

## **Indicateurs Agropédologiques Relatifs Au PH Des Séries Principales Des Sols De Yangambi, RD Congo**

***Likoko, B. A.,***

***Limbeya, B.,***

Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques,  
section de pédologie INERA Yangambi Kisangani, RD Congo

***Lokonda M.O.,***

***Alongo, L. S.,***

Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi, département de  
Eau et Sol, laboratoire d'Agroécologie, Pédolandscape et Système Agraire,  
Kisangani, RD Congo

***Kombele, B. F.,***

Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi, département de  
Eau et Sol, laboratoire de chimie, fertilité et cartographie des sols,  
Kisangani, RD Congo

Doi:10.19044/esj.2020.v16n9p55

[URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n9p55](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n9p55)

---

### **Resumé**

La détermination des contraintes agricoles prioritaires de quatre séries principales de sols de Yangambi a été étudiée dans le cadre de la conservation des terres agricoles afin de lutter contre la déforestation par l'itinérance agricole. Les combinaisons des éléments physicochimiques du sol analysés ont caractérisé des indicateurs agro-pédologiques ayant influencé le pH du sol. La combinaison du coefficient de variation (CV%) avec le coefficient de détermination ( $R^2$ ) de corrélation partielle des indicateurs, a hiérarchisé les contraintes. Les résultats montrent que pour tous les sols, un seul indicateur argile/limon a été relativement significatif  $R^2=69,22\%$  au pHeau 4,78 de la série AT de sols sablonneux de vallée. Cette série est contrainte par la dominance des limons et sables, le drainage très excessif, l'acidité aluminique des oxydes et la pauvreté kaolinitique. La série Y<sub>1</sub> de sols des plateaux à pHeau 4,73, est limitée par l'acidité kaolinitique, le drainage interne, le lessivage en bases, l'illuviation d'argile et la toxicité aluminique. En série Y<sub>2</sub> de sols de pente 8% à pH 4,78, le colluvionnement latéral, la pauvreté minérale et l'illuviation d'argile ont été contraignants. Les sols de la série Y<sub>3</sub> de pente 15% à pH 5,12 sont contraints par l'illuviation d'argile, le drainage excessif, le colluvionnement latérale, la pauvreté potassique, l'acidité du lessivage des bases et de l'hydrolyse des

sesquioxydes ferro-aluminiques. Les sols ferrallitiques nativement acides de Yangambi sont pauvres en éléments fertilisants.

---

**Mots clés :** Indicateurs Agro-Pédologiques, Acidité-Ph, Influence Relative, Contraintes Agricoles Et Yangambi

---

## **Agropedological Indexes Relative to the PH of Principal Soil Series of Yangambi, DR Congo**

***Likoko, B. A.,***

***Limbeya, B.,***

Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques,  
section de pédologie INERA Yangambi Kisangani, RD Congo

***Lokonda M.O.,***

***Alongo, L. S.,***

Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi, département de  
Eau et Sol, laboratoire d'Agroécologie, Pédolandscape et Système Agraire,  
Kisangani, RD Congo

***Kombebe, B. F.,***

Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi, département de  
Eau et Sol, laboratoire de chimie, fertilité et cartographie des sols,  
Kisangani, RD Congo

---

### **Abstract**

The present work aims to determine prioritised agricultural constraints of four principal soil series of Yangambi in the scope of arable soil conservation to control deforestation due to shifting cultivation. The combinations of soil physicochemical elements have characterised agropedological indices having influenced soil pH. The combination of coefficient of variation (CV%) with coefficient of determination (R<sup>2</sup>) of partial correlation of indices, has prioritised the constraints. Results show that for all soil series, only (clay/loam) indicator has been relatively significant R<sup>2</sup>=69.22% to pH<sub>water</sub> 4.78 for valley sandy soil series AT decreasingly constrained by extrem dominance of loams and sands, very excessive drainage, aluminum acidity of oxides et kaolinitic poverty. For Y1 series of plateau soils at pH<sub>water</sub> 4.78, native kaolinitic acidity, internal drainage, bases leaching, clay illuviation and aluminum toxicité have been

constraining. For Y2 soil series of 8% slope with pHwater 4.78, lateral colluviation, mineral poverty and clay illuviation have been revealed. Y3 series soils at 15% slope and pHwater 5.12, are constrained by clay illuviation, excessive drainage, lateral colluviation, potassium poverty, acidity from bases leaching and iron and aluminum sesquioxides hydrolyses. Native ferralitic acid soils of Yangambi are poor in fertilizing elements.

---

**Keywords:** Agro-Pedological Indicators, Ph-Acidity, Relative Influence, Constraints And Yangambi

## 1. Introduction

La sécurité durable des sols tropicaux subsahariens est confrontée à la dégradation végétale, l'érosion physique, la faible présence des minéraux altérables, la faible fertilité chimique et physique des terres arables, la faible capacité de stockage de l'eau et la faible capacité de rétention des cations (Van Wambeke, 1995 ; Alongo *et al* ; 2013 ; Jones *et al.*, 2013 ; Osunde, 2019). Les conséquences de la dégradation du sol sont la baisse de production agricole et du revenu ménager et la persistance de l'insécurité alimentaire (Saidou et Ichaou, 2016).

Les sols ferrallitiques de la catena de Yangambi sont localisés au plateau par des ferralsols, sur les pentes par des ferrisols et aux vallées par des arenoferralsols selon la classification de l'INEAC (Sys *et al.*, 1961). Ils sont respectivement à vocation agricole, forestière et pastorale. Leurs produits finaux d'altération sont la kaolinite, la gibbsite et la goéthite. Ils sont acides et très lessivés en bases échangeables (Sys et Frankart, 1971 ; Van Wambeke, 1995 ; Jones *et al.*, 2013).

Certains indices tels que l'indice agronomique, l'indice de potentialité, l'indice de productivité et l'indice de stabilité avaient été déterminés selon les systèmes de notation des paramètres pédologiques pour la mise en valeur des terres agricoles à Yangambi (Sys et Frankart, 1971 ; Sys, 1985). Bien que ces indices soient définis et les cations acidifiants et les bases échangeables soient identifiés, l'influence relative des indicateurs agro-physico-chimiques sur le pH des sols de Yangambi n'a pas encore été révélée en faveur d'une hiérarchisation des contraintes agricoles prioritaires pouvant faciliter la correction de l'acidité par des amendements spécifiques des terres agricoles sur les quatre séries de sols de Yangambi.

Ainsi, le taux de saturation en bases, le rapport  $(Ca^{+2}+Mg^{+2})/K$  et le pH en eau ayant déterminé l'activité biologique, la qualité de la structure et la réserve en éléments fertilisants des sols, ont été considérés comme des indicateurs précieux pour la fertilité potentielle des sols (Kombele, 2004 ; Fox *et al.*, 2012 ; Jones *et al.*, 2013). Outre le complexe adsorbant caractérisé par la nature de la matière organique ; le taux d'argile et des oxydes de fer et

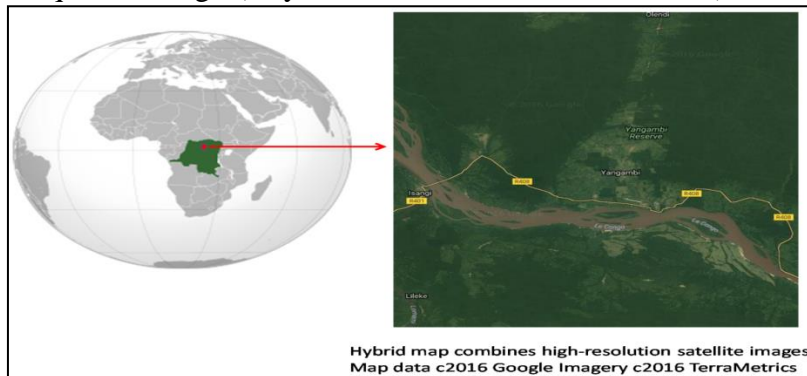
d'aluminium libres, la capacité d'échange cationique, le taux d'acidité d'échange et le pH au KCl sont aussi bien des indicateurs précieux et essentiels pour la qualité nutritionnelle, énergétique et tampon des sols acides (Fripiat et Gastuche, 1955 ; Ngongo *et al.*, 2009 ; Fox *et al.*, 2012 ; Jones *et al.*, 2013).

