

Diagnostic de l'état agropédologique des sols argileux de Kango au Gabon

Ndzengboro-Endamane^{*1}, Ismaël-Estimé Mbagou-Mwe-Zue-Ona², Lyn Randy Essono Mbegha³, François Eba²

⁽¹⁾Institut de Recherches Agronomiques et Forestières (IRAF). Laboratoire de Pédologie. BP 2246 Libreville (Gabon).
Email : ndzengboro2@yahoo.fr

⁽²⁾Ecole Normale Supérieure. Laboratoire Pluridisciplinaire des Sciences. BP 17009 Libreville (Gabon).

⁽³⁾Université Omar Bongo. Laboratoire de Géomatique, de Recherche Appliquée et Conseil (LAGRAC). BP 17043 Libreville (Gabon).

Reçu le 05 août 2023, accepté le 18 septembre 2023, publié en ligne le 30 septembre 2023

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v6i3.7>

RESUME

Description du sujet. La diminution drastique de terres arables à Libreville pousse de plus en plus les agriculteurs à s'installer dans les localités proches de la capitale gabonaise pour y pratiquer l'agriculture et ravitailler Libreville en produits agricoles.

Objectif. La présente étude qui se déroule à quatre-vingt kilomètres de Libreville, a pour objectifs de : (1) déterminer certaines propriétés physico-chimiques et biologiques des sols de Kango, et de comparer les valeurs trouvées avec les valeurs seuil agronomiques, (2) relever les contraintes liées à la production agricole sur ces sols, et (3) proposer des solutions adéquates pour une exploitation agricole respectueuse de l'environnement.

Méthodes. Des échantillons de sols ont été prélevés, et les analyses physico-chimiques et biologiques y ont été réalisées : le pH eau, le pH KCl, le carbone organique total, l'azote total, l'azote assimilable, le phosphore total, le phosphore assimilable, l'aluminium, les cations basiques, la capacité d'échange cationique, le taux de saturation en bases échangeables, la biomasse microbienne, le quotient microbien, les rapports azote microbien/azote total et carbone microbien/azote microbien.

Résultats. Les sols prélevés sont argileux, ils ont des teneurs en carbone organique total, en azote total et en phosphore total agronomiquement convenables. Mais la très forte acidité, les teneurs en phosphore et azote assimilables, en cations basiques, le taux de saturation très bas et l'activité biologique constituent les principales contraintes à la production agricole.

Conclusion. Le chaulage, l'apport de biochar et des amendements organiques sont des solutions à appliquer pour obtenir de bons rendements dans ces sols dans le respect de l'environnement.

Mots-clés : Sols argileux de Kango, propriétés physico-chimiques et biologiques, contraintes, production agricole, Gabon

ABSTRACT

Diagnosis of the agropedological state of the clay soils of Kango in Gabon

Description of the subject. Faced with the drastic reduction of arable land in Libreville following the development of the city, more and more farmers and agro-industries are settling in localities close to the Gabonese capital where they can find land to exploit in to supply Libreville with agricultural products, such as the locality of Kango, located 82 kilometers from Libreville.

Goals. The objectives of this study are (1) to determine certain physico-chemical and biological properties of the soils of Kango and to compare the values found with the agronomic threshold values, (2) to identify the constraints likely to limit agricultural production on these soils, and (3) to propose adequate solutions for an efficient and environmentally friendly agricultural exploitation.

Methods. Soil samples were taken, and physico-chemical and biological analyzes were carried out: water pH, KCl pH, total organic carbon, total nitrogen, assimilable nitrogen, total phosphorus, phosphorus assimilable, aluminum,

basic cations, cation exchange capacity, exchangeable base saturation rate, microbial biomass, microbial quotient, microbial nitrogen/total nitrogen and microbial carbon/microbial nitrogen ratios.

Results. The soils sampled are clayey, they have agronomically suitable total organic carbon, total nitrogen and total phosphorus contents. But the very high acidity, the assimilable phosphorus and nitrogen, basic cations, the very low saturation rate and the biological activity constitute the main constraints to agricultural production.

Conclusion. Liming, the addition of biochar and organic amendments are solutions to be applied to obtain good yields in these soils while respecting the environment.

Keywords: Clay soils of Kango, physico-chemical and biological properties, constraints, agricultural productions, Gabon.

1. INTRODUCTION

Libreville, la capitale politico-administrative du Gabon est le plus grand foyer de population du pays. L'un des défis majeurs des autorités depuis des années reste la satisfaction des besoins alimentaires des populations de cette ville. Le développement de la ville et son extension ont entraîné depuis des années une diminution drastique des sols cultivables. Le sol est une ressource naturelle importante pour l'humanité et un fournisseur de fonctions écosystémiques dont dépend environ 95 % de la production alimentaire mondiale (Doreen *et al.*, 2022).

Aussi, pour faire face à la disparition des terres arables à Libreville, et pour ravitailler les populations en produits agricoles frais, les agriculteurs qui dans un passé récent étaient implantés à Libreville, s'installent désormais de plus en plus dans les localités moins urbanisées, proches géographiquement de la capitale gabonaise et disposant encore de terres exploitables. La localité de Kango (Figure 1) est située à 82 kilomètres de Libreville, on y trouve de grands espaces constitués de sols en jachère naturelle depuis des années, recouverts de végétation naturelle, et des sols sous cultures de manioc (*Manihot esculenta*), de gombo (*Abelmoschus esculentus*), de piment (*Capsicum frutescens*), de banane plantain (*Musa paradisiaca*), d'ananas (*Ananas comosus*), et d'igname (*Dioscorea* sp). Les sols en jachère naturelle peuvent servir de nouveau de cadre pour le développement agricole, ce qui pourrait augmenter à court terme la production agricole de cette localité, et mettre à la disposition des populations non seulement celles de Kango, mais aussi celles de Libreville, des produits agricoles frais en quantités plus importantes. Mais la difficulté majeure demeure le manque de données pédologiques récentes sur les sols de Kango. Les études menées dans la période 1960-1980 ont montré que cette localité et ses environs regroupent une diversité de sols, parmi lesquels : les sols sableux, argilo-sableux, sablo-argileux et argileux, riches en matière organique, en phosphore total et en azote total.

