

Statut organique des sols cultivés du Mayombe en République du Congo

Mbaki Severin Kevin Romaric

Institut national de Recherche Forestière (IRF), Brazzaville, RDC
Laboratoire de Recherche en Géosciences et Environnement (LARGEN),
Ecole Normale Supérieure (ENS), Université Marien Ngouabi, RDC

Nzila Jean de Dieu

Laboratoire de Recherche en Géosciences et Environnement (LARGEN),
Ecole Normale Supérieure (ENS), Université Marien Ngouabi, RDC

Watha-Ndoudy Noël

Institut national de Recherche Forestière (IRF), Brazzaville, RDC
Faculté des Sciences et Techniques (FST),
Université Marien Ngouabi, République du Congo

Kimpouni Victor

Institut national de Recherche Forestière (IRF), Brazzaville, RDC
Laboratoire de Recherche en Géosciences et Environnement (LARGEN),
Ecole Normale Supérieure (ENS), Université Marien Ngouabi, RDC

Approved: 25 September 2026
Posted: 27 September 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Mbaki, S.K.R., Nzila, J.D., Watha-Ndoudy, N., & Kimpouni, V. (2026). *Statut organique des sols cultivés du Mayombe en République du Congo*. ESI Preprints.
<https://doi.org/10.19044/esipreprint.9.2026.p958>

Résumé

L'objet de ce travail est de déterminer le statut organique des sols de la forêt du Mayombe dans les secteurs de Ponga-Dimonika, Malemba-Les Saras, Pilikondi-Bilala et Kakamoeka. L'approche méthodologique adoptée était basée sur le prélèvement des échantillons de sols à l'aide d'une tarière pédologique, à une profondeur de 0-20 cm, dans les différents sites des secteurs étudiés et en tenant compte de la toposéquence (haut de pente, mi-pente et bas de pente) et des différents modes d'utilisation de sol (plantations de manioc, de bananier, d'ananas, forêt, jachères jeunes et anciennes). Les résultats obtenus montrent que la densité apparente varie entre 1.31 et 1.69, avec les différences significatives observées entre les secteurs d'étude, entre

les situations topographiques et entre les différents modes d'occupation de sol. Les teneurs en carbone organique, en azote et en stocks de carbone varient respectivement entre 0.88 et 1.36 %, 0.11 et 0.16% et 29.53 et 35.39 t/ha, avec des teneurs plus élevées enregistrées dans les secteurs de Pouna-Dimonika, Malemba-Les Saras et les plus faibles dans le secteur de Pilikondi-Bilala. En fonction de la toposéquence, les teneurs les plus élevées en carbone organique (1.38%) et en azote total (0.15%) ont été obtenues en haut de pente et les plus faibles (1.06%) en mi-pente et en bas de pente. En fonction des modes d'occupation de sol, les sols sous culture de bananier, d'ananas, de manioc et sous forêt mature ont montré des teneurs élevées en matière organique et en azote total tandis que les sols sous jachères jeunes et vieilles sont plus pauvres. Cette étude a permis de connaître la fertilité organique des sols dans le Mayombe. Elle devrait se poursuivre en déterminant d'autres paramètres physicochimiques afin de mieux circonscrire l'état de la fertilité de ces sols.

Mots-clés : Mayombe, Matière organique, Sol, Toposéquence, Mode d'occupation des sols

Organic Composition of Cultivated Soils in the Mayombe Region of the Republic of the Congo

Mbaki Severin Kevin Romaric

National Institute for Forestry Research (IRF), Brazzaville, DRC
Geosciences and Environment Research Laboratory (LARGEN),
École Normale Supérieure (ENS), Marien Ngouabi University, DRC

Nzila Jean de Dieu

Geosciences and Environment Research Laboratory (LARGEN), École
Normale Supérieure (ENS), Marien Ngouabi University, DRC

Watha-Ndoudy Noël

National Institute for Forestry Research (IRF), Brazzaville, DRC
Faculty of Science and Technology (FST),
Marien Ngouabi University, Republic of the Congo

Kimpouni Victor

National Institute for Forestry Research (IRF), Brazzaville, DRC
Geosciences and Environment Research Laboratory (LARGEN),
École Normale Supérieure (ENS), Marien Ngouabi University, DRC

Abstract

The aim this study is to determine the organic status of the soils in the Mayombe Forest in the Pouna-Dimonika, Malemba-Les Saras, Pilikondi-

Bilala and Kakamoeka sectors. The methodological approach adopted involved sampling soil using a soil auger, to a depth of 0–20 cm, at various sites within the study sectors, taking into account the toposequence (upper, middle and lower slopes) and the different land-use types (cassava, banana and pineapple plantations, forest, and young and old fallow land). The results show that the bulk density varies between 1.31 and 1.69, with significant differences observed between the study sectors, between topographical locations and between the different land-use types. The organic carbon and nitrogen contents, as well as carbon stocks, ranging from 0.88 to 1.36 per cent; 0.11 and 0.16 per cent and 29.53 and 35.39 t/ha, respectively, with higher levels recorded in the Pounga-Dimonika and Malemba-Les Saras sectors and the lowest in the Pilikondi-Bilala sector. Along the toposequence, the highest levels of organic carbon (1.38 per cent) and total nitrogen (0.15 per cent) were recorded at the top of the slope, whilst the lowest (1.06 per cent) were found on the middle and lower parts of the slope. Depending on land-use types, soils under banana, pineapple and cassava cultivation, and under mature forest, showed high levels of organic matter and total nitrogen, whilst soils under young and old fallow land were poorer. This study has provided insights into the organic fertility of soils in the Mayombe region. It should be continued by determining other physico-chemical parameters in order to better characterise the fertility status of these soils.

Keywords: Mayombe, organic matter, soil, toposequence, land-use types

Introduction

Le sol est une ressource indispensable pour l'humanité. Il présente des caractéristiques particulières, changeant d'un endroit à un autre en fonction du climat, matériaux originels et de la situation environnementale (Balesdent *et al.*, 2023). C'est une formation naturelle, superficielle à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques (Demolon, 1952). Le sol fournit un milieu dans lequel poussent les végétaux, stocke les gaz à effet de serre, l'eau et la chaleur. En plus, il favorise l'échange d'éléments nutritifs, ainsi que la régulation du cycle de carbone (Le Quere *et al.*, 2016). Par conséquent, la biomasse végétale qu'il renferme détermine les quantités et la nature du carbone organique influencées par l'activité anthropique. De ce fait, la matière organique joue aussi sur la quantité et la disponibilité des nutriments, le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), la structure et la porosité des sols (Boyer, 1982).