De surcroît, vu que la combinaison des systèmes de jachérisation avec les propriétés physicochimiques d'une série améliorent le pH des sols agricoles de Yangambi (Kombele, 2004; Alongo *et al.*, 2013); les combinaisons des éléments physicochimiques du sol à analyser caractériseront des indicateurs agro-pédologiques influençant le pH du sol. La présente étude axée dans le contexte de l'amélioration des terres agricoles, a pour objectif d'hierarchiser les contraintes agricoles prioritaires obtenues par la combinaison du coefficient de variation avec le coefficient de détermination de corrélation partielle des indicateurs agro-pédologiques afin de sécuriser durablement la terre arable contre la déforestation par l'itinérance agricole.

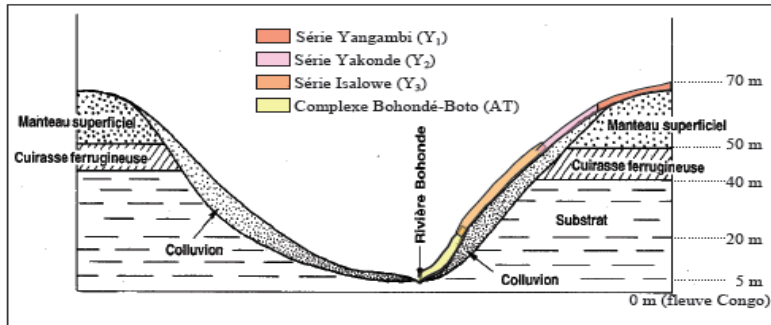
## 2. Localisation De Site Et Methodes De Travail

### 2.1. Localisation De La Région De Yangambi.

La région écologique de Yangambi couvre 440000 hectares avec plus de 76000 habitants. Elle est située à 0°49'-0°54'N, 24°29'-24°49'E et 475-485 mètres d'altitude sur des sols ferrallitiques de la catena structurale de Yangambi (Figures 1 et 2), dominée par la forêt dense humide sempervirente semi-caducifoliée à *Scorodophleus zenkeri* et *Pericopsis elata* et ombrophile à *Brachystesia laurentii* dans la cuvette centrale africaine de la République Démocratique du Congo (Boyemba, 2011 ; Likoko *et al.*, 2018).



**Figure 1.**La réserve de la forêt dense humide sempervirente de Yangambi au Nord de la RDC en Afrique centrale (Source : Google map, 2016).



**Figure 2.** La coupe transversale de l'unité caténique de trois séries de sols (Yangambi-Y<sub>1</sub>, Yakwondi-Y<sub>2</sub> et Isalowe-Y<sub>3</sub>) et du complexe des sols de vallées alluvio-colluvionnaires detributaires (AT) (source : Kombele, 2004).

Les conditions climatiques montrent que le régime mensuel bimodal a persisté avec le climat chaud et humide face au réchauffement global. Il est actuellement caractérisé par la double périodicité des pluies de deux maxima aux équinoxes de mai et octobre, et deux minima aux solstices de juin et de janvier. Il pleut chaque année et toute l'année en la moyenne annuelle pluviométrique de  $1811,7 \pm 214,8$  mm sur  $172,24 \pm 21,90$  jours des pluies avec  $87,17 \pm 6,97$  % d'humidité relative de l'air,  $1132,16 \pm 54,43$  mm d'évapotranspiration potentielle,  $2040 \pm 98,17$  heures d'insolation et  $24,98 \pm 0,30$  °C de température moyenne (Likoko *et al.*, 2019 a et b).

## 2.2. Méthodes

Soixante six échantillons des sols ont été prélevés sur des horizons des profils représentatifs creusés à 120 cm de profondeur dans chacune de quatre séries principales des sols (fig. 2). La catena comprend la série Yangambi Y<sub>1</sub> de sols argilo-sableux de plateau, la série Yakondi Y<sub>2</sub> de sols sablo-argileux de pente inférieure à 7%, la série Isalowe Y<sub>3</sub> de sols sablo-argileux de pente inférieure à 15% et le complexe AT de sols sablonneux des alluvions des tributaires (Kombele, 2004).

Les échantillons ont été séchés à l'air libre et broyés, puis tamisés au tamis de 2 mm de diamètre à Yangambi aux laboratoires de l'INERA et de l'IFA. Par la suite ils ont été analysés aux laboratoires de l'INERA, de l'IFA et de géophysique de l'université de Gembloux.

Les échantillons ont été soumis à la digestion humide par le mélange de HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub> pour analyser les bases échangeables (méq/100 g de sol). La solution filtrée au moyen de papier filtre a été recueillie pour doser le potassium, le sodium, le calcium et le magnésium au spectrophotomètre d'absorption atomique. Le phosphore assimilable (ppm) était dosé par la méthode de Vana-Molybdate (bleu de moly) à l'aide d'un colorimètre. Le pH du sol à l'eau et au chlorure de potassium était mesuré à l'aide du pH-mètre du

type Electronic model 6054 N°16/2464 d'une électrode de verre combinée trempant dans une suspension de sol au rapport Volume/Volume de 2,5. Les cations acidifiants (méq/100 g de sol) ont été dosés par titration à l'hydroxyde de sodium. Le fer et l'aluminium libres (%) étaient mesurés par la méthode à l'acétate d'ammonium. Pour calculer la matière organique, le carbone organique a été dosé par la méthode de John and white Black. La granulométrie en trois fractions (%) était balancée par la méthode de l'hydromètre (CIRAD, 2009 ; Alongo *et al.*, 2013).

Les indicateurs agro-pédologiques ont été définis par les combinaisons des éléments physiques et chimiques de sols analysés, comme ci après (Sys, 1985 ; Kombele, 2004 ; Fox *et al.*, 2012) :

1. L'indice de colluvionnement (IC)

$$IC = \frac{\text{SableFin} (\%)}{\text{Sablegrossier} (\%)} \quad (1)$$

2. l'indice de différenciation texturale par horizon du profil du sol (IDTh)

$$IDTh = \frac{\text{Argile}(\%) \text{ del'horizon considéré}}{\text{IArgile}(\%) \text{ del'horizon le plus pauvre}} \quad (2)$$

3. Degré d'altération :

$$a) \quad \frac{A}{L} = \frac{\text{Argile} (\%)}{\text{Limon} (\%)} \quad (3)$$

$$b) \quad A/S = \frac{\text{Argile} (\%)}{\text{Sable} (\%)} \quad (4)$$

$$c) \quad Fe/Al = \frac{\text{Fe2O3 libre} (\%)}{\text{Al2O3 libre} (\%)} \quad (5)$$

4. Le taux de capacité d'échange cationique argilique (TCECa)

$$TCECa = \frac{CECE - \frac{MO(\%) \times 2}{\text{Argile} \%}}{CECE} \times 100 \quad (6)$$

CECE étant la capacité d'échange cationique effective égale à Sa (somme de cations acides : H<sup>+</sup>, Al<sup>+++</sup>, Fe<sup>+++</sup>) + Sb {somme des cations basiques : ([Ca<sup>2+</sup>] + [Mg<sup>2+</sup>] + [K<sup>+</sup>] + [Na<sup>+</sup>])} et MO est la matière organique.