Cependant, ils présentent des contraintes chimiques liées à leur très forte acidité, à leur grande pauvreté en

calcium, magnésium et potassium, à leur forte capacité de rétention en phosphore, et à leur forte désaturation en cations basiques : calcium, potassium, sodium et magnésium (Martin *et al.*, 1981). Mais le sol est doté des propriétés physiques, chimiques et biologiques qui évoluent dans le temps et dans l'espace sous l'influence de plusieurs facteurs (Legros, 2007 ; Mze, 2007 ; Mbonigaba *et al.*, 2009 ; Tahat *et al.*, 2020 ; Wenhai *et al.*, 2023). En effet, les activités agricoles et les pratiques de gestion des terres impactent sur les propriétés des sols et la production agricole (Kumar *et al.*, 2018 ; Yang *et al.*, 2020 ; Noor *et al.*, 2020). Par conséquent, il importe pour le succès de tout projet agricole, de mettre en adéquation les propriétés des sols avec les techniques culturales. Les études pédologiques effectuées à la fin du siècle dernier ne peuvent plus constituer une référence fiable sur laquelle on peut s'appuyer pour l'exploitation agricole de ces sols de nos jours. Le manque de données récentes sur les sols de Kango impose donc de procéder à de nouvelles études pédologiques avant la mise en place de nouveaux projets d'exploitation agricole dans cette localité. C'est pour combler cet handicap scientifique que la présente étude a été menée.

L'étude a pour objectif : (1) déterminer certaines propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols de la localité de Kango, et comparer les valeurs trouvées avec les valeurs seuil agronomiques permettant de connaître le niveau de fertilité d'un sol (Howeler, 1996, 2001; Giroux et Audesse, 2004 ; Doucet, 2006), (2) dégager les principales contraintes physiques, chimiques et biologiques susceptibles de limiter leur production agricole, et (3) proposer des solutions pour leur exploitation agricole efficace et respectueuse de l'environnement.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

Climat

Le climat de la province de l'Estuaire est de type équatorial, chaud et humide. Il est généralement

caractérisé par quatre saisons : une petite saison sèche allant de mi-décembre à février, suivie d'une grande saison de pluies s'étalant de mars à juin, elle cède ensuite la place à la grande saison sèche qui va de juin à septembre, puis vient la petite saison des pluies qui va d'octobre à mi-décembre. Les précipitations annuelles ont une moyenne de 2660 mm (Ondo, 2011). La température moyenne varie entre 25 et 30 °C, avec les minimas en juillet, autour de 18 °C et les maximas en avril, avec des températures autour de 32 °C (Ondo, 2011). L'évapotranspiration potentielle est en moyenne de 1745 mm/an, le degré hygrométrique est compris entre 84 et 100 % (Ondo, 2011).

Géologie

Toute la zone étudiée se trouve essentiellement dans la série sédimentaire de la région côtière qui se divise d'Est en Ouest en :

- ✓ Série de l'Agoula,
- ✓ Série de Mvone,
- ✓ Série de Ndombo,
- ✓ Série de Cocobeach.

Le périmètre faisant l'objet de l'étude se situe dans la série du Cocobeach inférieur, avec en bordure au Nord-Est, les grès de Ndombo, les marnes de Mvone et les schisto-calcaires de la Noya (Martin *et al.*, 1981).

Végétation

On constate que la zone d'étude a été et continue d'être

fortement exploitée d'une part, par les forestiers et, d'autre part, par les paysans à travers leurs champs. De ce fait, la strate supérieure a été très entamée, par conséquent, on distingue essentiellement trois formations naturelles ou d'origines anthropiques : (i) La forêt dégradée, elle provient de l'action humaine de défrichage pendant des périodes répétées. Elle a favorisé de nombreuses espèces héliophiles notamment : les moracées, les zingibéracées, les cypéracées, les fougères.....(ii) La forêt secondaire, en vieillissant, les grandes espèces finissent par prédominer et on tend vers une forêt dense au sous-bois assez clair rappelant la forêt primaire qui a pratiquement disparue dans la zone. On trouve les espèces suivantes : les burséracées, représentées de façon prépondérante par l'Okoumé et l'Ozigo, les Irvingiacées avec *Irvingia gabonensis* et *déborderesia insignis*. On a pu identifier aussi les Pterocarpus soyanxil, représenté par le Padouk, les césalpinées par le Kévazingo, les myristicacées par le Niové, les sapotacées par le Moabi, les sapotacées par le Douka, les Rutacées parOLON.

Les cultures, les terrains défrichés sont essentiellement consacrés aux cultures vivrières par les villageois avec deux cultures principales : la banane et le manioc de façon générale et d'autres cultures suivent dans une moindre mesure telles que le taro, l'arachide et le maïs. La culture et la vente du bananier et du manioc constituent les principales sources de revenus des villageois (Martin *et al.*, 1981).