Les teneurs en carbone organique et en azote du sol ne sont pas seulement affectées par le climat, mais aussi par le mode d'usage des sols (Li

et al., 2011 ; Ge *et al.*, 2013). Une réduction si faible du carbone dans le sol provoque une diminution de sa capacité de rétention en eau, en teneur des éléments nutritifs et de stockage (Sombroek *et al.*, 1993). Les facteurs tels que la texture, le type d'écosystème, le climat et les pratiques agricoles contribuent à la transformation de la matière organique dans le temps (Boissezon, 1973 ; Sanchez *et al.*, 1982 ; Schjonning *et al.*, 1999 ; Rhoades *et al.*, 2000). Ils expliquent le type d'humus, la nature, l'agrégation et la porosité des horizons humifères (Humbel *et al.*, 1997). En conséquence, la température et l'humidité déterminent le type de végétation et la vitesse de décomposition des résidus organiques résultant de la transformation du sol (Sanchez *et al.*, 1982). Cependant, les conditions pédoclimatiques gardent une étroite relation avec l'inclinaison de la pente comme facteur indispensable pour le drainage interne et externe des sols, ainsi que le transfert des matières organiques.

Etant donné que la mise en culture s'accompagne souvent d'une modification défavorable des propriétés physiques et chimiques des sols (Mapangui, 1992), le problème du maintien de la fertilité des sols se pose lors de la mise en culture des terres agricoles (Bacaye, 1993).

Dans le Mayombe, en particulier, l'agriculture est pratiquée sur des terrains fréquemment abrupts, d'où les jachères de longue durée deviennent de plus en plus rares (Sénéchal *et al.*, 1989). Nonobstant, les techniques agricoles inadaptées utilisées provoquent une dégradation rapide, exigeant ainsi, une utilisation appropriée des sols (Pieri, 1989). Les études antérieures sur les zones de Dimonika et les Saras ne reflètent aucune connaissance nette sur l'évolution de la matière organique dans le Mayombe. A cet effet, la présente étude a pour but de déterminer le statut organique des sols du Mayombe (Congo).

Materiel et Methodes

Zone d'étude

Le Mayombe est situé au sud de la République du Congo jusqu'aux frontières du Cabinda et celles de la République Gabonaise, s'étendant vers la RDC. Il est constitué de quatre zones sélectionnées dans la forêt du Mayombe (Figure 1). Cette chaîne montagneuse, parallèle à la côte, dispose d'une superficie de 1,5 millions d'hectare (Jamet, 1979). Les altitudes varient entre 600 et 800 m dans la chaîne du mont Bamba. Le climat est tropical humide de type bas-congolais, avec une alternance entre les saisons sèche et fraîche. La pluviométrie annuelle moyenne est relativement faible, variant entre 1200 et 1600 mm (Samba-Kimbata, 1978 ; Hirsch, 2010). Les roches sont d'origine essentiellement schisteuse avec des intrusions de roches cristallines variées, composées majoritairement de granite et quartzite (Jamet et Rieffel, 1976). Ces sols sont ferrallitiques très évolués, cohabitant avec

ceux d'une pédogénèse récente (ferrisol) rajeunis par les érosions qui découpent les formations ferralitiques anciennes. Ces érosions jouent un rôle essentiel dans la texture et la limitation de l'épaisseur de ces sols (Brugière, 1962). Les caractéristiques de ces sols sont très hétérogènes, une texture principale sablo-argileuse (35 à 50 % d'argile) avec la présence fréquente d'un horizon caillouteux de 10 à 30 cm d'épaisseur et à profondeur variable (de 80 cm à 3 m). Ils ont une forte acidité avec un pH égal à 4, une réserve minérale très faible (environ 1 méq/100 g), une capacité d'échange cationique de 4 à 8 méq/100 g, et parfois supérieur dans l'horizon humifère (Namri, 1996).

Prélèvement des échantillons de sol

Les travaux de prospection de terrain ont été effectués sur 17 sites répartis en quatre secteurs suivants (Figure 1) :

- Secteur de Pounga-Dimonika, dans le Nord de la zone d'étude, comprenant les sites de Yacouba, Kibengué, Dimonika, Pounga et Doundou ;
- Secteur de Malemba-Les Saras, dans le Centre de la zone d'étude, comprenant les sites de Malemba, Kondé, Bifouni et les Saras ;
- Secteur de Pilikondi-Bilala, dans le Sud de la zone d'étude, comprenant les sites de Pilikondi, Lavemba, Loualou et Bilala ;
- Secteur de Kakamoeka, à l'Ouest de la zone, comprenant les sites de Kinanga 1, Kinanga 2, Kimbala et Mongola.

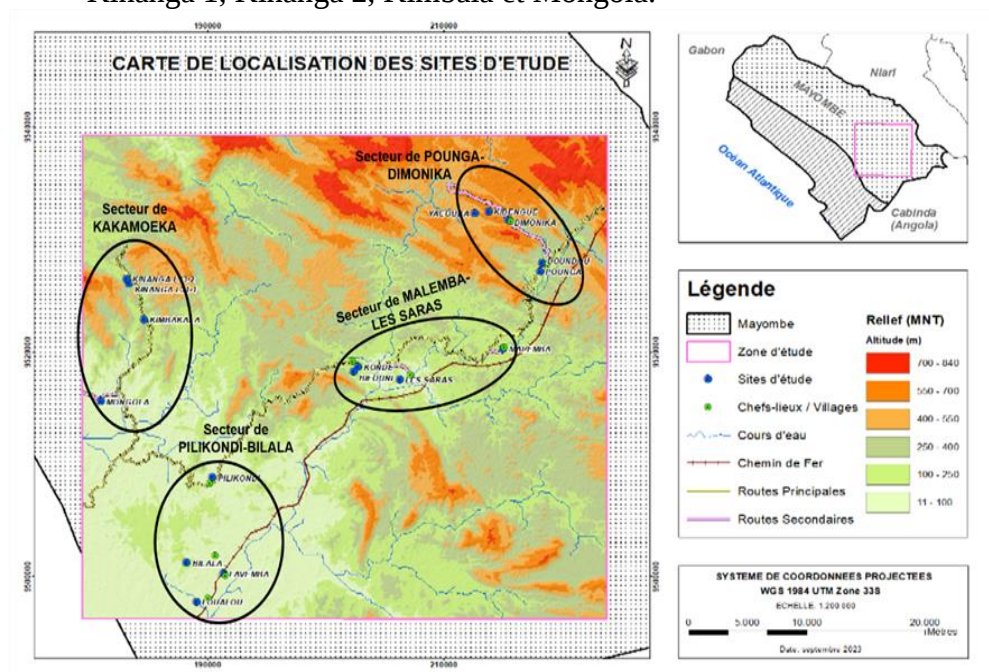


Figure 1 : Carte de localisation des secteurs de la zone d'étude

Dans chaque secteur, différents modes d'occupation du sol ont été identifiés ; il s'agit de :