5. Le taux d'acidité d'échange (TAE, %)

$$TAE = \frac{Sa}{CECE} \times 100 \quad (7)$$

6. Le taux de saturation en base (TSB, %)

$$TSB = \frac{Sb}{CECE} \times 100 \quad (8)$$

7. Le potentiel de fertilité est le rapport de la somme du calcium ( $Ca^{++}$ ) et magnésium

( $Mg^{++}$ ) sur le potassium ( $K^+$ )

$$\frac{(Ca + Mg)}{K} \quad (9)$$

8. Le pH est une mesure de la concentration en ions  $H^+$  dans le sol d'échantillon saturé :

$$pH = -\log [H^+] = \log \frac{1}{[H^+]} \quad (10)$$

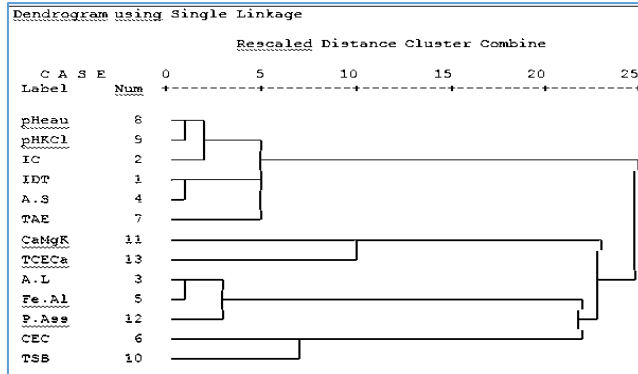
9. L'influence relative des indicateurs physiques et chimiques des sols de Yangambi a été estimée sur le pH eau et pH KCl par les coefficients de corrélation simple (r) de Pearson hiérarchisés d'après le model de proximité de nearest neighbor avec le logiciel R 3.1 et SPSS 14.0. Le coefficient de détermination ( $R^2$ , %) de corrélations partielles des indicateurs par série des sols sur le pH a été combiné avec le coefficient de variation (CV%) pour déterminer les contraintes agricoles prioritaires homogènes influentes ( $CV < 30 \% + R^2 \geq 70 \%$ ) et hétérogènes influentes ( $CV > 30 \% + R^2 \geq 70 \%$ ) et d'influence moyenne ( $R^2 \geq 40 \leq 69 \%$ ).

### 3. Resultats

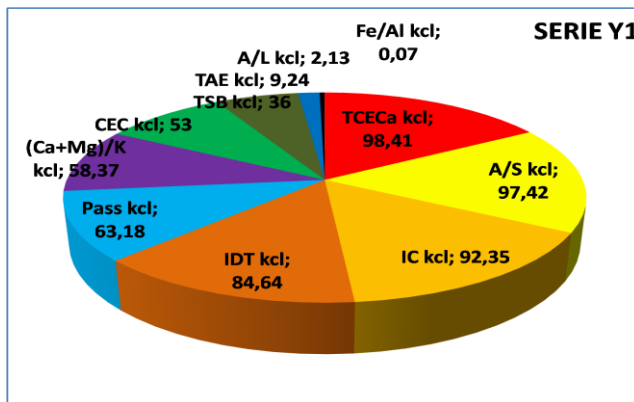
#### 3.1. Sols De La Serie Yangambi ( $Y_1$ )

##### 3.1.1. Influences Relatives des Indicateurs Agro-pédologiques

Les coefficients de corrélation simple des indicateurs agro-pédologiques des sols de la série  $Y_1$  sont montrés à la **Figure 3**. L'agglomération de pH eau et pH KCl présente le  $r = -0,994$  à proximité de pHeau et IC avec  $r = -0,958$ , de IDT et A/S, IDT et TAE, et IDT et IC respectivement avec  $r = -0,982$ ,  $-0,899$  et  $-0,897$ .



**Figure 3 :** Dendrogramme d’hiérarchisation de cluster par corrélation de Pearson des indicateurs agro-pédologiques de sols de la série Y<sub>1</sub> de Yangambi



**Figure 4.** Coefficients de détermination ( $R^2$ , %) de corrélation partielle des indicateurs agro-pédologiques prioritaires sur le pH eau contrôlés par le pH KCl des sols de la série Y<sub>1</sub> de Yangambi.

D’autre part, les coefficients de détermination de corrélation partielle des indicateurs agro-pédologiques considérant le pH KCl des sols de la série Y<sub>1</sub> de Yangambi montrés à la *figure 4* se présentent en ordre décroissant avec le sens (signe + ou –) de la pente de la relation. Aucun indicateur n’a été significatif au point de probabilité 05 (n.s).

Pour les indicateurs contrôlés par le pH KCl:

$$\text{pH KCl (pH eau constant)} = f \{ +\text{TCECa} > -\text{A/S} > +\text{IC} > -\text{IDT} > +\text{P.ass} > +(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K} > -\text{CEC} > +\text{TSB} > -\text{TAE} > +\text{A/L} > -\text{Fe/Al} \}^{ns}$$

Pour les indicateurs contrôlés par le pH eau :

$$\text{pH eau (pH KCl constant)} = f \{ -\text{TCECa} > +\text{A/S} > +\text{IDT} > -\text{IC} > -\text{P.ass} > -(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K} > +\text{CEC} > +\text{TAE} > -\text{A/L} > -\text{TSB} > -\text{Fe/Al} \}^{ns}$$

L’influence des indices agro-pédologiques sur le pH eau (acidité de la solution de sol) est opposée à celle de ceux sur le pH KCl (acidité d’échange



du complexe adsorbant) à l'exception du rapport négatif et le moins influent de  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Les indices d'influence partielle élevée mais non significatifs sur l'acidité d'échange de sols de la série  $Y_1$  seraient le taux de capacité d'échange cationique argilique (TCECa) avec 98,41%, le degré d'altération (A/S) 97,42 %, l'indice de colluvionnement de sables fins (IC) 92,35%, l'indice de différenciation texturale (IDT) 84,64 %, le phosphore assimilable (P.ass) 63,18%, l'indice de fertilité (Ca+Mg)/K 58,37 % et la CECE 53 %. Seul IC a manifesté la corrélation simple de  $r = 0,938$  hautement significatif sur le pH KCl, confirmant la proximité à la *figure 3*.

### 3.1.2. Contraintes Agricoles De La Serie $Y_1$

La série Yangambi ( $Y_1$ ) des sols de Yangambi est identifiée par l'état d'homogénéité des indices agro-pédologiques résultant de l'évolution du profil de sols en présentant des faibles coefficients de variation ( $CV < 30\%$ ) montrés au tableau 1 en annexe. Le TAE, le TCECa, le pH eau, le pH KCl, la CECE, l'IC et le phosphore assimilable ont présenté respectivement 1,87 %, 5 %, 8,17 %, 9,62%, 10,33 %, 19,14 %, et 27,62 %. Par contre, les éléments considérés comme instables et dynamiques ont montré des grandes variations par des CV très élevés ( $>30\%$ ) notamment pour A/S avec 88,08 %, rapport  $\frac{\text{Ca}+\text{Mg}}{\text{K}}$  58,06 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  50,75 %, A/L 47,7 % et IDT 48,34 %.

Le  $R^2$  plus le CV% ont déterminé les indicateurs (avec leurs valeurs) aux contraintes facilement contrôlables d'influence relativement élevée: TCECa 89,65% et IC 0,94, et d'influence moyenne : CECE 3,75 meq/100g et phosphore assimilable 6,42 ppm. Les contraintes difficilement contrôlables d'influence élevée ont été: A/S 0,5 et IDT 1,83 et d'influence moyenne (Ca+Mg)/K 3,06

La hiérarchisation analytique des contraintes prioritaires des sols  $Y_1$  s'est établie comme suit:

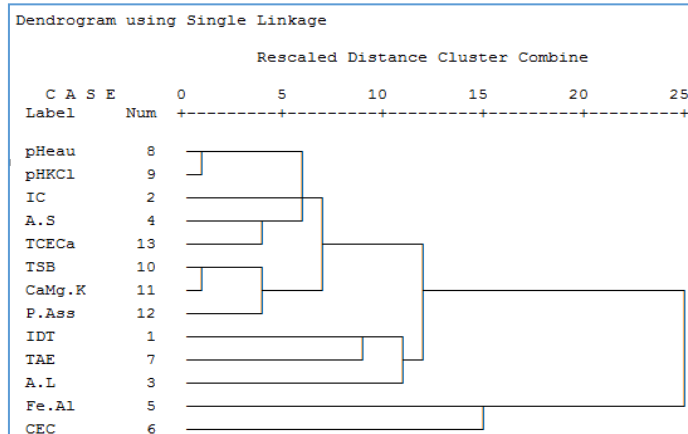
1. Le pH eau 4,73 et pH KCl 3,70
2. L'acidité native kaolinique, de l'hydrolyse des hydroxydes de fer dominants en couche A et d'aluminium dominants en couche B,
3. Le drainage interne,
4. Le lessivage en bases,
5. L'illuviation d'argile,
6. La toxicité aluminique.