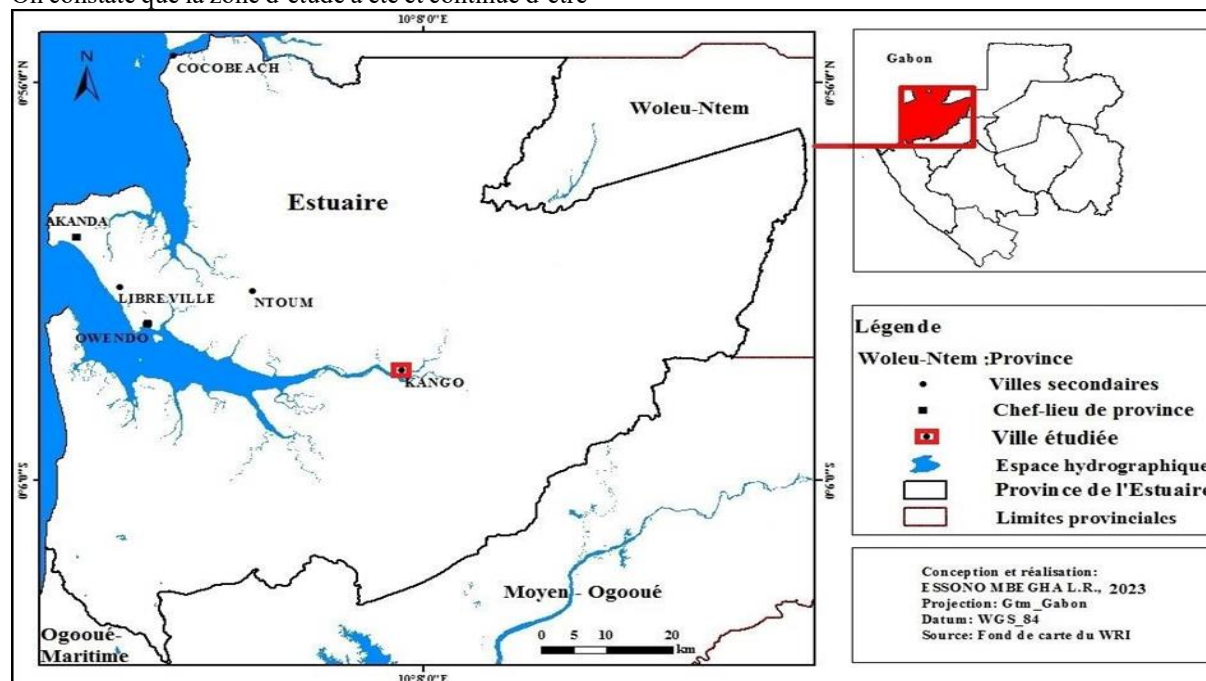


Figure 1. Localisation de Kango dans la province de l'Estuaire (Gabon)

2.2. Prélèvement des échantillons

Les échantillons de sol ont été prélevés à la tarière manuelle sur les 20 premiers centimètres de profondeur. Chaque échantillon composite de masse environ 900 grammes était constitué de neuf échantillons élémentaires. Ces échantillons élémentaires prélevés constituent des points d'un cercle de rayon 45 mètres prélevés sur la même tranche de profondeur au niveau de chaque site. Après chaque prélèvement, chaque échantillon composite a été ensuite subdivisé en deux parties. Une partie a été séchée à l'air libre, puis broyée à l'aide d'un broyeur mécanique, d'un mortier en porcelaine et d'un pilon approprié et tamisée sur un tamis de 2mm pour les analyses physiques et physico-chimiques de routine (Pauwels *et al.*, 1992). L'autre partie a été conservée à l'état frais (4 °C) pour les analyses microbiologiques (Schinner *et al.*, 1995). Avant d'effectuer les analyses microbiologiques, les échantillons sont humidifiés à la hauteur de 60 % conformément à la norme ISO 17155 (2002).

2.3. Méthodes d'analyses

La granulométrie a été réalisée par la méthode à la pipette de Robinson (Musy et Soutter, 1991 ; Ondo, 2011). *Le pHeau et le pHKCl ont été déterminés par la méthode électrométrique* (Mulaji-Kyela, 2011 ; Koulibaly, 2011 ; Chinazor Okorie *et al.*, 2020) qui consiste à immerger les électrodes d'un pH-mètre dans

une suspension de rapport sol/eau, et sol/KCl de 1/5 à la température du laboratoire. Le carbone organique total par la méthode Walkley et Black (1934). L'azote total par la méthode Kjeldahl (Mulaji-Kyela *et al.*, 2016). L'azote minéral a été dosé sous forme d'ions NH_4^+ et NO_3^- sur l'extrait de 10 g de sol au KCl (0,5 N) après agitation et centrifugation (Gobat *et al.*, 2017). La capacité d'échange cationique a été déterminée par extraction (percolation) en milieu tamponné à l'acétate d'ammonium 1N, pH 7,0 pour saturer le sol par les cations NH_4^+ dans un extracteur mécanique sous vide (Mulaji-Kyela *et al.*, 2016). Le phosphore total par la méthode Olsen (Ondo, 2011). Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode de Bray 2 (Okalebo *et al.*, 2002 ; Ballot *et al.*, 2016). L'aluminium échangeable a été analysé conformément à la méthode Jackson (Trinh, 1976). Le carbone et l'azote microbiens ont été déterminés par la méthode fumigation-extraction (Solaiman, 2007). Le traitement statistique des données obtenues a été réalisé avec le logiciel R.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyses granulométriques des échantillons de sols

Les résultats des analyses granulométriques des échantillons de sols sont présentés au tableau 1.

Tableau 1. Résultats des analyses granulométriques des sols

	Minima	1 ^{er} quartile	Médiane	Moyenne	3 ^e quartile	Maxima
Argiles (%)	36,5	50	54,2	53,9	57,5	64,5
Limons fins (%)	1,5	3,0	4,0	4,4	5,6	7,5
Limons grossiers (%)	1,5	2,7	4,2	4,4	6	8,2
Sables fins (%)	8,4	11,78	13,5	14,38	18,0	20,4
Sables grossiers (%)	9,4	15,2	21,35	20,55	25,6	33,0

Les résultats des analyses granulométriques montrent qu'on a affaire à des sols argileux, avec des taux d'argile compris entre 36,5 et 64,5 %. Cette granulométrie confère à ces sols de très bonnes capacités de retentions en nutriments. Cependant, ils pourraient présenter de grands risques d'hydromorphie en certains points à cause de forts taux d'argile (64,5 %), en certains endroits, ce qui

pourrait asphyxier le système racinaire des cultures surtout en saison des pluies.