- Forêt mature : forêt ne montrant pas de traces de dégradation ;
- Champs 1 : plantations âgées de 1 à 2 ans, où les sols sont utilisés essentiellement les cultures vivrières (manioc, bananier...) et cultures de rente (ananas) ;
- Champs 2 : plantations âgées de 3 à 7 ans et occupées par des cultures vivrières (manioc) et cultures de rente (ananas) ;
- Champs 3 : plantations âgées d'au moins 10 ans où on rencontre des cultures pérennes (vergers de safoutiers) ou les cultures de rente (ananas).
- Jachère 1 : jachère forestière âgée de moins de 10 ans ;
- Jachère 2 : jachère ancienne, âgée de plus de 10 ans.

Sur chaque site de prélèvement, des échantillons de sols ont été prélevés dans les fosses pédologiques ont été installées le long de la toposéquence : une fosse en haut de pente, à mi-pente et en bas de pente. Dans le souci de mieux caractériser la fertilité des horizons de surface, qui servent prioritairement à la nutrition minérale des plantes cultures, cinq prélèvements de sol ont été effectués à l'aide d'une tarière hélicoïdale, à une profondeur de 0 à 20cm, dont quatre prélèvements autour de la fosse et un prélèvement au centre de la fosse.

Les 4 échantillons de sol prélevés autour de la fosse ont été mélangés deux à deux pour constituer des échantillons composites. Ainsi, sur chaque site, on a eu 3 échantillons prélevés à la tarière, avec un total de 9 échantillons de sol par site et un total global de 153 échantillons prélevés à la tarière dans toute la zone d'étude.

Analyses physico chimiques de sol

Les échantillons soumis aux analyses physico-chimiques ont été séchés à l'air libre, et tamisés à 2 mm.

La densité apparente a été déterminée par la méthode du cylindre (C), selon la formule :

$$d_a = P/V \text{ (Audry } et al., 1973).$$

Avec :

P : poids sec de l'échantillon de sol,

V : volume de l'échantillon prélevé et séché.

Le dosage du carbone organique total a été réalisé avec la méthode Walkley et Black (1934) et celui de l'azote avec la méthode Kjeldahl (1883). Pour passer du carbone organique à la matière organique, le facteur de

conversion de 1,724 a été utilisé (Chotte *et al*, 2001). Ainsi, le stock de carbone représenté par **QC** (t/ha) est obtenu à partir de la formule suivante :

$$Q = C \times e \times da / 100,$$

Avec :

da : densité apparente ;

C : teneurs en carbone ;

E : épaisseur en cm de l'horizon du profil (Djegui, 1992).

Traitement statistique des données

Les données saisies sur Excel ont été traitées par le logiciel R. Le test de Sheirer-Ray-Hare a été réalisé pour tester les effets principaux. La comparaison des moyennes a été réalisée à partir du test post hoc non paramétrique de Dunn. Le logiciel QGIS a permis d'élaborer la carte de la zone d'étude.

Résultats et Discussion

Densité apparente

Selon la Figure 2, la densité apparente est significativement différente entre les secteurs ; les sols les plus denses ont été observés dans le secteur de Pilikondi tandis que les sols les moins denses se retrouvent dans le secteur Pounga-Dimonika. Les densités apparentes des différents secteurs d'études varient entre (1,31 et 1,69), indiquant des sols moyennement denses à fortement compactés. Le test non paramétrique de Scheirer-Ray-Hare, montre des différences significatives entre tous les secteurs (*p* value = 0,001). Les valeurs plus fortes ont été obtenues dans la zone de Pilikondi-Bilala (1,69) tandis que les densités les plus faibles ont été observées dans les sols du secteur Pounga-Dimonika (1,31), les sols des secteurs Kakamoeka (1,40) et Malemba-Les Saras (1,35) ayant des valeurs intermédiaires.

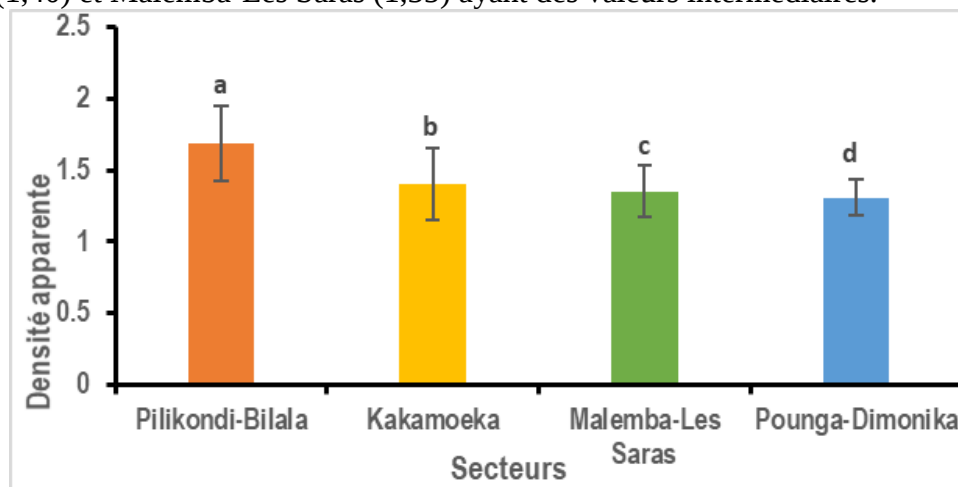


Figure 2 : Variation de la densité en fonction des secteurs d'étude

Le long de **toposéquence**, on observe les densités apparentes des sites variant entre 1,39 et 1,48, indiquant des sols modérément compactés (Figure 3). Le test non paramétrique de Scheirer-Ray-Hare, ne montre pas de différences significatives entre les situations topographiques (p value = 0,31).