## 3.2. Sols De La Serie Yakondi ( $Y_2$ )

### 3.2.1. Influences Relatives Des Indicateurs Agro-Pédologiques

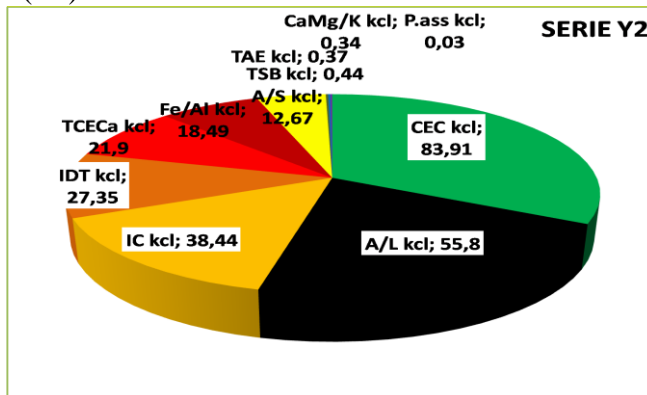
Les coefficients de corrélation simple des indicateurs agro-pédologiques des sols de la série  $Y_2$  sont montrés à la *figure 5*.

L'agglomération de proximité de pH eau et pH KCl a présenté le  $r = -0,977$  et pH eau et IC avec  $r = -0,835$  ; IC et A/S, IC et IDT, A/S et TCECa, TSB et  $(Ca+Mg)/K$ , et TSB et P.assimilable respectivement avec  $r = -0,832, -0,694, -0,881, -0,965$  et  $-0,884$ .



**Figure 5.** Dendrogramme d'hierarchisation de cluster par corrélation de Pearson des indicateurs agro-pédologiques de sols de la série Y<sub>2</sub> de Yangambi

D'autre part, la *figure 6* présente les coefficients de détermination de corrélation partielle des indicateurs agro-pédologiques sur le pH des sols de la série Y<sub>2</sub> de Yangambi, en ordre décroissant avec le sens (signe + ou -) de la pente de la relation. Aucun indicateur n'a été significatif au point de probabilité 05 (n.s).



**Figure 6.** Coefficients de détermination ( $R^2$ , %) Prioritaires de corrélation partielle des indicateurs agro-pédologiques sur le pH eau constant contrôlés par le pH KCl des sols de série Y<sub>2</sub> de Yangambi.

Pour les indicateurs contrôlés par le pH KCl:

$$\text{pH kcl (pH eau constant)} = f\{-\text{CECE} > +\text{A/L} > +\text{IC} > +\text{IDT} > -\text{TCECa} > +\text{Fe/Al} > -\text{A/S} > +\text{TSB} > -\text{TAE} > +(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K} > +\text{P.ass}\}^{ns}$$

Pour les indicateurs contrôlés par le pHeau :

$$\text{pH eau (pH KCl constant)} = f\{+CECE>-A/L>-Fe/Al>-TCECa>-IDT>+A/S >-IC>+P.ass>-TSB>- (Ca+Mg)/K> +TAE\}^{ns}$$

Le sens des indicateurs ayant influencé le pH eau est opposé à celui de ceux ayant influencé le pH KCl à l'exception de  $-TCECa$  et  $+P.ass$ . Les indicateurs d'influence partielle élevée non significative sur l'acidité d'échange ont été la CECE avec  $R^2=83,91\%$ , le degré d'altération A/L avec  $R^2=55,8\%$ , le colluvionnement de sables fins avec  $R^2=38,44\%$  et l'illuviation d'argile avec  $R^2=27,35\%$ . Seule la corrélation simple a été significative sur le Fe/Al avec  $r=-0,873$ , le CECE avec  $r=-0,868$  et l'IC avec  $r=0,835$  par rapport au pH KCl.

## CONTRAINTES AGRICOLES DE LA SERIE Y<sub>2</sub>

En série Yakondi (Y<sub>2</sub>), le tableau 1 en annexe montre que les indices agro-pédologiques stables à CV (<30 %) ont été le pH eau avec 10,50 %, le pH KCl 9,19 %, le TAE 10,81 %, l'IC 19,27 % et le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 21,85 %. Par contre, les éléments instables ont présenté des grands CV (>30 %) à travers le profil du sol comme (Ca+Mg)/K avec 137,89 %, A/L 74,09 %, CECE 42,15 %, A/S 40,75 %, P.ass 35,62 % et IDT 33,69 %.

Les indicateurs (avec leurs valeurs) difficilement contrôlables d'influence relativement élevée: CECE 3,3 meq/100gr et d'influence moyenne A/L 4,44 et Fe/Al 2,19 ont produit des contraintes décroissantes ci-après:

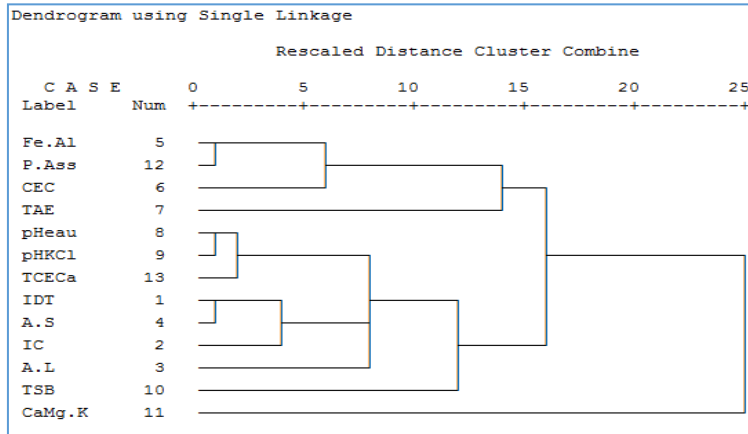
- 1- Le pH eau 4,78 et pH 3,74
- 2- La CECE acidifiant de 2,4 à 5,7 méq/100 g à 72-97 % d'acidité d'échange, horizons A2 (5-10 cm) et B1 (20-40 cm) très altérés de tous les sols avec accumulation d'argile et dominance de sables. Dans ces sols, les sesquioxydes de fer et d'aluminium, source de protonisation, dominant le complexe adsorbant pauvre en kaolinite et en minéraux basiques (Ca+Mg)/K élevé à l'horizon A3 (10-20 cm) de 14,25 correspondant au taux de saturation en bases de 28,3 %),
- 3- En relation simple avec pH eau, le colluvionnement latéral (érosion) sur la pente inférieure à 8% et le drainage.

### 3.3. Sols De La Serie Isalowe (Y<sub>3</sub>)

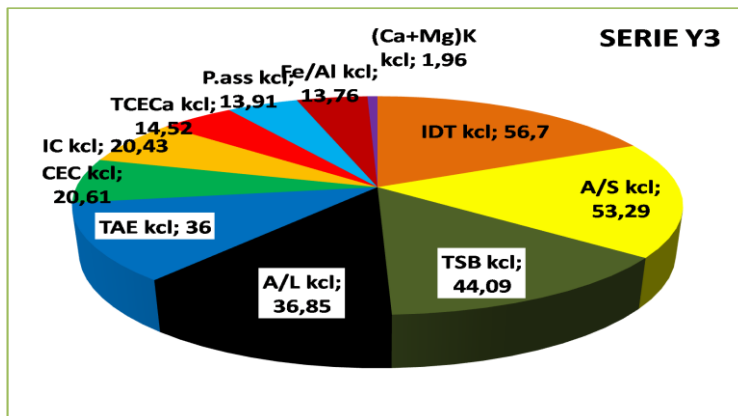
#### 3.3.1. Influences Relatives Des Indicateurs Agro-Pédologiques

Les coefficients de corrélation simple des indicateurs agro-pédologiques des sols de la série Y<sub>3</sub> sont montrés à la figure 7. L'agglomération de proximité entre pH eau et pH KCl a présenté le  $r=-$

0,989, pH eau et TCECa avec  $r = -0,950$  et pH eau et IDT de  $-0,708$  avec IDT et A/S, IDT et IC, IDT et A/L respectivement avec  $r = -0,995, -0,863$  et  $-0,721$ . La relation entre le Fe/Al et le P.ass a signifié une droite exceptionnelle de  $r = 1,00$ .