3.2. Analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols sont présentés dans le tableau 2

Tableau 2 Résultats des analyses physico-chimiques

Paramètres	Minima	1 ^e quartile	Médiane	Moyenne	3 ^e quartile	Maxima
pHeau	3,6	3,8	3,9	4	4,1	4,7
pHKCl	3,2	3,4	3,6	3,6	3,7	4,2
COT (g/kg)	11,1	15,1	18	20,3	22,4	41,3

Nt (mg/g)	0,9	1,2	1,35	1,45	1,52	2,5
COT/Nt	9,0	12,1	13,6	13,9	15,8	20,0
Pt (mg/kg)	500,0	675,0	785,0	795,0	981,0	1100,0
Pass (mg/kg)	4,1	5,3	6,4	6,3	7,1	9,5
NH ₄ ⁺ (mg/kg)	10,4	11,3	12,45	12,39	12,8	15,4
NO ₃ ⁻ (mg/kg)	3,1	3,7	3,8	3,96	4,12	5,3
Al ³⁺ (cmol+/kg)	2,4	3,1	3,4	3,3	3,5	3,8
CEC (cmol+/kg)	7,3	8,05	9,15	9,508	9,97	13,9
S (cmol+/kg)	0,6	0,8	0,85	1,01	1,12	2,7
S/CEC (%)	6,7	8,35	8,70	10,5	11,25	19,40

Légende : COT= carbone organique ; Nt= azote total ; Pt=phosphore total ; Pass=phosphore assimilable ; CEC=capacité d'échange cationique ; S=somme des cations basiques.

Les valeurs de pH eau varient de 3,6 à 4,7, ce sont donc des sols très acides (Gobat *et al.*, 2017). Les normes agronomiques recommandent pour une bonne croissance des cultures, les valeurs de pH eau comprises entre 5,5 et 7,2 (Takoutsing *et al.*, 2015), l'acidité constitue donc le premier facteur limitant la production agricole au niveau de ces sols. Aussi, pour avoir de bons rendements, il sera nécessaire de procéder au chaulage. Ce dernier permettra d'une part, de neutraliser toute l'acidité du sol provoquée par la présence dans le sol des ions métalliques libres pourvoyeurs d'acidité, notamment : les protons, l'aluminium, le manganèse et le fer libres. Et d'autre part, de remonter le pH eau, ce qui aura pour conséquences d'accroître la biodisponibilité en nutriments et de stimuler l'activité biologique du sol (Kemmitt *et al.*, 2006 ; Sawada *et al.*, 2009). Cette forte acidité des sols n'est pas exceptionnelle en milieu tropical, d'ailleurs Mensah et Frimpong (2018) rapportent des valeurs autour de 4,7, au niveau du site d'Aiyinase au Ghana. Le carbone organique total montre des valeurs comprises entre 11,1 g/kg et 41,3 g/kg. Pour une bonne alimentation des cultures en nutriments, les normes agronomiques (Howeler, 1996, 2001 ; Giroux et Audesse, 2004 ; Doucet, 2006) recommandent des teneurs en carbone organique total comprises entre 12,6 g/kg et 25 g/kg, 98% des échantillons satisfont à cette exigence, on a donc des sols bien fournis en carbone organique et par conséquent assez riches en matière organique. En République Centrafricaine, Ballot *et al.* (2016) rapportent des valeurs en carbone organique total comprises entre 8,8 g/kg et 28,4 g/kg, ces valeurs sont très proches des nôtres. Cependant avec la très forte acidité des sols, la matière organique dont est issu ce carbone organique total a du mal à se décomposer correctement en certains points, ce qui se traduit par un rapport COT/Nt compris entre 8,2 et 22,4, traduisant de ce fait une mauvaise décomposition de la matière organique due à une activité biologique limitée à certains endroits (Mbonigaba *et al.*, 2009 ; Ndiaye *et al.*, 2014). Aussi, il sera nécessaire d'augmenter

l'activité biologique du sol avant de planter. Ce qui peut se faire à travers la décompaction du sol, la fourniture au sol des engrais verts, du fumier, de la matière organique d'origine animale et de limiter l'usage des pesticides (Shuang *et al.*, 2023).

Pour l'azote total, les résultats montrent des valeurs comprises entre 0,9 et 2,5 mg/g. Pour la bonne alimentation en azote des cultures, les normes agronomiques exigent des valeurs en azote total comprises entre 1,2 mg/g et 2,2 mg/g (Landon, 1991 ; Howeler, 1996, 2001 ; Giroux et Audesse, 2004 ; Doucet, 2006), on a 89 % des échantillons qui présentent des concentrations en azote total conformes aux normes agronomiques. Ce qui n'est pas étonnant vu la forte corrélation positive (tableau 4) que l'azote total présente avec le carbone organique total.

Mais, malgré ce bon niveau d'azote total dans le sol, il ne faut pas perdre de vue que les végétaux absorbent l'azote sous forme d'ammonium et de nitrate essentiellement, ces deux formes d'azote constituent l'azote assimilable. Les résultats de cette étude montrent d'une part que la forme ammonium est prépondérante sur la forme nitrate, et d'autre part que les valeurs en azote assimilable sont comprises entre 14,5 et 24,9 mg/kg, or les normes agronomiques exigent des valeurs supérieures à 30 mg/kg (Mbonigaba *et al.*, 2009), les valeurs en azote disponible ou assimilable pour les cultures ne sont pas suffisantes. Cette situation est imputable d'une part à la forte acidité des sols, qui bloque la minéralisation de l'azote au stade de l'ammonification, entraînant de ce fait une prépondérance de l'ammonium sur le nitrate, et d'autre part aux infiltrations des eaux météorites qui emportent le nitrate contrairement à l'ammonium qui est retenu par la fraction argileuse du sol (Kemmitt *et al.*, 2006 ; Sierra et Desfontaine, 2018). La pratique du chaulage et les apports de matière organique d'origine animale permettront d'améliorer cette situation. Les études menées au Rwanda (Mbonigaba *et al.*, 2009) ont montré aussi des valeurs en azote assimilable très proches de celles

trouvées au cours de notre étude. Le phosphore total, tout comme l'azote total, il affiche une forte corrélation positive avec le carbone organique total (tableau 4) avec des valeurs allant de 500 à 1100 mg/kg. En tenant compte des exigences agronomiques, tous les échantillons ont des teneurs conformes aux normes agronomiques. Mais pour les cultures c'est le phosphore assimilable qui est la forme de phosphore utilisable. La valeur de référence agronomique en phosphore assimilable étant de 20 mg/kg minimum, il ressort d'après les résultats qu'aucun échantillon de sol n'est assez fourni en phosphore assimilable pour alimenter convenablement les cultures en cet élément. La forte réactivité des composés phosphorés vis-à-vis des oxydes métalliques, des argiles, de la matière organique ainsi que le processus d'insolubilisation du phosphore, sont à l'origine de cette *déficience* (Liang-liang *et al.*, 2020 ; Ortega-Torres *et al.*, 2021). Pour remédier à cette situation, l'usage du compost, du biochar ou du mélange des deux constituent des solutions appropriées en vue d'améliorer la fertilité de ces *sols* (Sanusi *et al.*, 2018 ; Okorie *et al.*, 2020).

