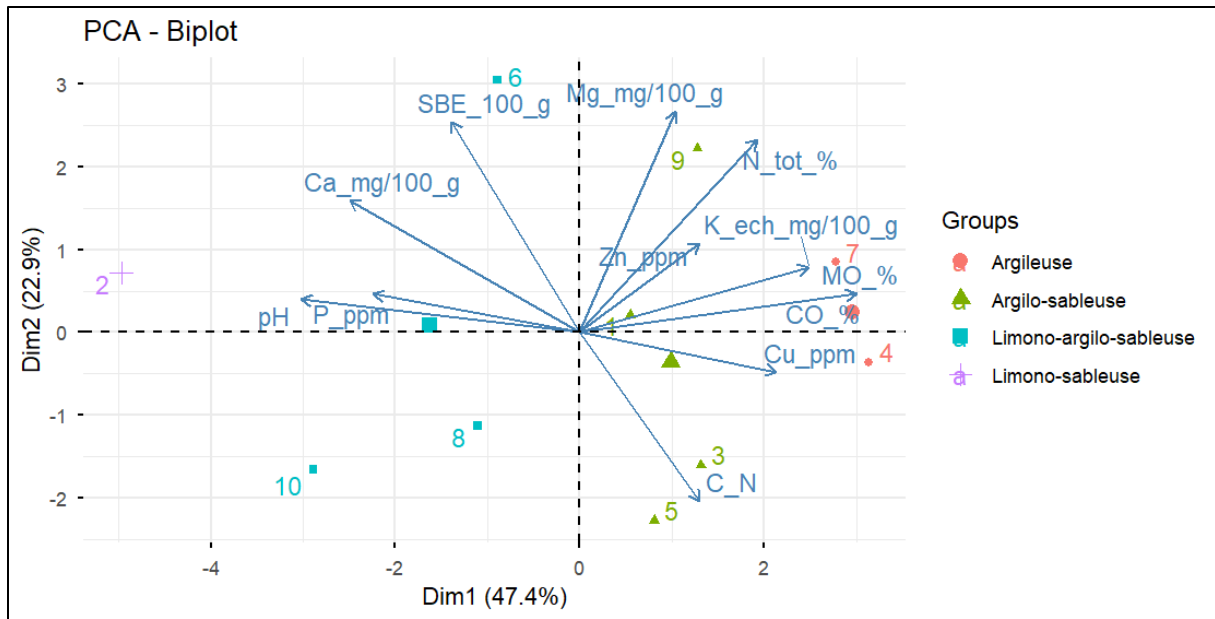


Figure 4 : Relation entre les propriétés chimiques du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu et les classes texturales.

4.1.5 Variabilité spatiale du pH et de la teneur en matière organique dans la zone d'étude : Les figures 5 et 6 illustrent la variabilité spatiale du pH eau et de la teneur en matière organique du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu. Il s'observe que le pH eau du sol dans l'ensemble de la

zone d'étude est fortement acide (4,6 à 5,2), la partie Nord du site d'étude est relativement plus acide que le Sud (Figure 5). Parallèlement, la teneur en matière organique est globalement faible (1 - 2,2%) sur l'ensemble du site d'étude (Figure 6).