**Figure 7.** Dendrogramme d'hierarchisation de cluster par corrélation de Pearson des indicateurs agro-pédologiques de sols de la série Y<sub>3</sub> de Yangambi



**Figure 8.** Coefficients de détermination ( $R^2$ , %) de corrélation partielle des indicateurs agro-pédologiques sur le pH eau constant contrôlés par le pH KCl de la série Y<sub>3</sub> des sols de Yangambi.

Les coefficients de détermination de corrélation partielle d'indices agro-pédologiques sur le pH des sols de la série Y<sub>3</sub> montrés à la *figure 8* se présentent en ordre décroissant avec le sens (signe + ou -) de la pente de la relation. Aucun indicateur n'a été significatif au point de probabilité 05 (n.s).

Pour les indicateurs contrôlés par le pH KCl :

$$\text{pH kcl (pH eau constant)} = f\{ +\text{IDT} > +\text{A/S} > -\text{TSB} > +\text{A/L} > +\text{TAE} > -\text{CEC} > +\text{IC} > -\text{TCECa} > +\text{P.ass} > +\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 > + (\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K} \}^{ns}$$

Pour les indicateurs contrôlés par le pH eau :

$$\text{pH eau (pH KCl constant)} = f \{ +\text{TSB} > -\text{IDT} > +\text{TCECa} > -\text{A/S} > -\text{TAE} > -\text{A/L} > -\text{P.ass} > -\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 > -\text{IC} > -(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K} > +\text{CEC} \}^{\text{ns}}$$

Le sens des indicateurs ayant influencé le pH eau est totalement opposé à celui de ceux sur le pH KCl. Les indicateurs agro-pédologiques d'influence élevée sur l'acidité d'échange des sols Y<sub>3</sub> ont été l'illuviation d'argile par IDT avec R<sup>2</sup>=56,7%, le degré d'altération A/S et A/L avec R<sup>2</sup>=53,23 % et 36,85 %, le lessivage des bases échangeables avec R<sup>2</sup>=44,09 % et le taux d'acidité d'échange avec R<sup>2</sup>=36 %. Seul le r simple a été significatif sur la CECE avec r= -0,923 et le TCECa avec r= 0,922 sur le pH.

### 3.3.2. Contraintes Agricoles De La Serie Y<sub>3</sub>

La série Isalowe (Y<sub>3</sub>) au tableau 1 en annexe, montre que des sols acides ont manifesté des faibles CV (<30 %) sur le TAE avec 0,88 % (le plus homogène), le TCECa 6,2 %, le pH eau 12,46 %, le pH KCl 14,14 % et des sols sablo-argileux sur IDT avec 29,6 %, IC 29,10 % et A/S 28,33 %. Les grands écarts entre la couche A et la couche B ont présenté des CV élevés (>30 %) caractérisant l'instabilité du P.ass avec 85,66 %, A/L 80,40 %, Ca+Mg/K 57,39 %, Fe/Al 53,40 % et CEC 49,67 %.

Les indicateurs (avec leurs valeurs) facilement contrôlables d'influence relativement élevée: IDT 1,57, A/S 0,09, TSB 4,9 et TAE 95,2% ; ont produit les contraintes décroissantes suivantes :

- 1- Le pH eau 5,12 et le pH KCl 3,92
- 2- L'illuvation d'argile accumulée en horizon A2 très altéré (5-15 cm) et la pauvreté kaolinitique.
- 3- Le drainage excessif (+colluvionnement latérale, érosion), pente < 15%
- 4- L'acidité marquée par le lessivage des bases et l'hydrolyse des sesquioxydes ferro-aluminiques

### 3.4. Sols Du Complexe Bohonde-Booto (At)

#### 3.4.1. Influences Relatives Des Indices Agropédologiques

Les coefficients de corrélation simple des indicateurs agro-pédologiques des sols de la série complexe AT sont montrés à la *figure 9*. L'agglomération de proximité entre pH eau et pH KCl a présenté le r= -0,858, pH eau et (Ca+Mg)/K avec r= 0,650 et pH eau et IDT avec r= -0,603 ; IDT et A/S, IDT et TAE, IDT et IC, IDT et TCECa, et IDT et A/L respectivement avec r=0,976, 0,879, 0,603, -0,781 et 0,566.

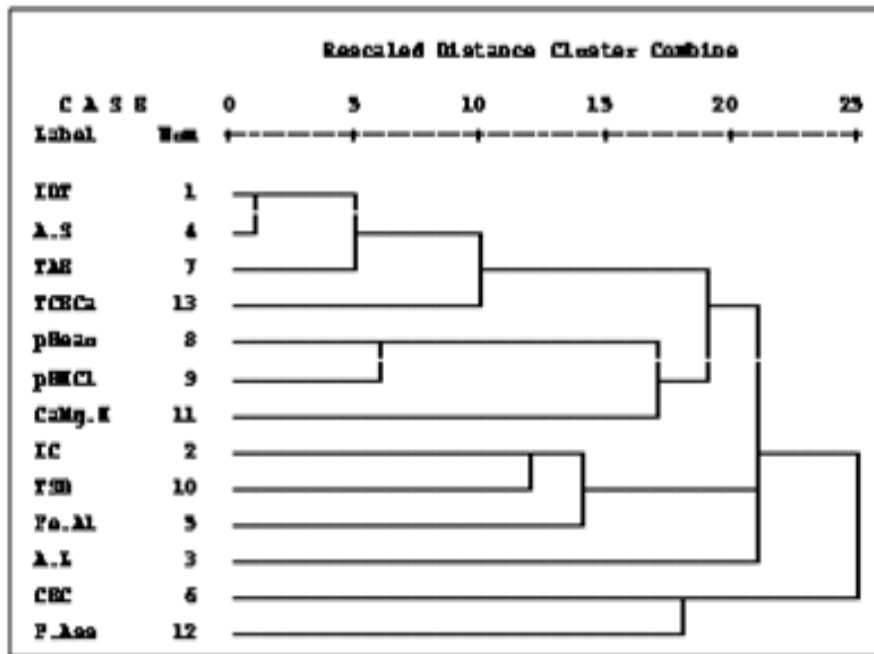


Figure 9. Dendrogramme d’hérarchisation de cluster par corrélation de Pearson des indicateurs agro-pédologiques des sols du complexe AT de Yangambi

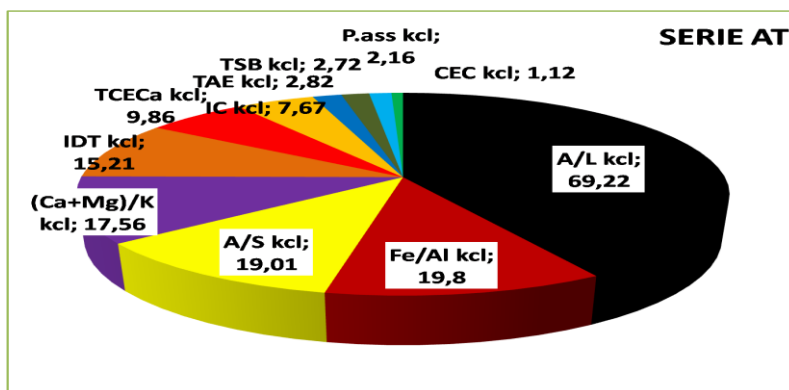


Figure 10. Coefficients de détermination (R<sup>2</sup>, %) de corrélation partielle Desindicateurs agro-pédologiques sur le pH eau constant contrôlés par le pH KCl du complexe AT des sols de Yangambi

En figure 10, l’influence relative absolue des indicateurs agro-pédologiques sur le pH eau et le pH KCl des sols du complexe AT de Yangambi a été déterminée par les coefficients de détermination partiels montrés en ordre décroissant (>) avec le sens (signe + ou -) de la pente de la relation. L’indicateur d’influence élevée et significative (\*) sur l’acidité d’échange de sols AT a été A/L avec R<sup>2</sup>=69,22%.