La capacité d'échange cationique exprime la réserve minérale d'un sol (Lele *et al.*, 2015). Les résultats de cette étude montrent les valeurs comprises entre 7,3 et 13,9 cmol+/kg. Seuls 39 % des échantillons ont des capacités d'échanges cationiques conformes aux normes agronomiques. La capacité d'échange cationique dépend de la minéralogie, du pH, de la texture et de la matière organique (Takoutsing *et al.*, 2015), aussi, afin d'augmenter la réserve minérale, les mesures préconisées sont l'augmentation du taux de matière organique ainsi que l'utilisation du biochar, du compost et des cendres de *bois* (Siddique, 2012 ; Chintala *et al.*, 2014). Les valeurs de la capacité d'échange cationique obtenues au cours de notre étude en sols argileux sont très proches de ce qui est rapporté ailleurs en milieu tropical. En effet, Takoutsing *et al.* (2015) au Cameroun indiquent des valeurs comprises entre 4 et 12 cmol+/kg, ce qui est très proche des

valeurs obtenues au cours de cette recherche.

La somme des cations basiques indique les valeurs comprises entre 0,6 et 2,4 cmol+/kg. Pour une bonne nutrition des cultures en bases échangeables, les exigences agronomiques recommandent des valeurs se situant entre 7,5 et 15 cmol+/kg, au vu des résultats, aucun échantillon ne satisfait à cette condition, ce sont donc des sols pauvres en bases échangeables. L'utilisation des cendres de bois, du biochar et du compost constituent la solution appropriée (Mensah et Frimpong, 2018). Cette pauvreté en bases échangeables est très habituelle en milieu tropical les travaux menés par Ratsimbazafy *et al.* (2020) ont révélé des valeurs autour de 1,6 cmol+/kg à Madagascar, ces valeurs sont très proches des nôtres.

Pour le taux de saturation, les valeurs varient de 6,7 à 19,4 %. Les valeurs seuil agronomiques se situent entre 60 et 90 % (Howeler, 1996, 2001 ; Giroux et Audesse, 2004 ; Doucet, 2006 ; Fageria et Baligar, 2008). Au regard des résultats obtenus, il n'y a aucun échantillon de sol qui satisfait à cette exigence. Il s'agit donc des sols sous saturés dans lesquels les cations pourvoyeurs d'acidité occupent plus de 80 % des sites au niveau du complexe d'échange. L'utilisation du biochar et des apports organiques apporteront les éléments nécessaires, notamment le calcium, le magnésium, le potassium, et permettront de neutraliser l'aluminium et le manganèse échangeables, tout en permettant une augmentation du pH du sol (Krishnan *et al.*, 2021 ; Paramisparam *et al.*, 2021 ; Huang *et al.*, 2022).

3.3. Analyses biologiques des échantillons des sols et matrice de corrélations linéaires

Les résultats des analyses biologiques des sols sont indiqués au tableau 3 ci-dessous, et le tableau 4 présente la matrice de corrélations linéaires des variables étudiées.

Tableau 3. Analyses biologiques des échantillons

Sols argileux	Carbone microbien (mg/kg)	Azote microbien (mg/kg)	Cmic/Nmic	Cmic/COT (%)	Nmic/Nt(%)
Minimum	106,1	3,2	19,8	0,3	0,2
Maximum	124,8	5,8	36,00	1	0,5
Moyenne	110,08	4,27	27,66	0,62	0,28
Écart-type	7,09	0,70	4,40	0,17	0,09

Légende : Cmic=carbone microbien ; COT=carbone organique total ; Nmic=azote microbien

Tableau 4. Présente la matrice de corrélation linéaire des variables étudiées

	Argile	Limons	Sables	pH eau	COT	Nt	Pt	S	CEC	Cmic	Nmic
Argile	1										
Limons	0,3	1									
Sables	0,2	0,1	1								
pH eau	0,5	0,1	0,1	1							
COT	-0,8	0,6	0,6	0,5	1						
Nt	-0,8	0,6	0,05	0,5	0,8	1					
Pt	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,3	1				
S	0,5	0,2	0,1	0,5	0,6	0,5	0,2	1			
CEC	0,3	0,3	0,3	0,5	0,8	0,7	0,6	0,7	1		
Cmic	0,1	0,4	0,2	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,8	1	
Nmic	0,3	0,2	0,1	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	1

Légende : COT= carbone organique total ; Nt= azote total ; Pt=phosphore total ; S= somme des cations basiques ; CEC= capacité d'échange cationique, Cmic=carbone microbien ; Nmic= azote microbien

La biomasse microbienne du sol désigne la somme des masses de tous les microorganismes du sol, elle comprend : les champignons, bactéries, protozoaires, levures, actinomycètes et algues ; elle constitue généralement entre 2 et 10 % de la matière organique totale du sol (Niane-Badiane *et al.*, 1999 ; Rousk *et al.*, 2007). Les microorganismes réagissent rapidement, même à des changements infimes en modifiant leur population et leurs activités, ils peuvent fournir une alerte précoce et efficace sur l'amélioration ou la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol résultant des différentes pratiques de gestion (Petitjean *et al.*, 2019 ; Kumar Yadav *et al.*, 2023). Les résultats montrent les valeurs de la biomasse microbienne comprises entre 106,1mg/kg et 110,08 mg/kg, il s'agit des sols disposant d'un compartiment microbien de petite taille (Petitjean *et al.*, 2019). Le rapport carbone microbien/ carbone organique total montre des valeurs comprises entre 0,3 % et 1 %. Selon Smith et Paul (1990), le carbone microbien représente entre 1 et 5 % du carbone organique total du sol, on est en présence des sols dans lesquels l'apport microbien en carbone est faible. Cette faiblesse en carbone microbien risque de priver les cultures et les microorganismes d'éléments nutritifs (Fliebach *et al.*, 2007 ; Vincent *et al.*, 2021). Cette situation est confirmée par le rapport entre l'azote microbien et l'azote total. En effet, avec des résultats compris entre 0,3 % et 1,5 %, le taux d'azote microbien est faible, car selon Schinner *et al.* (1995), 2 à 6 % de l'azote total du sol provient des cellules bactériennes après leur mort. On a donc un compartiment microbien de petite taille et de faible diversité, par conséquent moins efficace dans les opérations de transformation et de dégradation de la matière organique (Van der Heijden *et al.*, 2008 ; Singh *et al.*, 2015 ; Meena *et al.*, 2016). Cette situation est imputable à la très forte acidité des sols qui empêche