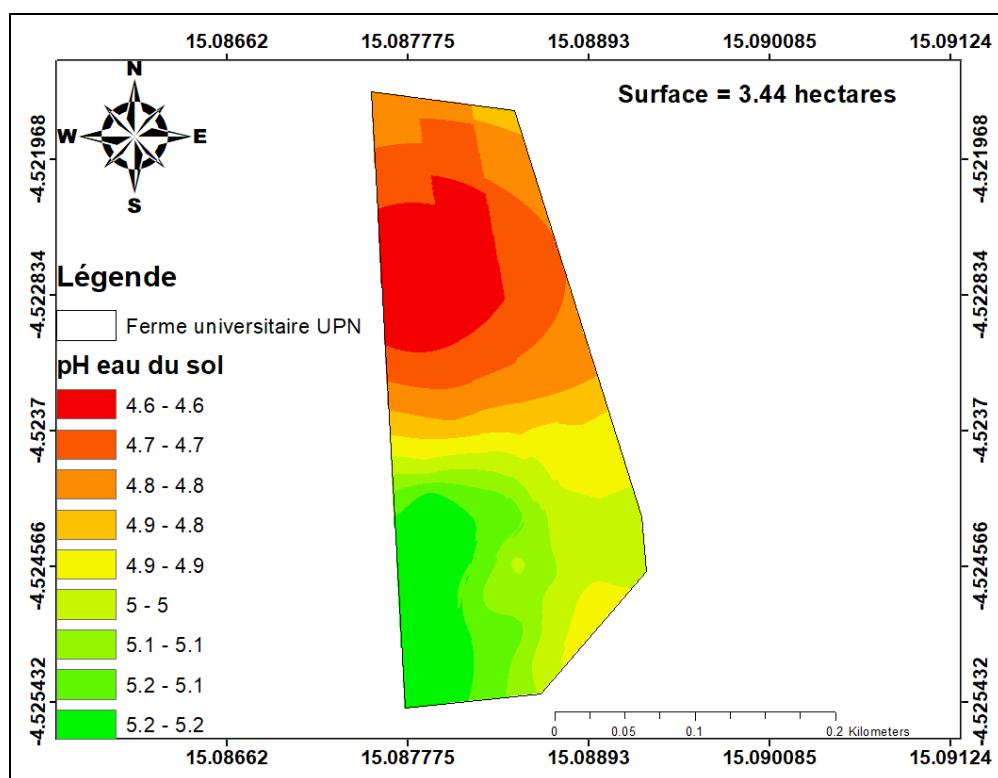


Figure 5 : Variabilité spatiale du pH eau du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu.

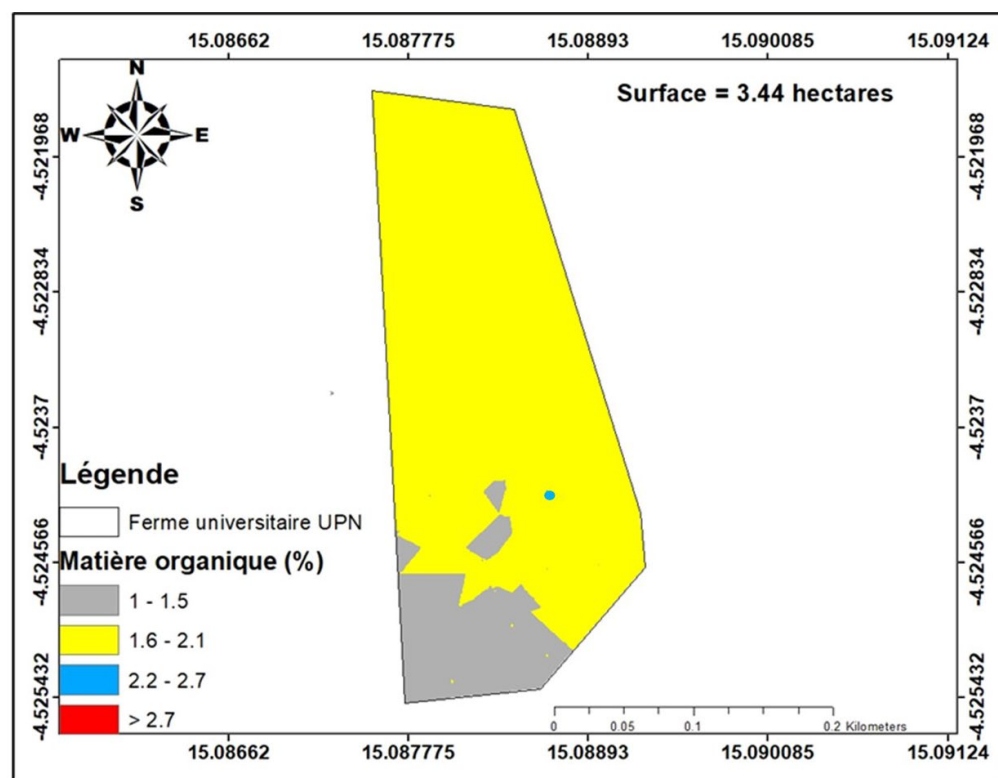


Figure 6 : Variabilité spatiale de la teneur en matière organique du sol de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu.