Pour les indicateurs contrôlés par le pH KCl (n.s = non significatif au point de probabilité 05) :

$$\text{pH kCl (pH eau constant)} = f\{-A/L^* > -Fe/Al > +A/S > + (Ca+Mg)/K > +TCECa > +IC > -TAE > +TSB > -P.ass > -CEC\}^{ns}$$

Pour les indicateurs contrôlés par le pHeau :

$$\text{pH eau (pH KCl constant)} = f\{+A/L^* > -Fe/Al > -P.ass > -CEC > -CECa > +A/S > +IDT > +IC > -TSB > +TAE > -(Ca+Mg)/K\}^{ns}$$

Les sens des indicateurs de la solution de sol (pH eau) ont été opposés à ceux des indicateurs du complexe adsorbant (pH KCl) à l'exception de +A/S, +IC, -P.ass. et -CECE.

Les coefficients de détermination ( $R^2$ ) de Fe/Al 19,8 %, A/S 19,01 %, (Ca+Mg)/K 17,56 %, IDT 15,21 % et TCECa 9,86 % ont aussi une influence pédologique dans cette série des sols où la corrélation simple de pH avec P.ass a été significative avec  $r = -0,746$ , suivi moins significativement de CECE avec  $r = -0,658$  et (Ca+Mg)/K avec  $r = 0,650$ .

### 3.4.2. Contraintes Agricoles De La Serie At

Pour la série du complexe AT, seule l'acidité de sol a été identifiée comme étant homogène ( $CV < 30\%$ ) avec 15,18 % pour le pH eau, 21,55 % pour le pH KCl et 22,36 % pour le TAE. Les grandes variations ( $CV > 30\%$ ) ont été observées sur A/L avec 132,11 %, CEC 126,03 %, (Ca+Mg)/K 82,38 %, TCECa 71,4 %, IC 53,82%, A/S 50,50 %, IDT 48,43 %, P.ass 47,10 % et  $Fe_2O_3/Al_2O_3$  39,50 %.

L'indicateur difficilement contrôlable d'influence significative a été A/L de valeurs 0,12-0,82 avec  $R^2 = 69,22\%$  sur le pH. Mais le pHeau présentait le r simple significatif avec IDT (1,37) et (Ca+Mg)/K (2,09). Les contraintes décroissantes qui en découlent ont été les suivantes :

1. Le pH 4,78 et 3,39
2. La dominance extrême des limons et sables,
3. Le drainage très excessif en période sèche,
4. L'acidité aluminique des oxydes de fer et aluminium oxydo-réduits par les eaux de pluies et le battement de la nappe phréatique superficielle à 50 cm de profondeur
5. La grande pauvreté kaolinitique par l'illuviation argilique et minérale.

## 4. Discussion

La contrainte naturelle se manifeste par le rapport des sesquioxides (goethite par gibbsite :  $Fe_2O_3/Al_2O_3$ ), ayant contribué à la structuration et l'acidification hydrolytique des sols de Yangambi, qui montre que

l'altération des sesquioxydes est plus avancée en Y<sub>1</sub> résultant l'hématite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>α) et le lepidocrocite {ΩFeO(OH)} d'argile rouge, modérément avancée en Y<sub>2</sub> et Y<sub>3</sub> résultant la goethite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>H<sub>2</sub>O) ou {αFeO(OH)} d'argile jaune semi-amorphe, et moins avancée en Y<sub>3</sub> et AT produisant la limonite {βFeO(OH)} amorphe, la gibbsite amorphe (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>H<sub>2</sub>O) et l'allophane) (D'Hoore, 1954 ; Fripiat et Gastuche, 1955 ; Jones *et al.*, 2013). Conséquemment, les teneurs en sables et aluminium et le potentiel de fertilité TSB augmentent de plateaux (Y<sub>1</sub> et Y<sub>2</sub>) à pH très acide adaptés aux cultures pérennes vers les fonds de vallées (AT) au pH acide adaptés aux cultures vivrières et irriguées ; contrairement aux teneurs d'argile et de fer qui diminuent du haut au bas de pentes, suivant leur nature hydratée (Kombele, 2004 ; Alongo *et al.*, 2013). Le risque de latérisation rapide se présenterait en saison sèche par des sols oxy et hydroxy-ferriques surtout en Y<sub>1</sub> et Y<sub>2</sub> après les travaux culturaux de sols. Tandis que le craquement superficiel de sol est observé dans la presqu'île Lokele en saison sèche après les récoltes agricoles (Jurion et Henri, 1967 ; Ngongo *et al.*, 2009 ; Fox *et al.*, 2012).

En profil du sol surtout aux horizons B, à cause de l'illuviation, le pH augmente en profondeur avec la diminution de IC, IDT (exception en série AT), A/L (exception en série Y<sub>1</sub>), TCECa (exception en série AT), (Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup>)/K (exception en séries Y<sub>1</sub> et Y<sub>3</sub>). Par contre, avec la profondeur surtout dans les couches humifères, à cause du lessivage cationique, le pH diminue avec l'augmentation de CECE, TAE (exception en Y<sub>1</sub>), phosphore assimilable (exception en série Y<sub>2</sub>) et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (exception en série AT).

L'acidité du pH eau de surface des sols de Yangambi généralement sableux serait relevée à cause de perturbation climatique ayant augmenté les quantités d'eau des pluies en grande saison humide d'août à novembre (Likoko *et al.*, 2019 a et b). Les eaux de drainage et ruissellement ont favorisé l'indice de colluvionnement (IC) en Y<sub>1</sub> et Y<sub>2</sub>, l'indice de différenciation texturale (IDT) en Y<sub>3</sub> et AT et le lessivage accéléré des bases échangeables en Y<sub>3</sub> et AT de la solution des sols. Ces sols nécessitent être tamponnés par des apports en matières organiques et ne doivent pas être fertilisés par des engrais minéraux acidifiants (Kang *et al.*, 1997 ; Likoko *et al.*, 2018). L'indice de fertilité (Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup>)/K influence peu le pH en Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub> et Y<sub>3</sub>, pendant que le potassium ainsi que le phosphore assimilable se sont accumulés en complexe AT.

Il y a risque de toxicité aluminique par chélation avec le phosphore assimilable en Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub> et AT et risque de rétrogradation de kaolinite par le potassium en Y<sub>1</sub> et AT (Kombele, 2004 ; Fox *et al.*, 2012 ; Jones *et al.*, 2013). La faible acidité dans les sols de vallée est due non seulement à la présence générale des bases échangeables, mais aussi à cause de l'allochtonie sablonneuse superficielle permanente d'un côté et de



battement phréatique à 50 cm de profondeur sur une texture sablonneuse lessivée de l'autre. La présence du sable et limon manifeste une pauvreté polaire en surface spécifique du complexe adsorbant caractérisé par l'influence significative de l'indicateur rapport argile sur limon inférieur à un.

La gestion durable de sols contre l'itinérance agricole de déforestation à Yangambi consisterait à :

**1.** L'usage de chaux, des fertilisants spécifiques, des légumineuses fixatrices d'azote (à grains, fertilisants verts et ligneux) et des matières organiques d'engrais verts de l'agroforesterie, l'agro-sylvo-pâturage, la jachèrisation, la reforestation naturelle, l'aménagement forestier et le respect du calendrier agricole ; et éviter le brûlage de la brousse (Bahuchet et Betsch., 2012 ; Osunde, 2016 ; Saidou et Ichaou, 2016 ; Likoko *et al.*, 2018);

**2.** En séries Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub> et AT : l'usage de labour manuel ou mécanisé léger à 30 cm. La série Y<sub>3</sub> se conserverait mieux à la vocation forestière, à l'usage de couverture végétale antiérosive permanente et des cultures à minimum et zéro tillages suivant les courbes de niveau (Jurion et Henri, 1967 ; Sys et Frankart, 1971 ; Jones *et al.*, 2013) ;

**3.** L'usage de l'agro-sylvo-piscicole et pastoral au complexe AT des sols de vallée (Henri et Jurion, 1967 ; Sys et Frankart, 1971) ;

**4.** L'implication du gouvernement d'investir prioritairement dans la gestion durable de la fertilité du sol (Osunde, 2016 ; Saidou et Ichaou, 2016 ; Chude et Odunze, 2016 ; Jobe, 2016);

-par un environnement socioéconomique et politique favorable aux producteurs;

-par un système d'informations avec banques de données harmonisées sur les aptitudes des sols aux différentes cultures et paysages pour la cartographie numérique détaillée en carte de fertilité du sol, carte de texture du sol, carte de l'humidité ou eau disponible du sol, carte du carbone organique du sol, carte de vocation culturale des sols et carte d'écart de rendement.