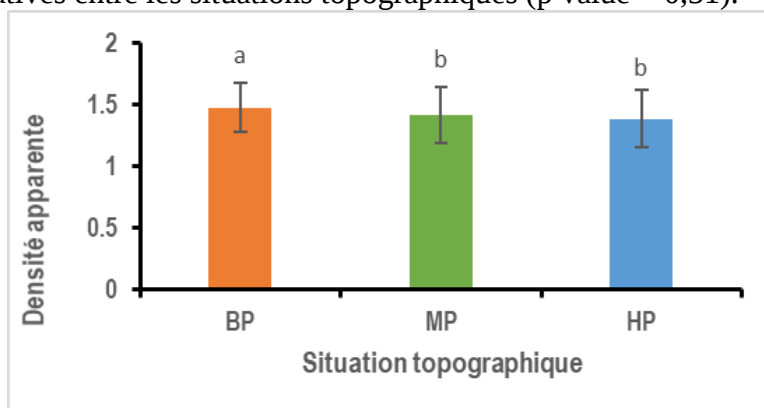


Figure 3 : variation de la densité apparente en fonction de la toposéquence (BP : bas de pente ; MP : mi-pente ; HP : haut de pente)

Selon le **mode d'occupation du sol**, les densités apparentes varient entre 1,26 et 1,64 (Figure 4), indiquant les sols moyennement denses à fortement compactés. Des différences significatives (p value = 0,01) ont été observées entre les différents modes d'occupation des sols par le test post hoc non paramétrique de Dunn. Les densités apparentes les plus élevées (1,64) ont été obtenues dans les sols sous jeunes jachères alors que les valeurs les plus faibles ont été observées dans les sols sous cultures de bananier (1,30) et d'ananas (1,26). Les sols sous anciennes jachère, sous plantations de manioc, sous vergers de safoutiers et sous forêt mature ont des densités apparentes intermédiaires qui varient entre 1,44 et 1,49 sans montrer des différences significatives.

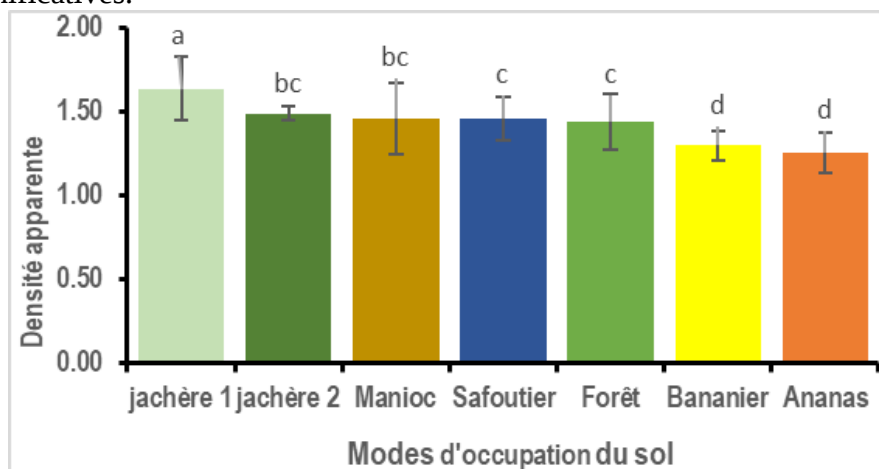


Figure 4 : Variation de la densité en fonction du mode d'occupation du sol

Variabilité du carbone organique dans le sol

Les teneurs en carbone organique varient dans *les secteurs d'étude* entre 0,88 et 1,36% (Figure 5), teneurs correspondant à 1,51 et 2,34% en matière organique et indiquant les teneurs faibles à moyennes dans le sol. Des différences significatives (p value=0,01) ont été observées entre les différents secteurs, par le test post hoc non paramétrique de Dunn. Les teneurs les plus élevées ont été obtenues dans les secteurs de Pounga-Dimonika (1,36%), Malemba-Les Saras (1,35%) et Kakamoeka (1,22%) sans montrer des différences significatives entre elles tandis que les teneurs en carbone organique les plus faibles (0,88%) ont été observées dans le secteur de Pilikondi-Bilala qui est significativement différent des autres secteurs.

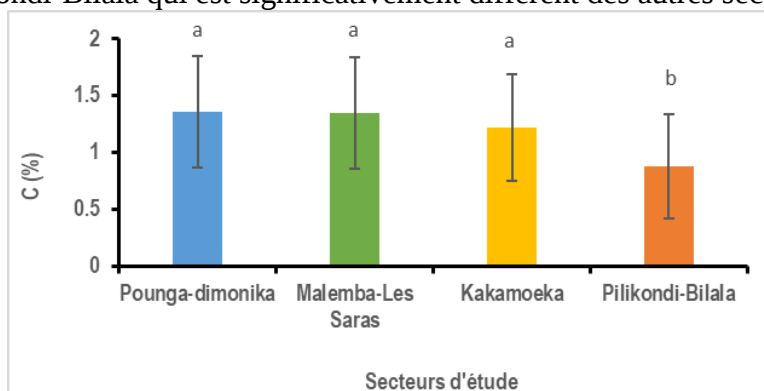


Figure 5 : Variation des teneurs en carbone organique en fonction des secteurs d'étude

Suivant la *toposéquence*, les teneurs en carbone organique varient entre 1,06 et 1,38% (Figure 6) et qui correspondent à 1,82 et 2,38% de matière organique. Indiquant les teneurs faibles à moyen dans le sol. Le test non paramétrique de Dunn, montre des différences significatives (p value=0,007). Les teneurs plus élevées sont observées en haut de pente (1,38%) alors que les plus faibles ont été obtenues en bas de pente (1,06%), et la mi-pente (1,19%) a présenté les teneurs intermédiaires.