l'activité microbienne d'être à son niveau optimal, à l'usage du sol, à la végétation, et à la qualité de matière organique au niveau du sol (Chaussod *et al.*, 1992 ; Singha *et al.*, 2020 ; Huang *et al.*, 2022). Les études menées par Fotio *et al.* (2009) dans le bassin de FOUMBOT à l'Ouest du Cameroun, ont fourni des valeurs de carbone microbien en sols argileux allant de 312mg/kg à 522,5 mg/kg, celles d'azote microbien variant de 5,4 mg/kg à 25,3 mg/kg, et celles du quotient microbien oscillant entre 0,8 % et 1,3 %. Si pour le carbone et l'azote microbiens, les valeurs sont trois à cinq fois supérieures aux valeurs obtenues au cours de cette étude, mais pour le quotient microbien les valeurs sont très proches. Quant au rapport Cmic/Nmic, il varie entre 19,8 et 36, cet indicateur biologique renseigne sur la composition ou la structure du compartiment microbien du sol, les valeurs obtenues indiquent une prédominance des populations fongiques par rapport aux populations bactériennes. Cette situation n'est pas étonnante car vu la forte acidité des sols, le milieu est défavorable au développement des populations bactériennes (Chaussod *et al.*, 1992 ; Rousk et Baat, 2007 ; Siles et Margesin, 2016). Ce sont donc les champignons dans une large mesure qui réalisent l'essentiel des activités de décomposition de la matière organique et de recyclage des nutriments (Val-Moraes *et al.*, 2013 ; Rosas-Medina *et al.*, 2019). Cette prépondérance des champignons est due au type de sol, à la qualité de la matière organique, au niveau d'acidité et au niveau de dégradation du sol (Chen Wen *et al.*, 2020 ; Yan *et al.*, 2023). Cependant, selon Tahat *et al.* (2020), la diversité et l'activité des microorganismes constituent les composantes principales de la Santé et de la fertilité des sols, aussi la prédominance des espèces fongiques montre une fois de plus que le milieu est limité en biodiversité et en richesse enzymatique, par conséquent, les différentes activités de dégradation et

de transformation de la matière organique ne se font pas de façon optimale dans ces sols.

4. CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que les sols sont très acides, argileux, bien fournis en carbone organique total, en azote total, et en phosphore total, mais pauvres en calcium, magnésium, potassium, azote assimilable, phosphore assimilable, avec une activité biologique limitée. Ces résultats indiquent que la très forte acidité, la pauvreté en azote assimilable, en phosphore assimilable, en cations basiques échangeables ainsi que la faible activité biologique, constituent les principales contraintes à la production agricole au niveau de ces sols. Aussi, pour obtenir de bonnes productions agricoles dans le respect et la préservation de l'environnement, il faut adopter des systèmes culturaux adaptés, notamment : (i) La pratique du chaulage, celle-ci permettra d'augmenter le pH, de neutraliser l'aluminium échangeable en le complexant, de booster l'activité biologique et d'accroître la biodisponibilité dans le sol de certains éléments nutritifs tels que le phosphore assimilable, le calcium et le magnésium; (ii) Les apports de matières organiques (lisiers, fientes, fumures compost), facilement décomposables, ils permettront une plus grande disponibilité en nutriments, une complexation de l'aluminium et une augmentation de l'activité biologique ;(iii) L'utilisation du biochar, celle-ci permettra de disposer de nutriments à court moyen et long termes, d'augmenter le pH, d'accroître le niveau d'activité du compartiment microbien et de le maintenir à court et moyen termes, et de complexer l'aluminium échangeable dans le sol pendant des années.

La mise en pratique de ces dispositions pratiques exige des moyens techniques et financiers d'où la nécessité d'un soutien matériel, technique et financier de l'Etat et des organisations spécialisées. De plus, ces dispositions pratiques devront faire aussi l'objet d'études ultérieures en vue de jauger leur efficacité non seulement sur la croissance des cultures, mais aussi sur l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols dans les différentes régions agroécologiques du Gabon.

Références

Babin D., Sommermann L., Soumitra P.C., Behr J.H., Sandmann M., Neumann G., Nesme J., Sorensen S.J., Schellenberg I., Rothballer M., Geistlinger J., Smalla K. & Grosch R., 2022. Long-Term Fertilization Strategy Impacts Rhizoctonia solani-Microbe Interactions in Soil and Rhizosphere and Defense Responses in Lettuce. *Microorganisms*, 10, 1717, 27 p.

Ballot C S A., Mawussi G., Atakpama W., Moita-Nassy M.,

Yangakola T M., Zinga I., Silla S., Kperkouma W., Dercon G., Komlan B. & Koffi A., 2016. Characterization physicochemical soils to improve productivity of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in the region of Damara in South-central of Central African Republic. *Agronomie*, 28(1), 9-23.

Brady N.C. and Weil R.R., 2017. *The Nature and Properties of Soils* 15th ed. Editor Pearson Education. ISBN, 978-0133254488.

Chaussod R., Zuvia M., Breuil M.C. & Hetier J.M., 1992. Biomasse microbienne et « statut organique » des sols tropicaux : exemple d'un sol vénézuélien des Llanos sous différents systèmes de cultures. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, XXVII 1, 59-67.