4.2 DISCUSSION

Cette étude avait pour objectif de contribuer à la caractérisation pédologique (propriétés physiques et chimiques) de la ferme universitaire de l'UPN/Kasangulu. Les résultats montrent que la densité apparente du sol varie entre 1,16 à 1,50 g/cm³, caractérisant des sols minéraux de surface, non récemment cultivés et non compactés (Landon, 1991). Legros (2007) et Mulaji (2011) ont rapporté des résultats similaires. Sur le profil, la densité apparente s'accroît suivant les horizons et la profondeur du sol (Tableau 2 et Figure 2). Sur base de la densité apparente limitante pour la croissance des plantes (GLBD, Growth-Limiting Bulk Density) (Daddow & Warrington, 1983), les racines croissant dans les horizons A1,2 et B (Tableau 2) seraient soumises aux contraintes de résistance mécanique du sol. En effet, sur ces horizons, la densité apparente mesurée dépasse la valeur seuil critique (1,55 g/cm³) à partir duquel la résistance mécanique du sol deviendrait trop élevée, provoquant une baisse significative de l'élongation racinaire (O'Connell, 1975). La porosité totale moyenne (48%) range le sol de surface de cette étude parmi les sols ayant de bonnes conditions de drainage optimale (45% à 50%), de circulation de l'air, de développement et pénétration facile des racines (Landon, 1991, Baize et al., 2008 ; CIRAD-GRET, 1994). Bien plus, Reynolds et al. (2008) situent ces valeurs de porosité totale (Tableau 1) dans la plage de celles des sols tropicaux sableux ou sablo-argileux (Reynolds et al., 2008). Pour cette étude, quatre classes texturales ont été identifiées : limono-sableuse, argilo-sableuse, limono-argilo-sableuse et argileuse, ce qui dénote une grande variabilité de la texture du sol (Tableau 4). Ces classes texturales seraient associées aux bonnes propriétés hydrodynamiques. Sur le profil pédologique, l'argile est la particule minérale dominante, elle représente 47 à 50% de la composition granulométrique selon les horizons. L'augmentation de la teneur en argile peut expliquer l'accroissement de la résistance mécanique du sol ou l'occurrence de la GLBD à des faibles valeurs. Des résultats similaires ont été rapportés par Muliele (2014) pour les sols du

Sud-Kivu à l'Est de la RD Congo. En ce qui concerne les propriétés chimiques, le pH-eau moyen du sol est de 4,8, et indique essentiellement une réaction acide (Tableau 4, Figure 5). De 4,5 à 5,2 (pH eau) et 3,7 à 4,9 (pH KCl) (Tableaux 5) ; les valeurs de pH mesurées dans cette étude se trouvent dans la gamme des sols très fortement acides (CIRAD-GRET, 1994). Le pH du sol est un paramètre important qui conditionne un grand nombre des réactions chimiques et microbiologiques dans le sol. Car, le pH influence la capacité des constituants du sol à retenir ou à libérer les cations, et qui gouverne la disponibilité des éléments minéraux essentiels à la nutrition des plantes (Schvartz et al., 2005 ; Fardeau, 2015 ; Jacques, 2021). Selon certains auteurs, le pH optimal pour la production végétale est d'environ 6,5 (Landon, 1991 ; Mulaji, 2011). Conséquemment, les faibles valeurs de pH dans les sols limitent la croissance végétale par la diminution de la nitrification de la matière organique, la réduction de l'activité bactérienne, la déficience en macroéléments (Ca, K, N, Mg et P), la toxicité aluminique et manganique, et par la grande disponibilité de certains éléments mineurs (excès de Co, Cu, Fe, Mn, Zn) (Landon, 1991 ; Mulaji, 2011). La matière organique constitue la principale source d'éléments nutritifs (N, S, P, etc.) dans les sols tropicaux fortement altérés à faible réserve minéralogique et des systèmes de cultures extensifs. Les teneurs en carbone organique (en moyenne 1,7%) (Tableau 4 et Figure 6) et en azote total (en moyenne 0,05%) sont très faibles (Tableau 4), et rangent le sol sous étude parmi des sols pauvres en MO et en azote (Landon, 1991 ; CIRAD-GRET, 1991). Il paraît donc logique que, pauvre en matière organique (principale source d'éléments minéraux dans les systèmes de culture extensifs), la fertilité chimique du sol soit également faible. Cette situation (faible teneur en MO) expose des sols à la dégradation par l'érosion hydrique lors des fortes précipitations en milieu tropical humide et surtout lorsque les pentes deviennent fortes (Ben Hassine et al., 2008 ; Mulaji, 2011). Le pH très acide affecte fortement la



disponibilité de l'azote dans le sol en réduisant l'activité biologique du sol. De toute évidence, 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, conduisant ainsi à la déficience en azote. Le rapport C/N varie entre 15 et 30, des rapports C/N situés dans cette gamme sont caractéristiques des sols à faible teneur en azote, dus probablement à la faible vitesse de minéralisation de la matière organique ([Ben Hassine et al., 2008](#)), combinée à une perte d'azote par le lessivage intense et continu propre aux régions tropicales caractérisées par des températures élevées et de fortes précipitations ([Kanyankogote et al., 2005](#)). Ces valeurs (C/N = 15-30) indiquent la présence d'une matière organique de mauvaise qualité, c'est-à-dire, difficilement décomposable ou biodégradable ([Mulaji, 2011](#)). La teneur en phosphore assimilable se situe généralement autour de 10 ppm (ou mg/kg de sol). Elle est inférieure à la valeur seuil des sols tropicaux (30 ppm) ([Landon, 1991](#) ; [CIRAD-GRET, 1991](#)) et indique une déficience en phosphore dans le sol de la ferme universitaire (Tableau 4). Dans les sols acides tropicaux, le phosphate se combine au fer et à l'aluminium pour former des composés très peu solubles qui sont non disponibles pour les plantes ([Troeh & Thompson, 2005](#) ; [Kotchi et al., 2010](#)). Ce phénomène pourrait avoir lieu dans le cas du sol de cette étude, compte tenu des valeurs de pH < 5,5 qui favorisent la libération de l'aluminium échangeable (Al^{3+}). La teneur moyenne en bases échangeables (Ca, Mg, K et Na) ne dépasse pas 1 méq/100g de sol (Tableaux 4 et 5). Excepté le Mg dont la teneur est considérée comme moyenne pour les sols tropicaux, celles de Ca et K sont cependant déficientes. La somme de bases échangeables (0,74 à 1,25 méq/100 g de sol) reste inférieure à 2, et est considérée comme très faible pour les sols tropicaux ([Landon, 1991](#) ; [CIRAD-GRET, 1994](#)). Pour les oligo-éléments, ils ne seraient pas des contraintes majeures et leurs teneurs sont inférieures aux valeurs indicatives de toxicité dans les sols agricoles ([Baize, 2002](#)). Les valeurs