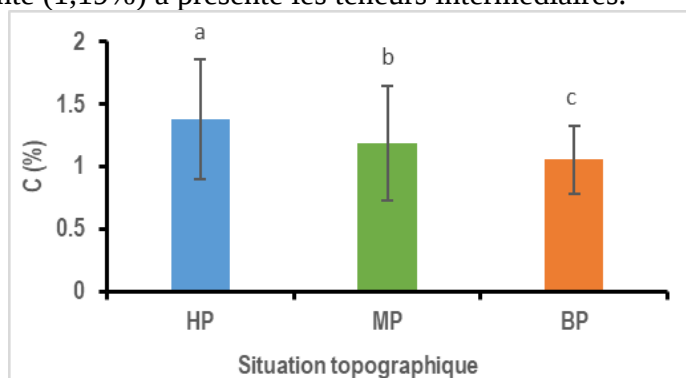


Figure 6 : Variabilité du carbone organique en fonction de la toposéquence (BP : bas de pente ; MP : mi-pente ; HP : haut de pente)

Sous **différents modes d'occupation de sol**, les teneurs en carbone organique varient entre 0,74 et 1,56% (Figure 7), équivalant à 1,28 et 2,69 % de matière organique. Ces valeurs indiquent des teneurs faibles à moyen de carbone organique dans le sol. Le test non paramétrique post hoc de Dunn, montre des différences significatives (p value=0,00002) entre les différents modes d'occupation de sol. Les teneurs en carbone organique les plus élevées sont obtenues dans les sols sous bananier (1,56%) et dans les sols sous ananas (1,49%) alors que la teneur la plus faible (0,74 %) a été obtenue sous jachère ancienne, âgée de plus de 10 ans. Les valeurs intermédiaires ont été obtenues dans les sols sous culture de manioc (1,27 %), sous forêt (1,22 %), sous safoutier (1,05 %) et sous la jeune jachère, âgée de moins de 10 ans (0,99 %).

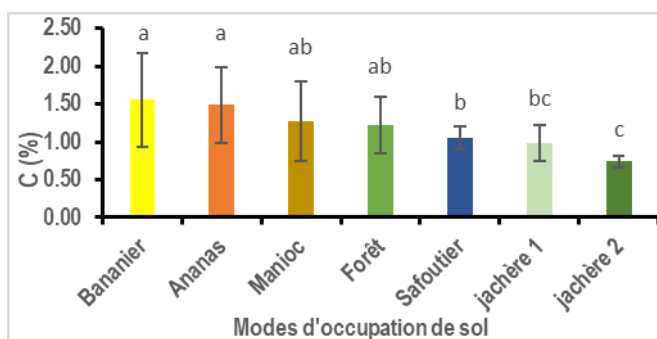


Figure 7 : Variabilité du carbone organique en fonction du mode d'occupation de sol

Variabilité de l'azote total dans le sol

La Figure 8 illustre les teneurs en azote qui varient entre 0,11 et 0,16 %, indiquant des teneurs faibles à moyennes dans le sol. Des différences significatives (p value=0,01) existent entre les différents secteurs, montrées par le test post hoc non paramétrique de Dunn. La teneur la plus élevée (0,16 %) a été observée dans le secteur de Malemba-Les Saras alors que les teneurs les plus faibles (0,11 à 0,12%) ont été observées respectivement dans les secteurs de Pilikondi-Bilala et de Kakamoeka qui ne sont pas significativement différents. Les sols du secteur de Pouna-Dimonika a présenté une teneur intermédiaire de 0,14%.

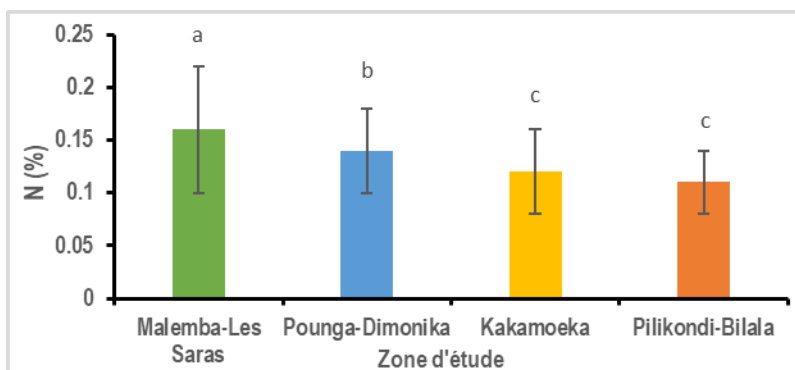


Figure 8 : Variation des teneurs en azote en fonction des secteurs d'étude

Le long de la toposéquence, les teneurs en azote total varient entre 0,13 et 0,15% (Figure 9), correspondant à des teneurs moyennes dans le sol. Des différences statistiques ont été observées (p value=0,05) entre les différentes positions topographiques. Les teneurs en azote total les plus élevées sont observées en haut de pente (0,15%) alors que les plus faibles (0,13%) ont été obtenues en mi et bas de pente.

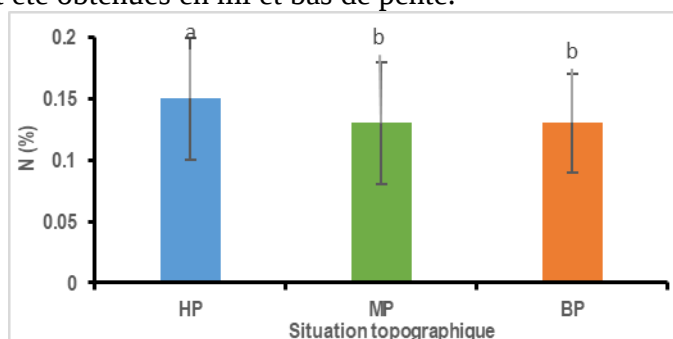


Figure 9 : Variabilité de l'azote en fonction de la toposéquence (BP : bas de pente ; MP : mi-pente ; HP : haut de pente)

Sous différents modes d'occupation des sols, les teneurs en azote total varient entre 0,06 et 0,15 % (Figure 10) et correspondent à des teneurs faibles à moyennes dans le sol. Des différences significatives (p value=0,00007) ont été observées entre les sols sous différentes cultures selon le test de comparaison post hoc de Dunn. Les teneurs moyennes en azote total sont similaires dans les sols sous cultures vivrières (bananier, ananas et manioc), sous la jeune jachère et sous la forêt où elles varient entre 0,14 et 0,15%. Sous culture pérenne de safoutier les teneurs en azote total sont légèrement plus faibles (0,13%). Sous jachère ancienne, les teneurs moyennes en azote total sont significativement plus faibles (0,06%) par rapport aux autres modes d'occupation des sols.