**5.** La vulgarisation et sensibilisation par des champs-écoles et des sites de démonstration sur les acquis ci haut cités de gestion du sol pour la sécurité du sol et la sécurité alimentaire durables (Osunde, 2016 ; Saidou et Ichaou, 2016 ; Chude et Odunze, 2016 ; Jobe, 2016 ; Tetteh et Boateng, 2016);

**6.** au renforcement de capacités des chercheurs, agriculteurs, vulgarisateurs, de la société civile, des ONG et des communautés rurales dans toute la chaîne de valeur pédologique (Osunde, 2016 ; Seidou et Ichaou, 2016 ; Jobe, 2016);

## Conclusion

Les indicateurs agro-pédologiques en fonction du pH du sol ont été hiérarchisés par la combinaison du coefficient de variation avec le coefficient de détermination de corrélation partielle pour déterminer les contraintes agricoles prioritaires de quatre séries principales de sols de Yangambi, afin de sécuriser le sol contre la déforestation par l'itinérance agricole.

Pour les sols de plateau, de série Y<sub>1</sub>, l'acidité kaolinitique, le drainage interne, le lessivage en bases, l'illuviation d'argile et la toxicité aluminique ont été les contraintes principales. Les sols de faible pente 8%, de série Y<sub>2</sub> ont été contraints par la CECE, l'acidité hydrolytique des sesquioxydes de fer et d'aluminium, la pauvreté en kaolinite et en minéraux basiques, le colluvionnement latéral et le drainage. Pour les sols de pente forte 15%, de série Y<sub>3</sub>, l'illuviation d'argile, la pauvreté kaolinitique, Le drainage excessif, le colluvionnement latérale, le lessivage des bases et l'hydrolyse des sesquioxydes ferro-aluminiques ont été limitants. Pour les sols de vallée, de série du complexe AT, les limitations agricoles comprennent la dominance extrême des limons et sables, le drainage très excessif en période sèche, l'acidité aluminique et la pauvreté kaolinitique. Les sols ferralitiques de Yangambi sont argilo sableux à sablonneux, nativement acides et pauvres en éléments fertilisants.

## Perspective :

Expérimenter les remèdes discutés dans cette étude.

## References:

1. Alongo S., Visser M., Kombele F., Colinet C., Bogaert J., 2013. Propriétés et diagnostic de l'état agropédologique du sol de la série Yakonde après fragmentation de la forêt à Yangambi, R D Congo. Annales des instituts supérieurs d'études agronomiques, 2013, 5(1), pp36-51. <hal-00875748>
2. Bahuchet S. et Betsch J.M., 2012. L'agriculture itinérante sur brûlis, une menace sur la forêt tropicale humide ?, Revue d'ethnoécologie [En ligne], 1 | 2012, mis en ligne le 30 novembre 2012, consulté le 18 novembre 2019. URL : <http://ethnoecologie.revues.org/768> ; DOI : 10.4000/ethnoecologie.768
3. Baptista I., 2016. Stratégies pour la gestion durable des sols au Cabo Verde : défis liés à l'environnement et aux moyens de subsistance. In La gestion durable des sols: clé pour la sécurité alimentaire et la nutrition en Afrique. FAO : Nature & Faune Volume 30, Numéro 1 pp 27-30 <http://www.fao.org/africa/resources/nature-faune/fr/>

4. Boyemba F., 2011. Ecologie de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée. Thèse de doctorat, université libre de Bruxelles. 181 P
5. CIRAD, 2009. Analyses de sols. WWW. CIRAD
6. Chude V.O. et Odunze A.C., 2016. Priorités de la gestion durable des sols au Nigéria Volume 30, Numéro 1pp 19-22. In La gestion durable des sols: clé pour la sécurité alimentaire et la nutrition en Afrique. FAO : Nature & Faune Volume 30, Numéro 1 pp 19-22 <http://www.fao.org/africa/resources/nature-faune/fr/>
7. D’Hoore J., 1954. L’accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux. Publication de l’INEAC, 132p.
8. Fox D., Carrega P., Morschel J., Emsellem K. et Equite T., 2012. Dégradation des sols dans le monde. <http://unt.unice.fr/uoh/degsol/degradation-sols.php>
9. Fripiat J.J. et Gastuche M.C., 1955. Etude physicochimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la Kaolinite avec les oxydes du fer trivalent. Publication de l’INEAC, 60p.
10. Jobe A. R., 2016. Priorités nationales pour la gestion durable des sols en Gambie. In La gestion durable des sols: clé pour la sécurité alimentaire et la nutrition en Afrique. FAO : Nature & Faune Volume 30, Numéro 1pp 23-24 <http://www.fao.org/africa/resources/nature-faune/fr/>
11. Jones, A., Breuning-Madsen, H., Broussard, M., Dampha, A., Dechers, J., Dewitte, O., Gallali, I., Hallet, S., Jones, R., Kilasara, M., Le Roux, P., Micheli, E., Montanarella, L., Spaargaren, O., Thiombiano, L., VanRanst, E., Yemefack, M., Zougmore, R., (eds.), (2013). Soil Atlas of Africa. European commission, publications office of the European Union, Luxembourg, 176pp.
12. Jurion F., et Henri J., 1967. De l’agriculture itinérante à l’agriculture intensive. Publication INEAC, hors-série, 487p.
13. Kang B.T., Gichuru N., Hulugalle M., et Swift M.J., 1991. Soil constraints for sustainable upland crop production in humid and subhumid West-Africa. 76p.
14. Kang B.T., Salako A.F.K., Akobundu I.O., Pleysier J.L., and Chiann J.N., 1997. Amelioration of a degraded oxic paleustalf by leguminous and natural fallows. Soil use and management 13 :130-136.
15. Kombele B., 2004. Diagnostic de la fertilité des sols dans la Cuvette Centrale Congolaise. Cas des séries Yangambi et Yakonde. Thèse doctorale en sciences agronomiques, faculté universitaire de Gembloux, Belgique. 464p.
16. Likoko B.A., Murefu K., Likoko A.G. et Posho N.B., 2018. Effets des biomasses de légumineuses ligneuses sur la croissance et le