de CEC sont faibles et ne dépassent guère 7 méq/100 g de sol (Tableau 5). Ces valeurs sont très faibles par rapport aux valeurs guides des normes d'interprétation des sols tropicaux rapportées par [Landon \(1991\)](#), elles indiquent de faibles réserves d'éléments nutritifs et une capacité de stockage en cations limitée. Conséquemment, la perte d'éléments nutritifs par lessivage serait importante dans le sol sous étude, notamment compte tenu de la pluviométrie de la région de Kasangulu (700 à 1 800 mm/an) ([CAID, 2015](#)). Une CEC inférieure à 10 méq/100 g de sol est le reflet direct d'une fraction argileuse dominée par la kaolinite et les oxydes de fer/aluminium, des minéraux d'altération d'argile 1:1 à faible charge de surface ([Baize, 2000](#)). Elle caractérise des sols fortement altérés et lessivés. La kaolinite est l'argile qui a la plus faible CEC ([Van Ranst, 1991, 1995](#)). Par ailleurs, lorsque le sol est bien pourvu en matière organique, cette dernière améliore sa CEC ([Delstanche, 2012](#) ; [Muliele, 2014](#)). Toutefois, ceci ne serait pas le cas pour cette étude compte tenue de la faible teneur en matière organique du sol. Comme pour la CEC, le taux de saturation en bases échangeables (Tableau 5) est très faible dans tous les points de prélèvements (<20%). Le lessivage intense induit par la pluviométrie de la région de Kasangulu favoriserait la perte des cations basiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), laissant le complexe d'échange saturé par des ions acides ([Mulaji et al., 2016](#)). Bien que les Ferralsols soient la classe des sols dominante dans la zone d'étude, les faibles teneurs en oxydes de fer (1,65-2,87%) et d'aluminium (<1%) suggèrent un sol développé sur un matériau parental sableux ou sablo-argileux (comme les formations des plateaux des Batékés ou du Kalahari). Cela limiterait l'accumulation absolue de sesquioxides. La teneur en aluminium échangeable (Al^{3+}) dépasse le seuil critique de toxicité aluminique aiguë (0,1 à 0,2 méq/100 g de sol) pour la majorité des cultures tropicales ([Kamprath, 1980](#)), ce qui peut affecter négativement les cultures. Les ions (H^{+}) (acidité protonique) domine principalement l'acidité d'échange, ce qui est typique des sols fortement



lessivés mais pauvres en minéraux solubles riches en aluminium (Landon, 1991 ; Boyer, 1982). Bien plus, la variabilité spatiale observée dans les propriétés du sol (Tableaux 1, 4, 5 et Figures 5, 6) suggère une hétérogénéité significative des caractéristiques pédologiques, susceptible d'influencer les processus écologiques et les stratégies de gestion des ressources (eau et sol). Le pH-eau du sol a varié entre 4,6 et 5,2 sur l'ensemble de la zone d'étude (Figure 5), ce qui limiterait la disponibilité des nutriments, affecterait l'activité biologique du sol et le développement des plantes qui exigent un pH moins acide. Des valeurs de pH susmentionnées sont caractéristiques des sols soumis à une pédogenèse ferrallitique intense en milieu tropical humide. Ben Hassine *et al.* (2008) et Kanyankogote *et al.* (2005) ont indiqué qu'à cette gamme des valeurs de pH, cette variabilité spatiale de l'acidité reflète l'influence dominante des facteurs globaux de formation du sol, à savoir : un matériau parental déjà pauvre en bases et un climat chaud et pluvieux favorisant le lessivage plutôt que des variations micro-topographiques ou des pratiques culturales locales. La fertilité du sol est limitée par une faible teneur en matière organique (MO), soit 1,0% à 2,2% selon les points d'échantillonnage (Figure 6). La figure 4 illustre une augmentation de la teneur en bases échangeables avec la matière organique mais aussi l'accroissement de la SBE lorsque le rapport C/N diminue. Des teneurs en matière organique de l'ordre de 1% sont jugées très critiques pour des sols tropicaux argileux ou sablo-argileux. Sous les tropiques, les températures et les précipitations élevées stimulent l'activité microbienne, ce qui entraîne une minéralisation rapide de la matière organique, et donc la perte de la matière organique et la baisse de la fertilité du sol (Mulaji *et al.*, 2016). Ceci étant, l'apport des amendements organiques est donc indispensable pour accroître la fertilité du sol (Zhang *et al.*,