Chinazor Okorie F., Didacus Njoku J., Uzoma Onweremadu E. & Chidimma Iwuji M., 2020. Physico-Chemical soil and their correlations with Maize and Cassava Production in Ebonyi, Nigeria. *American Journal of Climate Change*, 9(01), 34-51.

Doucet R., 2006. *Le climat et les sols agricoles*, Editions Berger, Eastman, Canada, 443 p. ISBN : 978-2-921416-71-9.

Fageria N.K. & Baligar V.C. 2008. Ameliorating Soil Acidity of Tropical Oxisols by Liming For Sustainable Crop Production. *Advances in Agronomy*, 99, 345-399.

Fließbach A., Oberholzer H.R., Gunst L., Mäder P. 2006. Soil organic matter and biological soil quality indicator after 21 years of organic and conventional farming. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 118, 273-274.

Fotio D., Simon S., Njomgang R., Nguéfac J., Nguéguim M., Maniepi N. J. S., Feujio Téguefouet P. & Mfopou Mewouo Y.C., 2009. Impacts de la gestion du sol sur la biomasse microbienne et le statut organique du sol de la zone ouest du Cameroun. In : *Atelier PCP- REPARAC "Innover pour améliorer les revenus des exploitations familiales et la production agricoles du Grand Sud Cameroun, 24-26 juin 2009, Mbal Mayo, Cameroun*.

Giroux M & Audesse P., 2004. Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. *Agrosol*, 15, 107-110.

Gobat J.M., Aragno M. & Matthey W. 2017. Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols. *3e ed revue et augmentée*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (Belgique), 847 p.

Howeler R.H., 1996. *Diagnosis of nutritional disorders and soil fertility maintenance of cassava, Tropical Tuber crops: Problems, Prospects and Future Strategies* Oxford and IBH Publishing, 203 p.

Howeler R.H., 2001. *Nutrient Inputs and Losses in Cassava-based Cropping Systems. Examples from Vietnam and Thailand. South East Asia. International Workshop on Nutrient Balances for Sustainable Agricultural Production and Natural Resource Management in Southeast Asia*. Bangkok, Thailand, 20-22 February.

- Kemmitt S.J., Wright D., Goulding K.W.T. & Jones D.L., 2006. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(5), 898-911.
- Kobina Mensah A. & Agyei Frimpong K. 2018. Biochar and/or Compost Applications Improve Soil Properties, Growth, and Yield of Maize Grown in Acidic Rainforest and Coastal Savannah Soils in Ghana. *Hindawi International Journal of Agronomy*, Article ID6837404.
- Kombienou P.D., Arouna O., Azontonde A.H., Mensah G.A. & Sinsin B.A., 2015. Caractérisation du niveau de fertilité des sols de la chaîne de l'Atakora au nord-ouest du Bénin. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(2), 3836-3856.
- Koulibaly B., 2011. *Caractérisation de l'acidification des sols et gestion de la fertilité des agrosystèmes cotonniers au Burkina*, thèse de doctorat 3^e cycle, Université de Ouagadougou (Burkina-Faso), Option Sciences appliquées, Spécialité : Agro-pédologie, 183 p.
- Kumar Yadav G., Kumar Dadhich S., Kumar Yadav R., Kumar R., Dobaria J., Ahamad Paray B., Woong Chang S. & Ravindran B. 2023. Impact of Biomass Recycling and Fertilization on Soil Microbiological Characteristics and Wheat Productivity in Semi-Arid Environment. *Agronomy*, 13, 10-54.
- Landon J.R., 1991. *Booker Tropical Soil Manual*. First ed; Routledge (USA), 230 p.
- Legros J.P., 2007. Les grands sols du monde. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*, Espagne, 566 p.
- Lele B. N., Kachaka S. C. & Lejoly J., 2015. Effet de la fertilisation minérale, de l'étagage du manioc et des légumineuses à graines sur le rendement du manioc en culture associée et sur les propriétés d'un Arénoferralsols à Kinshasa/RDC. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, 4, 46-57.
- Li S., Wei W. & Liu S., 2023. Long-Term Organic Amendments Combined with Nitrogen Fertilization Regulates Soil Organic Carbon Sequestration in Calcareous Soil. *Agronomy*, 13(291), 1-17.
- Liang J.L., Liu J., Jia P., Yang T.T., Zeng Q.W., Zhang C.S., Liang B., Shu W.S. & Li J.T., 2020. Novel phosphate-solubilizing bacteria enhance soil phosphorus cycling following ecological restoration of land degraded by mining. *ISME Journal*, 14 (6), 1600-1613.
- Martin D., Chatelin Y., Collinet J., Guichard E. & Sala G., 1981. Les sols du Gabon. Pédogenèse, Répartition et aptitudes, n° 92. ORSTOM, Paris, 67 p.
- Mathieu C., 2009. *Les principaux sols du monde*. ed TEC & TOC, Paris, France, 233 p.
- Mbonigaba-Muhinda J.J., Nzeyimana I., Bucagu C. & Culot M., 2009. Caractérisation physique, chimiques et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachère naturelles et contraintes à leur productivité. *Biotechnology Agronomy Society and Environment*, 13(4), 545-558.
- Mi W., Ma Q., Cao X. & Wu L. 2023. Soil Fertility Management for Sustainable Crop Production. *Agronomy*, 13, 10-26.
- Monther M., Tahat., Kholoud M., Alananbeh., Othman Y. & Leskovar D.I. 2020. *Soil Health and Sustainable Agriculture, Sustainability*, 12, 48-59.
- Mulaji-Kyela C., 2011. *Utilisation des composts de biodechets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)*. Thèse de doctorat 3^{ème} cycle université de Gembloux (Belgique), 220 p.
- Mulaji-Kyela C., Disa-Disa P., Kibal I. & Culot M. 2016. Diagnostic de l'état agropédologique des sols acides de la province de Kinshasa en république démocratique du Congo (RDC). *C. R. Chimie*, 19, 820-826.
- Musy A. & Soutter M., 1991. *Physique du sol*. 1^e ed, Lausanne (Suisse), Presses polytechniques romandes, 335 p.
- Mze S.P., 2008. *Influence d'apports en matières organiques sur l'activité biologique et la disponibilité du phosphore dans deux sols de la région des grands lacs d'Afrique*. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux (Belgique), 240 p.
- Ndiaye O., Tamsir-Diop A, Akpo L.E. & Diène M., 2014. Dynamique de la teneur en carbone et en azote des sols dans les systèmes d'exploitation du Ferlo : cas du CRZ de Dahra. *Journal of Applied Biosciences*, 83, 7554-7569.
- Niane-Badiane A., Grzyb F. & Jacquine F., 1999. Les variations au champ de la biomasse microbienne d'un sol cultivé : conséquences sur la réserve organique mobilisable (cas d'un sol ferrugineux tropical au Sénégal). *Earth and Planetary Science*, 328(1), 45-49. ISSN 1251-8050.
- Noor M. E., Siddique A., Lobry De Bruyn I., Guppy C.N. & Osana Y. 2021. Temporal Variations of Soil Organic Carbon and pH at Landscape Scale and the Implications for Cropping Intensity in Rice-Based Cropping Systems. *Agronomy*, 11, 59, 17 p.
- Ondo J.A., 2011. *Vulnérabilité des sols maraichers du Gabon (région de Libreville) : acidification et mobilité des éléments métalliques*. Thèse de doctorat 3^{ème} cycle Université de Provence (France), 324 p.
- Pauwels J.M. Van Ranst E. Verloo M. & Mvondo-ZE A., 1992. *Manuel de laboratoire de pédologie. Méthodes d'analyses des sols et des plantes, Equipement, Gestion de stocks de Verrerie et des Produits Chimiques*. Publication agricole 28, AGCD, Dschang-Bruxelles, 265 p.
- Petitjean C., Philibert A., Manneville V., Amiaud B., Perrin A., Charrier X., Gastal F., De Vliegheer A., Willekens K., Montenach D., Houot S., Morvan T. & Piutti S., 2019. Biomasse microbienne carbonée et activités enzymatiques : gammes de valeurs obtenues pour différents sols agricoles français et belges. *Étude et Gestion des Sols*, 26, 81- 92.
- Ratsimbazafy C.P., Rakotoarivonizaka I. & Rakotosaona R., 2020. Effet de l'application du compost d'alambics de brousse sur le rendement du riz pluvial (*Oryza sp*) cultivé sur