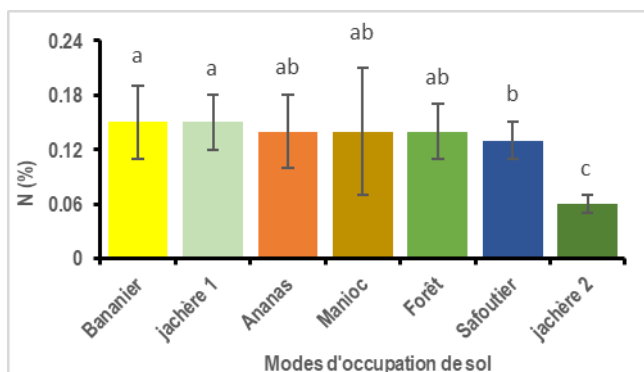


Figure 10 : Variabilité de l'azote en fonction du mode d'occupation de sol

Variabilité des stocks de carbone

Les stocks de carbone, en fonction des *secteurs d'étude* varient entre 29,53 et 35,39 t/ha (Figure 11). Le test non paramétrique post hoc de Dunn, montre des différences significatives (p value=0,01) entre les différents secteurs. Les secteurs qui ont séquestré plus de carbone sont ceux de Malemba-Les Saras (35,39 t/ha), Pouna-Dimonika (35,12 t/ha) et Kakamoeka (33,87 t/ha) sans montrer de différences statistiquement significatives. Par contre celui de Pilikondi-Bilala (29,53 t/ha) a moins séquestré le carbone et est significativement différent des autres secteurs.

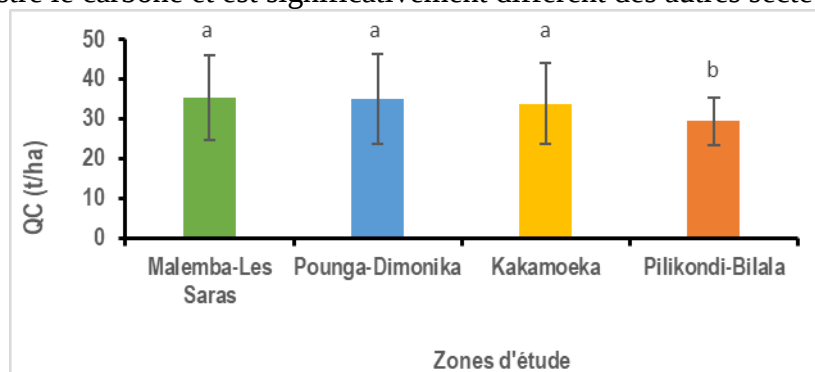


Figure 11 : variation du stock de carbone (QC) en fonction des secteurs d'étude

Suivant *la toposéquence*, les stocks de carbone varient entre 30,86 et 37,10 t/ha (Figure 12). Le test post hoc non paramétrique de Dunn montre des différences significatives entre les différentes positions topographiques (p value=0,05). Les stocks de carbone les plus élevées (37,10 t/ha) ont été observés en haut de pente alors que la mi-pente (32,76 t/ha) et le bas de pente (30,86 t/ha) ont obtenu les stocks les plus faibles, sans montrer de différences significatives.

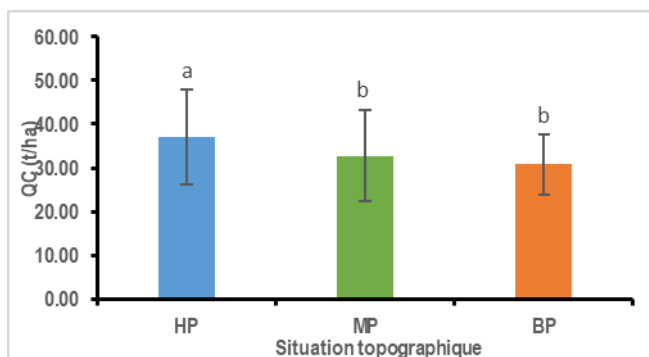


Figure 12 : Variabilité du stock de carbone en fonction de la toposéquence (BP : bas de pente ; MP : mi-pente ; HP : haut de pente)

Les quantités de carbone stockés dans les différents **modes d'occupation de sol** varient entre 22,05 t/ha et 39,89 t/ha (Figure 13). Des différences significatives ont été observées (p value= 0,02) entre les différents modes d'occupation de sol, selon le test post hoc non paramétrique de Dunn. Les stocks les plus élevés ont été séquestrés dans les sols sous culture de bananier (39,89 t/ha), ananas (36,74 t/ha) et manioc (35,48 t/ha) tandis que les stocks plus faibles ont été observés dans les sols sous jachère ancienne. Les stocks de carbone intermédiaires ont été obtenus dans les sols sous forêt (34,26 t/ha), sous jachère 1 (32,90 t/ha) et sous vergers de safoutier (30,33 t/ha).

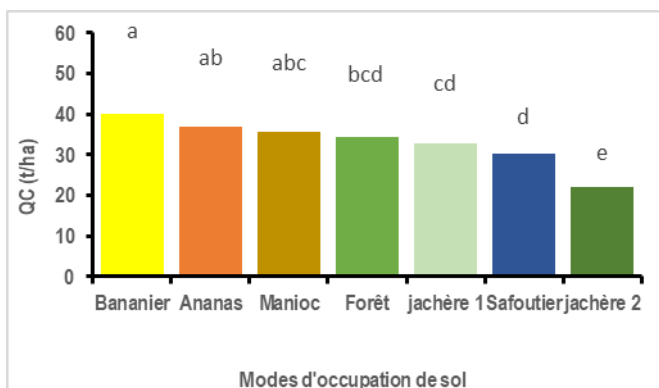


Figure 13 : Variabilité du stock de carbone en fonction du mode d'occupation de sol

Discussion

Caractéristiques physico-chimiques

Densité apparente en fonction des secteurs, toposéquence et mode d'occupation de sol

Les densités apparentes varient entre 1,31 et 1,69 dans les secteurs d'étude, indiquant des sols minéraux moyennement dense à fortement compactés. Les valeurs plus élevées dans le secteur de Pilikondi-Bilala alors

que les autres secteurs (Pounga-Dimonika, Kakamoeka et Malemba-Les Saras) ont des valeurs similaires. Cette variation de la densité apparente dans les différents secteurs serait attribuée à la nature et aux propriétés du sol telles que : la texture, l'humidité, la compaction et la teneur en matière organique (Chauvel, 1977 ; Boyer, 1982 ; Yoro, 1983 ; Masson, 2012 ; Alongo *et al.*, 2013 ; Soumoy, 2018). En effet, les sols fortement compactés de Pilikondi-Bilala ont une texture majoritairement sableuse et sont pauvres en matière organique (Lemercier *et al.*, 2017). Tandis que les autres secteurs ont des sols plus riches en éléments fins et en matière organique (Kouakou, 1981 ; FAO, 2014).