2023 ; Culas *et al.*, 2025) de la ferme universitaire de l'UPN / Kasangulu. En géostatistique appliquée aux sols, l'hétérogénéité spatiale de la teneur en matière organique s'explique généralement par l'historique d'occupation des terres, les modes de gestion de la biomasse (jachères, brûlis) ou des variations locales du couvert végétal (zones arborées versus zones dégradées). La superposition des Figures 5 et 6 met en évidence une rétroaction négative majeure pour la fertilité du sol de la ferme universitaire. Dans les zones où la matière organique chute sous la barre des 1,5%, le pouvoir tampon du sol tend à s'effondrer. Comme le complexe argileux de ces sols (à kaolinite) possède peu de charges, la matière organique est la principale source de capacité d'échange (Delstanche, 2012). Sa faible teneur dans l'ensemble du terrain aggraverait donc l'acidification en laissant les ions (H^+) et (Al^{3+}) saturer les rares sites d'échange disponibles. À l'inverse, les sous-zones atteignant 2,2% de matière organique représenteraient des îlots de résilience où la structure du sol et la rétention des nutriments seraient mieux préservées (Ganzour *et al.*, 2025). Dans l'ensemble, les résultats obtenus dans cette étude confirment que le sol de la ferme universitaire de l'UPN/Kasangulu présente un faible niveau de fertilité naturelle, caractérisé par une acidité élevée, une faible teneur en matière organique, en éléments minéraux et des propriétés physiques typiques des sols tropicaux altérés. D'où la nécessité de la correction de l'acidité du sol, de l'apport de la matière organique et des éléments minéraux essentiels pour la nutrition des plantes. L'application des pratiques agroécologiques (agriculture de conservation, association culturale, agroforesterie, etc.) serait nécessaire pour améliorer dans la durée la productivité du sol de la ferme universitaire de l'UPN/Kasangulu.



5 CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif de contribuer à la caractérisation pédologique de la ferme universitaire de l'UPN à Kasangulu. Les résultats mettent en évidence un sol ferrallitique typique, marqué par une forte acidité, une faible fertilité et une variabilité spatiale importante des propriétés physiques et chimiques. La densité apparente varie entre 1,16 et 1,50 g/cm³, et la porosité totale, de 44 à 56%. La teneur en eau du sol varie entre 3 et 23%, traduisant une forte variabilité de l'humidité du sol selon les points de prélèvement. La texture du sol est argilo-sableuse, limono-sableuse, argilo-limono-sableuse ou argileuse. Les horizons supérieurs (Ap et A1) (0 - 50 cm de profondeur) offrent des conditions favorables au développement racinaire grâce à une densité apparente inférieure au seuil critique (1,55 g/cm³) et une porosité adéquate. En revanche, les horizons A1,2 et B présenteraient une résistance mécanique du sol susceptible de réduire la croissance racinaire. Du point de vue chimique, le sol est caractérisé par une forte acidité (pH eau = 4,5 - 5,4 et pH KCl = 3,7 et 4,9), une faible teneur en carbone organique (0,59 à 1,26%) et en matière organique (1,01 à 2,17%), CEC, en bases échangeables (< 1 méq/100 g de sol) et en oligoéléments, ainsi qu'une teneur très faible en azote total (0,037 à

0,067%). La cartographie spatiale confirme la prédominance d'une acidité forte et d'une pauvreté organique du sol. Les caractéristiques édaphiques susmentionnées confirment les hypothèses de cette étude selon lesquelles : (i) le sol de la ferme universitaire de l'UPN/Kasangulu est acide, pauvre en matière organique (carbone organique), en bases échangeables, en azote et oligo-éléments, et (ii) présente une grande variabilité spatiale des propriétés chimiques, notamment le pH et la matière organique. C'est donc un sol présentant un faible niveau de fertilité naturelle, typique des sols tropicaux fortement altérés et soumis à un lessivage intense des nutriments. La faible teneur en matière organique et en nutriments, combinée à l'acidité élevée du sol, constitue une contrainte majeure pour la production agricole. La mise en culture de ce sol nécessite notamment la correction de l'acidité du sol, l'apport de matière organique et des éléments minéraux ainsi qu'une gestion adaptée de la résistance mécanique du sol afin de favoriser la croissance racinaire. Pour améliorer dans la durée la fertilité du sol et la productivité des systèmes de culture, l'adoption de pratiques agricoles durables (gestion intégrée des nutriments, agroforesterie, agriculture de conservation) est indispensable.