- le flanc de colline d'Ambohimahaso (Madagascar). *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 3(4), 69-75.
- Ros, M., Klammer S., Knapp B., Alchberger K. & Insam H., 2006. Long-term effect of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. *Soil Use and Management*, 22, 209-218.
- Rosas-Medina M., Macia-Vicente J G. & Piepenbring M., 2020. Diversity of Fungi in Soils with Different Degrées of Dégradations in Germany and Panama. *Mycobiology*, 48, 20-28.
- Rousk J. & Erland Baath., 2007. Fungal and bacterial growth in soil with plant materials of different C/N ratios, *FEMS Microbiol. Ecol.*, 62(2007) 258–267.
- Rousk J., Brookes P.C. & Baath E., 2009. Contrasting Soil pH Effects on Fungal and Bacterial Growth Suggest Functional Redundancy in Carbon Mineralization. *Applied And Environmental Microbiology*, 75(6), 1589–1596.
- Schinner F. Öhlinger R. Kandeler E. & Margesin R., 1995. *Methods in Soils Biology*. Springer- Verlag Berling Heidelberg, Allemagne, 418 p.
- Singha D., Brearley F.Q. & Tripathi S.K., 2020. Fine Root and Soil Nitrogen Dynamics during Stand Development Following Shifting Agriculture in Northeast India. *Forests*, 11, 12-36.
- Smith L J. & Paul E A. 1990. The significance of soil biomass estimations. In Bollag J M., Stotzky G. (Eds.). *Soil Biochemistry*, 6, 357-396
- Solaiman Z., 2007. *Measurement of microbial biomass and activity in soil. In Advanced Techniques in Soil Microbiology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 415 p.
- Takoutsing B., Weber J C., Aynekulu E., Rodriguez-Martin J A., Shepherd K., Sila A., Tchoundjeu Z. & Diby L. 2016. Assessment of soil health indicators for sustainable production of maize in smallholder farming systems in the highlands of Cameroon. *Geoderma*, 276, 64–73.
- Takoutsing B., Weber J C., Tchoundjeu Z. & Shepherd K., 2016. Soil chemical properties dynamics as affected by land use change in the humid forest zone of Cameroon. *AgroforestSyst.*, 90, 1089–1102.
- Trinh S. 1976. L'aluminium échangeable dans les sols acides de quelques pays d'Afrique et de Madagascar. *Cah. ORSTOM*, XIV(3) 207-218.
- Vincent Q. Chartin C. Krüger I. Bas van W. & Carnol M., 2021. *La qualité biologique et le carbone organique des sols agricoles en Wallonie*. SPW Agriculture, Ressources Naturelles Et Environnement Direction de la Protection des Sols. Université de Liège et Université Catholique de Louvain, 38 p.
- Voundi J.C., 1998. *Utilisation des déchets de l'industrie du bois en vue de l'amélioration de la fertilité chimique de sols acides tropicaux*. Thèse de doctorat, Faculteit Landbouwkundige en Toepegaste Biologische Wetenschappen, Universiteit, Gent (Belgique), 194 p.
- Walkley A. & Black C.A., 1934. *An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils. Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents*. *Soil Sci.*, 63, 261-263.
- Wen Y.C., Li H.Y., Lin Z.A., Zhao B.Q., Sun Z.B., Yuan L., Xu J.K & Li Y.Q., 2020. Long-
- Yan H., Zhou X., Zheng K., Gu S., Yu H., Ma K, Zhao Y., Wang Y., Zheng H., Liu H., Shi D., Lu G. & Deng Y., 2023. Response of Organic Fertilizer Application to Soil Microorganisms and Forage Biomass in Grass-Légume Mixture. *Agronomy*, 13, 481, 20 p.
- Yimer F., Ledin S. & Abdelkadir A., 2007. Changes in soil organic Carbon and total nitrogen contents in three adjacent land use types in the Bale Mountains, southeastern highlands of Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 242(2-3), 337-342.