Selon la toposéquence, les densités les plus élevées ont été obtenues dans les sols en bas de pente et les plus faibles dans les sols en haut de pente. Cela serait dû aux teneurs en matière organique qui sont plus élevées en haut de pente par rapport au bas de pente (Yoro et Godo, 1990 ; Djegui, 1992 ; Well et Magdoff, 2004 ; Alongo *et al.*, 2013). De même, en fonction des modes d'occupation des sols, les densités les plus élevées sont observées dans les sols sous jachères alors que les sols sous cultures et sous forêt mature sont moins denses. Cette variabilité serait aussi liée à la richesse en matière des sols sous différents usages (Djegui, 1992 ; Well et Magdoff, 2004 ; Alongo *et al.*, 2013 ; Arvalis, 2018), en effet la densité apparente du sol a une variation inverse de la matière organique (Boa, 1990 ; Schroth, 1995 ; Harmand & Njiti, 1998). car, il existe une corrélation négative entre la densité apparente et la teneur en carbone du sol, un sol avec des teneurs faibles en matière organique se densifie plus facilement (Raoul, 1998).

Variation du carbone organique en fonction des secteurs, de la toposéquence et du mode d'occupation du sol.

En fonction des différents secteurs d'étude, les teneurs en carbone organique varient entre (0,88 et 1,36%), indiquant des sols faiblement à moyennement pourvus en cet élément (Boyer, 1982 ; Euroconsult, 1989 ; Doucet, 2006). Ce résultat corrobore à ceux de Nzila (1992) qui a trouvé des valeurs similaires dans les sols de la vallée du Niari en République du Congo, de Brugière (1962) et de Jamet (1969) qui ont obtenu des taux similaires dans le Mayombe. Les teneurs les plus élevées en carbone ont été obtenues dans les secteurs de Pounga-Dimonika (1,36 %), Malemba-Les Saras (1,35%) et Kakamoeka (1,22%). Ces teneurs élevées de carbone organiques seraient dues liées aux teneurs plus élevées en éléments fins (argiles et limons) par rapport à celles des sols du secteur de Pilikondi-Bilala qui sont pauvres en ces éléments (Boissezon, 1973 ; Feller *et al.*, 1991 ; Zihmann *et al.*, 2019). Les sols du secteur de Pilikondi-Bilala ont des teneurs moyennes en carbone (0,88%) significativement plus faibles par rapport aux autres secteurs qui ont des teneurs similaires. Cette différence s'expliquerait

par la texture sableuse, la pauvreté en matière organique et la faible capacité de rétention en eau des sols de Pilikondi (Nzila *et al.*, 2000 et 2002 ; Koutika *et al.*, 2014 ; Lemerrier *et al.*, 2017).

En fonction de la toposéquence les teneurs en carbone organique varient entre 1,06 et 1,38%, indiquant aussi les teneurs faibles à moyennes dans le sol. Des différences significatives ont été observées sur la toposéquence, avec des teneurs plus élevées en haut de pente (HP), tandis que les teneurs plus faibles ont été obtenues en bas de pente et la mi-pente (MP) des teneurs intermédiaires. La matière organique du sol a tendance à diminuer de la partie supérieure à la partie basse d'une toposéquence, suite à son accumulation en amont et de son lessivage vers l'aval (FAO, 2015). Cependant, des variations locales peuvent se manifester en fonction du type de sol, de la végétation, de la microtopographie et des pratiques agricoles, accumulant relativement cette dernière en amont, suite à une faible érosion et une meilleure aération, empêchant, ainsi le ruissellement et le lessivage en bas de pente de cette dernière (FAO, 2015 ; Bounouara, 2018, Baize, 2024).

En fonction du mode d'occupation de sol, les teneurs en carbone varient entre 0,74 et 1,56%, indiquant, aussi des teneurs faibles à moyennes (Boyer, 1982 ; Euroconsult, 1989 ; Doucet, 2006). Les différences observées entre les différents modes d'occupation de sol, montrent des teneurs en carbone organique plus élevées dans les sols sous cultures de bananier, ananas, manioc et sous forêt. Cela s'expliquerait à leur production importante de litière qui tombe au sol en l'enrichissant après les récoltes. Cette variation dépend donc de l'équilibre entre les apports au sol des résidus organiques et les pertes par minéralisation (Duchaufour, 1984). Au contraire, les sols sous culture du safoutier, sous jeune et vieille jachères ont des teneurs les plus faibles en carbone organique ; ceci s'expliquerait par les types de cultures et les retombées de litière couvrant mal les sols, ainsi que par l'intensité de la pente du terrain qui accentue l'érosion dans les sols nus (Mbemba-Makiza, 1984 ; Feller *et al.*, 1991 ; Schwartz, 1994 ; Bahri, 2006 ; Batjes, 2014).

Variation de l'azote total en fonction des secteurs, de la toposéquence et du mode d'occupation du sol.

En fonction des différents secteurs d'étude, les teneurs en azote varient entre 0,11 et 0,16%, indiquant des sols faiblement à moyennement pourvus en cet élément (Boyer, 1982 ; Euroconsult, 1989 ; Doucet, 2006). Les teneurs moyennes en azote sont significativement plus élevées dans les sols du secteur de Malemba-Les Saras alors que les sols des secteurs de Kakamoeka et de Pilikondi-Bilala ont des teneurs plus faibles, le secteur de Pounnga-Dimonika ayant une position intermédiaire. Les teneurs faibles en azote total s'expliqueraient par le niveau d'acidité des sols (Boyer, 1982)

d'une part et par la pauvreté de ces sols en matière organique et de la situation topographique qui contribue au lessivage des éléments minéraux résultant de la minéralisation des résidus organiques (Pieri, 1989 ; Feller, 1995 ; Recous *et al.*, 2020).

Le long de la toposéquence, les teneurs en azote total varient entre 0,13 et 0,15%, indiquant des teneurs moyennes dans le sol (Boyer, 1982 ; Euroconsult, 1989 ; Doucet, 2006). Des différences significatives ont été aussi observées, entre les teneurs les plus élevées observées en haut de pente et les plus faibles obtenues en mi-pente et bas de pente. Ces teneurs élevées en haut de pente seraient dues aux teneurs en matière organique plus élevée en haut de pente, car il existe un lien direct et proportionnel entre les teneurs en matière organique et en azote (Schwartz, 1994 ; Kara-Mitcho *et al.*, 2004).