6 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les autorités académiques de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) et les autorités décanales du Domaine des Sciences

Agronomiques et Environnement pour tous les soutiens bénéficiés pendant la réalisation de cette étude.

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akpo MA, Saïdou A, Yabi I, Balogoun I, Bigou, BBL, 2016. Indicateurs paysans d'appréciation de la qualité des sols dans le bassin de l'Okpara au Bénin. *Etude et Gestion des Sols*, 23 : 53-64. <http://researchGateIOS.fr>
- Alifua OM. et Mafuka, P, 2020. Évaluation de l'acidité, matière organique et granulométrie des sols du site maraicher de Kimwenza-Gare à Kinshasa. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 3 (4) : 64-68.
- Alongo S, Visser M, Drouet, T, Kombele F, Colinet G, Bogaert, J, 2013. Effets de la fragmentation des forêts par l'agriculture itinérante sur la dégradation de quelques propriétés physiques d'un Ferralsol échantillonné à Yangambi, RD Congo. *Tropicultura*, 31 (1): 36-43.
- Arrouays D, Kicin JL, Pellissier PH, Vion I, 2003. Estimation du carbone dans le sol. *Etude et gestion des sols*, 10 (4), 347-355.
- Baert G, Embrechts J, De Dapper M, Mapaka M, 1991. *Etude pédologique du Bas-Zaïre*,



- Zaire. *Cartographie des Sols et Evaluation des Terres : Description et données analytiques des profils types du Bas-Zaire*. Université de Gand - AGCD, Belgique.
- Baize D, 2002. Examen critique des valeurs limites « sols » de la réglementation française, in : D. Baize, M. Terce (Eds.), *Les éléments traces métalliques dans les sols : approches fonctionnelles et spatiales*, INERA, Paris, France, 137-154.
- Baize D, 2000. Guide des analyses en pédologie. 2ème édition. INRA, 266 p.
- Baize D, Girard MC, Boulaine J, Cheverry C, Ruelain, A, 2008. Référentiel pédologique, Association française pour l'étude du sol, *Quae*, 453 p.
- Baize D, 2017. Du taux de carbone à celui de matières organiques dans les sols. Les mots de l'agronomie-Histoire et critique sous la direction de P. Morlon, INRAe-CTA.
- Ben Hassine H, Aloui T, Gallali T, Bouzid T, El Amri S, Ben Hassine R, 2008. *Agrosolution* 19 (2008) 2.
- Bhunja G, Pravat Kumar S, Rabindranath C, 2018. Assessment of spatial variability of soil properties using geostatistical approach of lateritic soil (West Bengal, India). *An. of Agrarian Sci.* 16:436-443.
- Biga I, Boubacar MM, Oumani AA, Ali M, 2021. Perceptions et stratégies paysannes de gestion de la fertilité des sols dans la Région de Tillabery de l'ouest du Niger. *International Research Journal (IJAR)*, 9 (4): Advanced 740-751. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/12760>
- Boissezon P, Perraud A, Latham M, Eschenbrenner V, 1970. Proposition de nomenclature et de définition des horizons de sols ferrallitiques. *Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer*. Centre d'Adiopodoumé-Côte d'Ivoire, 15 p.
- Botula YD, 2013. *Indirect methods to predict hydrophysical properties of soils of Lower Congo*. PhD thesis, Ghent University.
- Boyer J, 1982. *Les sols ferrallitiques, Tome X : facteurs de fertilité et utilisation des sols, Initiations et Documentations Techniques*, 52, ORSTOM, Paris, France.
- CAID, 2015. *Rapport annuel de l'administration du territoire : Présentation du territoire de Kasangulu (province du Kongo central)*. Cellule d'Analyses des Indicateurs de Développement (CAID).
- Cécillon L, Gobrecht A, Vaudour E, Barthès B, 2017. La spectroscopie pour caractériser les propriétés chimiques du sol. Séminaire de la chaire AgroTIC Bordeaux, 5 décembre.
- CIRAD-GRET, 1994. *Mémento de l'Agronome*. Ministère de la coopération, 151-159.
- Coulibaly K, Traoré M, Guiro A, Bacyé B, Nacro HB, 2020. Relation entre la fertilité du sol et la productivité de l'eau de pluie sur le maïs (Burkina Faso). In *Risques Climatiques et Agriculture en Afrique de l'Ouest*, Sultan B, Bossa AY, Salack S, Sanon M (eds). IRD Éditions, Collection Synthèses : Marseille ; 75-84.
- Culas RJ, Anwar MR, Maraseni TN, 2025. A framework for evaluating benefits of organic fertilizer use in agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*. 19:101576. doi: 10.1016/j.jafr.2024.101576
- Daddow RL and Warrington GE, 1983. Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture. *Watershed Systems Development Group (WSDG)*, USDA Forest Service, WSDG-TN-00005, Colorado, USA, p 17.
- Delstanche S, 2011. *Drivers of soil fertility in smallholder banana systems in the African Great Lakes Region*. PhD-dissertation, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium, p 458.
- Diwediga B, Hounkpe K, Wala K, Batawila K, Taton, T, Akpagana K, 2012. Agriculture de contre saison sur les berges de l'oti et ses affluents. *African Crop Science Journal*. 20, 613-624.