- rendement du maïs en couloir sur un ferralsol de Yangambi, RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 131, pp 13382-13391.
17. Likoko B.A., Mbifo N., Besango L., Totiwe T., Badjoko D.H., et al. (2019a) Climate Change for Yangambi Forest Region, DR Congo. *J Aqua Sci Oceanography* 1: 203
  18. Likoko B.A., Likoko A.G., Likoko A.B., Likoko K.J., Alongo L.S., et al. (2019b) Agricultural Monthly Rainfall Trends Disturbances in Yangambi Region, D R Congo. *J Aqua Sci Oceanography* 1: 105
  19. Ngongo M., Van Ranst L.E, Baert G., Kasongo E.L., Verdoodt A., Mujinya A.A., et Mukalay J.M., 2009. Guide des sols en R.D.Congo. Tome I : Etude et gestion. 260 pages.
  20. Osunde A.O., 2016. Assurer une sécurité durable des sols en Afrique subsaharienne : quelques défis et options de gestion. In *La gestion durable des sols: clé pour la sécurité alimentaire et la nutrition en Afrique*. FAO : Nature & Faune Volume 30, Numéro 1 pp 16-18 <http://www.fao.org/africa/resources/nature-faune/fr/>
  21. Saidou A. K. et Ichaou A., 2016. Gestion durable des sols au Niger: Contraintes, défis, opportunités et priorités. In *La gestion durable des sols: clé pour la sécurité alimentaire et la nutrition en Afrique*. FAO : Nature & Faune Volume 30, Numéro 1 pp 31-34 <http://www.fao.org/africa/resources/nature-faune/fr/>
  22. Sys C. Van Wambeke A., Frankart R., Gilson P., Jongen P., Pecrot A., Berce J.M. et Jamagne M., 1961. *La cartographie des sols au Congo : ses principes et méthodes*. Bruxelles, publication de l'INEAC, série technique N° 66, 171 P.
  23. Sys C. et Frankart R., 1971. *La mise en valeurs agronomiques des sols du Congo*. Hors série, INEAC.
  24. Sys C., 1985. *Land Evaluation. Part I, part II et part III*, Gent university. Administration générale de la coopération au développement, place de champs de Mars, 5, boîte 57, 1050 Bruxelles.
  25. Tetteh F.M. et Boateng E., 2016. Priorités pour une gestion durable des sols au Ghana. In *La gestion durable des sols: clé pour la sécurité alimentaire et la nutrition en Afrique*. FAO : Nature & Faune Volume 30, Numéro 1 pp 25-26 <http://www.fao.org/africa/resources/nature-faune/fr/>
  26. Van Wambeke A., 1995. *Les sols des tropiques : propriétés et appréciations*. CTA et Huy Trop. Asbl. 335 pp.

**Annexe**

**Tableau 1. Indicateurs agro-pédologiques des séries Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub> et AT des sols de Yangambi.**

Prof.(cm)	Horizon	IDT	IC	A/L	A/S	Fe/Al	CECE méq/1 00g	TAE	pH en eau	pH au KCl	TSB	(Ca+M g)/K	P.ass (ppm)	TCECa (%)
<b>Série Y1</b>														
0-3	A1(LS)	1	0,67	7,4	0,18	2,2	4,3	89,0	4,2	3,2	11,4	3,27	7,84	86,97
3-16	A2(LAS)	1,77	0,99	7,25	0,37	2,2	3,4	92,0	4,7	3,7	7,7	2,33	7,84	91,47
16-34	B1(LAS)	1,47	1,06	3,15	0,3	0,78	3,6	91,0	4,9	3,9	9,2	5,4	5,81	95,00
34-120	B2(A)	3,06	1,02	2,94	1,15	0,94	3,7	93,0	5,1	4,0	7,3	1,22	4,18	85,14
	Moy	1,825	0,935	5,185	0,5	1,53	3,75	91,3	4,725	3,70	8,90	3,055	6,418	89,65
	Ecart-t	0,882	0,179	2,473	0,440	0,777	0,387	0,17	0,386	0,36	1,86	1,774	1,772	4,45
	CV (%)	0,484	0,192	0,477	0,881	0,508	0,103	0,19	0,082	6	0,21	0,581	0,276	0,05
<b>Série Y2</b>														
0-3	A1(SL)	1,17	0,72	1,39	0,13	2,7	5,7	90,0	4,1	3,2	10,2	3,39	0,4	90,00
3-9	A2(SL)	2,22	0,98	8,92	0,12	2,7	2,9	92,0	4,4	3,6	8,3	2	0,4	90,00
9-18	A3(SL)	1	1,26	1,91	0,1	1,78	2,3	72,0	5	3,9	28,3	14,25	0,84	91,30
18-42	B1(LS)	1,79	1,08	6,83	0,19	1,75	3,2	91,0	5,2	4,0	9,1	0,23	0,6	98,44
42-120	B2(LS)	2,17	1,03	3,13	0,26	2,01	2,4	97,0	5,2	4,0	3,3	1	0,43	98,33
	Moy	1,67	1,014	4,436	0,16	2,188	3,3	88,4	4,78	3,74	4	4,174	0,534	93,61
	Ecart-t	0,563	0,195	3,287	0,065	0,478	1,391	09,6	0,502	0,34	9,57	5,755	0,190	4,39
	CV (%)	0,337	0,193	0,741	0,408	0,219	0,422	10,8	0,105	0,09	0,81	1,379	0,356	0,047
<b>Série Y3</b>														
0-5	A1(S)	1	0,95	0,67	0,06	1,6	6,4	96,0	4,1	3,0	4,1	1,72	1,43	85,31
5-16	A2(SL)	2	1,19	5,05	0,11	1,6	3,5	95,0	5	3,9	5,1	2,25	1,43	88,86
16-44	A3(S)	1,23	0,88	1,28	0,07	0,59	2,1	95,0	5,2	4,0	4,8	3,5	0,24	94,29
44-85	B1(SL)	1,56	1,22	1,67	0,09	0,62	2,7	94,0	5,7	4,3	6,3	1,25	0,28	98,15
85-120	B2(SL)	2,06	1,77	1,94	0,12	0,64	2,6	96,0	5,6	4,4	4,2	0,67	0,31	98,46
	Moy	1,57	1,202	2,122	0,09	1,01	3,46	95,2	5,12	3,92	4,90	1,878	0,738	93,02
	Ecart-t	0,465	0,350	1,705	0,026	0,539	1,719	00,8	0,638	0,56	0,89	1,078	0,632	5,79
	CV (%)	0,296	0,291	0,804	0,283	0,534	0,497	00,9	0,125	0,14	0,18	0,574	0,857	0,062
<b>Série AT</b>														
0-4	A1c(S)	1,11	0,75	0,33	0,02	0,92	1,6	73,0	4,3	3,0	27,5	1,18	0,98	0,00
4-11	A2c(S)	2	1,04	2,4	0,04	0,92	2,8	96,0	5,3	3,0	3,6	1,33	0,98	28,21
11-14	A11(SL)	1,39	0,58	0,12	0,03	0,4	12	96,0	3,7	2,4	4,2	0,61	1,5	82,75
14-17	A12(SL)	1,83	0,82	0,19	0,04	0,4	22	98,0	3,9	2,6	2,3	1,44	1,5	91,46
17-30	A2(SL)	1,78	1,39	0,82	0,03	0,4	2,5	97,0	4,8	3,8	3,2	3	1,5	78,40
30-47	B1(S)	0	2,62	0	0	1,01	1,2	43,0	5,2	3,9	57,3	0,15	0,56	0,00
47-63	B2(S)	1,83	1,49	0,59	0,04	0,75	1,5	93,0	5,4	4,0	7,3	5	0,49	86,00
>63	B3(S)	1	0,96	0,26	0,02	0,53	3,4	95,0	5,6	4,4	3,3	4	0,43	94,41
	Moy	1,368	1,206	0,589	0,028	0,666	5,875	86,4	4,775	3,39	13,6	2,089	0,993	57,66
	Ecart-t	0,662	0,649	0,778	0,014	0,263	7,404	19,3	0,725	0,73	19,6	1,721	0,467	41,18
	CV (%)	0,484	0,538	1,321	0,505	0,395	1,260	22,4	0,152	0,21	1,4	0,824	0,471	0,714

**Légende :** LS=limono-sableux, SL=sablo-limoneux, LAS=limono-argilo-sableux, A=argileux, S=sableux, Ecart-t=écart type, Moy=moyenne, CV (%)= coefficient de variation, prof=profondeur de l'horizon du profil pédologique, A1=horizon humifère, A11=horizon humifère, A12=horizon humifère, A1c=horizon humifère, A2c=horizon humifère lessivé, A2=horizon humifère lessivé, A3=horizon humifère d'accumulation des sesquioxydes, B1= horizon B1, B2=horizon B2, B3=horizon B3 , TSB=taux de somme de bases échangeables, Fe/Al=Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P.ass.= phosphore assimilable, IDT=indice de différenciation texturale, TAE=taux d'acidité d'échange, TCECa=taux de capacité d'échange cationique argilique, IC=indice de colluvionnement de sables fins/sables grossiers, A/L=argile/limon, A/S=argile/sable