- FAO, 2015. Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014 : système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. Mise à jour 2015. Rapport sur les ressources en sols du monde N° 106. FAO, Rome, 216 p.
- FAO, 2025. *État des terres, des sols et de l'eau*. Rapport d'études.
- FAO, 2006. *Guidelines for soil description* (Fourth). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fardeau JC, 2015. *Des indicateurs de la fertilité des sols. Etudes et gestion des sols*, 22 : 77-100.
- Ganzour SK, Ghabour TK, Elnashar A, 2025. Integrating geospatial analysis and the suitability-resources quality index to optimize crop suitability for sustainable agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 9:1703891. doi: 10.3389/fsufs.2025.1703891
- Gao Xue-song XY, Deng LJ, Li QQ, Wang CQ, Li, Deng OP, Zeng M, 2019. Spatial variability of soil total nitrogen, phosphorus and potassium in Renshou County of Sichuan Basin, China. *Journal of Integrative Agriculture*. 182:279-289.
- Jacques F, 2021. *Evaluation de la fertilité de différents types de buttes de style permacole*. Master Bio-ingénieur en Sciences Agronomiques, UFR Agro-Bio Tech (GxABT), Université de Liège-Gremloux (Liège, Bruxelles), 62 p.
- Jeya R, Vasanthakumar R, Dineshkumar S, 2020. Knowledge level of sugarcane growers on precision farming practices. *Recent Trends in Agriculture towards Food Security and Rural Livelihood*, 1:36.
- Kaho F, Yemefack M, Feujio-Teguefouet, P. & Tchantchaouang, J.C, 2011. Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferralitique au Centre Cameroun. *Tropicultura*, 29, 39-45.
- Kamprath, E, 1980. Soil acidity in well drained soils of the soils of the tropics as a constraint to food production. In : Kamprath E, editor. *Priorities for alleviating soil-related constraints in the tropics*. International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 1971-1989.
- Kanyankogote, P, Van Ranst E, Verdoody A, Baert G, 2005. *Etude de la gestion des sols*. 12 p.
- Korzeniowska J, Stanislawska-Glubiak E, Brosig J, 2025. The Effect of pH on Fertilizer Phosphorus Use Efficiency in Sandy Soil. *Agriculture*, 15 (15): 1599 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture15151599>
- Kotchi V, Yao KA, Sitapha D, 2010. Sols. *Journal of Applied Biosciences*, 31.
- Koy R, 2009. *Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batékés (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux*, Thèse de doctorat, faculté des sciences, Université de Gent, Belgique, 323 p.
- Landon JR, 1991. *Booker Tropical Soil Manual, A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*, Paperback, Longman, Booker Tate limited, Oxon, Royaume-Uni, 474 p.
- Legros JP, 2007. *Les grands sols du monde*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Espagne, 566 p.
- Malkawi, AIH, Alawneh AS, Abu-Safaqah OT, 1999. Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil », *Applied Clay Science*, 4 (5-6), 257-278.
- Massenet JY, 2006. Chapitre VI : Typologie des sols : Le référentiel pédologique français. Version août, Lycée Forestier Mesnières, 109 p.
- Mbonigaba MJJ, Nzeyimana I, Bucahgu C, Culot M, 2009. Caractérisation physique, chimique et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachères naturelles et contraintes à leur productivité. *Biotechnologie Agronomie, Société et Environnement*, 13, 545-558.



- McLean EO, 1965. Aluminum. In: Black C.A. (ed) Methods of soil analysis: Part 2 Chemical methods. *Madison: ASA*, 978-998.
- Mehra OP and Jackson ML, 1960. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium carbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7: 317-327.
- Milleville P et Serpantié G, 1994. *Dynamiques agraires et problématique de l'intensification de l'agriculture en Afrique soudano-sabélienne*. Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France 80, 149-161.
- MINAGRI, 2022. Rapport du Ministère de l'Agriculture (RDC) : Politique de l'agriculture durable de la République Démocratique Du Congo. 24 p.
- Mulaji C, 2011. *Utilisation des composts de biodechets menagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)*. Thèse de Doctorat, Université de Liège-Gembloux Agro-bio-tech, 220 p.
- Mulaji C, Disa-Disa P, Kibal K, Culot M, 2016. Diagnostic de l'état agropédologique des sols acides de la province de Kinshasa en République Démocratique du Congo (RDC). *Comptes Rendus Chimie* 19, 820-826.
- Muliele MT, 2014. *Influence du travail et de la couverture sur les propriétés physiques du sol et le système racinaire du bananier de hautes altitudes de la région des Grands Lacs d'Afrique (Sud-Kivu en RD Congo, Rwanda et Burundi)*, 342 p.
- Nsombo BM, Lumbuenamo RS, Lejoly J, Aloni, J.K. and Mafuka, PMM, 2016. Caractéristique des sols sous savane et sous forêt naturelle sur le plateau des Batéké en République Démocratique du Congo. *Tropicultura*, 34 : 87-97.
- Nsombo MB, 2016. *Evolution des nutriments et du carbone organique du sol dans le système agroforestier du plateau des Batékés en République Démocratique du Congo*. Thèse de Doctorat. ERAIFT.
- O'Connell DJ, 1975. The measurement of apparent specific gravity of soils and its relationship to mechanical composition and plant root growth. In *Soil Physical Conditions and Crop Production. Ministry of Agriculture, Fisheries, and Food. Technical Bulletin 29*, London, pp 298-313.
- Okalebo JR, Gatua K, Woomer PL, 2002. Laboratory methods of soil and plant analysis: a working manual. Second edition, SACRED Africa, Nairobi, Kenya, 128 p.
- Oliver MA, 1990. Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems*, 4: 313-332.
- Pansu M et Gautheryrou J, 2003. L'analyse du sol, minéralogie, organique et minérale, *IRD Springer Verlag*, France, 93 p.
- R Development Core Team, 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Reynolds WD, Drury CF, Yang XM, Tan CS, 2008. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. *Geoderma*, 146 : 466-474.
- Saïdou A, Kossou D, Azontondé A, Hougni DGJM. 2009. Effet de la nature de la jachère sur la colonisation de la culture Subséquente par les champignons endomycorhyziens : cas du système « jachère » manioc sur sols ferrugineux tropicaux du Bénin. *International Journal of Biology and Chemical Sciences*, 3 (3): 587-597. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v3i3.45330>
- Schvartz C, Muller JC, Decroux J, 2005. Guide de la fertilisation raisonnée : Grandes cultures et prairies. France Agricole, Paris (France), 46 p.
- Shepherd KD, Palm CA, Gachengo CN, Vanlauwe B, 2003. Rapid characterization of organic resource



- quality for soil and livestock management in tropical agroecosystems using near infrared spectroscopy. *Agronomy Journal*, 95, 1314-1322.
- Soane BD, 1990. The Role of Organic-Matter in Soil Compactibility - a Review of Some Practical Aspects. *Soil and Tillage Research* 16: 179-201.
- Munsell Soil Color Charts, 2009. Soils-color Chartz. 2009 Revision, 8 p.
- Sys C, 1972. Caractérisation morphologique et physico-chimique des profils types de l'Afrique centrale. Publication INEAC, Hors-Série. INEAC, Bruxelles.
- Troeh FR and Thompson, LM, 2005. Soils and soil fertility, 6th ed., *Blackwell publishing*, Oxford, Royaume-Uni, 2005, 489 p.
- Van Ranst E, 1991. *Soils of the tropics and the subtropics: geography, classification, properties and management*. Lecture notes. Ghent University, Belgium.
- Van Ranst E, 1995. Rational soil management in the humid tropics. *Mededelingen Der Zittingen Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen* 40, 209-233.
- Van Ranst E, Verloo M, Demeyer A, Pauwels JM, 1999. Manual for soil chemistry and fertility laboratory. Analytical methods for soils and plants, equipments, and management of consumables, NUGI 835, Belgium, 243 p.
- Vaquero R, 2005. Soil physical properties and banana root growth. In: Turner D.W. and Rosales F.E. (eds) *Banana Root System: towards a better understanding for its productive management*, *Proceeding of an international symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003*, 125-131.
- Zhang S, Zhu Q, De Vries W, Ros GH, Chen X, Muneer MA, 2023. Effects of soil amendments on soil acidity and crop yields in acidic soils: a world-wide meta-analysis. *Journal of Environment Management* 345:118531. doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118531