En fonction du mode d'occupation de sol les teneurs moyennes en azote total varient entre 0,06 et 0,15%, indiquant des sols faiblement à moyennement pourvu en cet élément (Boyer, 1982 ; Euroconsult, 1989 ; Doucet, 2006). Des différences significatives ont été aussi observées les sols sous culture de bananier, sous jeune jachère, sous ananas, sous manioc et sous forêt qui ont des teneurs les plus élevées (Jamet, 1970), et les autres modes d'occupation du sol (jachères jeunes et anciennes) qui ont des valeurs les plus faibles. Ces différences seraient dues aux variations des teneurs en matière organique sous différents modes d'utilisation des sols (Pieri, 1989 ; Feller, 1995 ; Kara-Mitcho *et al.*, 2004).

Par ailleurs, le manque de différence significative entre les sols sous jeune jachère, sous ananas, sous manioc, sous forêt et sous safoutier serait à cause de l'homogénéité des facteurs pédoclimatiques et aux pratiques de gestion de sol identiques, ainsi qu'à la similarité de la production des résidus végétaux dans les sols et de leur nature chimique (Grandière *et al.*, 2007). Les teneurs en azote total plus faibles sous vieille jachère s'expliqueraient par ses teneurs plus faibles en matière organique, au type de végétation présente sur ce sol et aux phénomènes de lessivage et érosion, car l'azote minéralisé sous forme de nitrate est très soluble dans l'eau, ainsi que les particules fines riches en azote se transportent facilement par les eaux de pluie (Pieri, 1989 ; Feller, 1995 ; Bahri, 2006).

Variation des stocks de carbone en fonction des secteurs, de la toposéquence et des modes d'utilisation des sols

Dans les différents secteurs d'étude, les stocks de carbone ont varié entre 29,56 et 35,39 t/ha. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Namri (1996). Des différences significatives ont été observées dans la séquestration du carbone dans le sol entre les différents secteurs. Les secteurs de Malemba-Les Saras, de Pounnga-Dimonika et de Kakamoeka ont stocké

plus de carbone à cause de leurs textures de leurs sols, des teneurs élevées en matière organique et en éléments fins (Mbemba-Makiza, 1984 ; Feller *et al.*, 1991 ; Djegui, 1992), et ils n'ont pas montré des différences significatives entre eux, certainement à cause des conditions pédoclimatiques similaires et au même type de végétation, présente (Batjes, 2014). Au contraire, les sols du secteur de Pilikondi-Bilala ont significativement séquestré moins de carbone ; ceci serait dû à une texture majoritairement sableuse (Feller *et al.*, 1991 ; Well et Magdoff, 2004 ; Annabi *et al.*, 2009).

Les valeurs de stocks de carbone, le long de la toposéquence varient entre 27,57 et 41,60 t/ha, avec des différences significatives entre les différentes positions topographiques. Ces différences seraient dues à une influence de la topographie sur la répartition des formations végétales et aux retombées de litières (Namri, 1996). Le carbone a été plus séquestré en haut qu'en bas de pente par rapport à la mi-pente et en bas de pente qui ont des stocks de carbone similaires. Les stocks de carbone plus élevés en haut de pente seraient dus aux teneurs plus élevées en matière organique dans cette position topographique (Bounouara, 2018, Baize, 2024). Ces résultats corroborent ceux obtenus par Feller *et al.* (1991) et Mfoutou-Massala (2022).

Sous différents modes d'occupation des sols, les stocks de carbone varient entre 22,05 et 39,89 t/ha, avec des différences significatives entre différents modes d'occupation de sol. Les stocks de carbone les plus élevés ont été obtenus dans les sols sous culture de bananier, sous culture d'ananas, sous culture de manioc, sous forêt, sous jeune jachère et sous vergers de safoutier ; ceci serait dû certainement à une production importante des résidus végétaux (Annabi *et al.*, 2009). Les sols sous vieille jachère ont des stocks de carbone plus faibles, qui résulteraient des apports des résidus végétaux plus faibles et des faibles taux de minéralisation de ces résidus (Feller *et al.*, 1991 ; Batjes, 2014 ; Perin *et al.*, 2019). En effet, la quantité du carbone stocké dans le sol est principalement contrôlée par la gestion de la quantité et du type de résidus organiques qui entrent dans le sol et par la minimisation des pertes du carbone du sol (FAO, 2015 ; Perin *et al.*, 2019). La combinaison des facteurs naturels (végétation naturelle, facteurs pédoclimatiques) et facteurs anthropiques (modes d'occupation des terres, pratiques culturales) provoque une forte variabilité spatiale des stocks de carbone et tout bilan global ou suivi de leur évolution doit tenir compte de cette variabilité (Arrouays *et al.*, 1998 ; Batjes, 2014). Ce résultat est similaire à celui obtenu par Jamet (1970) qui a trouvé des taux de matière organique plus élevés dans les sols sous bananeraie 7% contre 3,5% dans les sols sous forêt.

Conclusion

La présente étude avait pour but de déterminer le statut organique des sols cultivés dans les écosystèmes forestiers du Mayombe. A partir des résultats obtenus, on peut noter les affirmations suivantes :

En fonction des densités apparentes, les sols du Mayombe se situent dans la catégorie des sols moyennement denses à fortement tassé. Les sols les moins denses se situent dans les secteurs de Pouna-Dimonika, de Malemba-Les-Saras et de Kakamoeka tandis que les sols les plus denses ont été observés dans le secteur de Pilikondi-Bilala. Selon la situation topographique, les sols situés en bas de pente ont des densités plus fortes que les sols situés en haut de pente. De même, les sols sous cultures de bananier et ananas ont présenté des densités apparentes plus faibles par rapport aux autres modes d'occupation de sols.

Les teneurs en carbone organique sont faibles à moyennes dans les sols des différents secteurs étudiés. Les teneurs en carbone organique les plus élevées ont été obtenues dans le secteur de Pouna-Dimonika (1,36 %) et les plus faibles dans les sols du secteur de Pilikondi-Bilala (0,88 %). Selon la situation topographique, les teneurs les plus élevées (1,38%) ont été obtenues en haut de pente et les plus faibles en bas de pente (1,06%), la mi-pente ayant observé les teneurs en carbone intermédiaires (1,19%). Les sols sous culture de bananier, de l'ananas, manioc, forêt ont obtenu les teneurs en carbone organique les plus élevées, respectivement (1,56 %, 1,49%, 1,27 % et 1,22 %) et ceux sous jeune et vieille jachère ont présenté les teneurs les plus faibles, respectivement (0,99 et 0,74 %). Le sol sous verger de safoutier a observé les teneurs intermédiaires.

Les teneurs moyennes en azote total les plus élevées ont été observées dans les sols du secteur Malemba-Les Saras et les plus faibles dans les sols des secteurs Kakamoeka et Pilikondi-Bilala, les sols du secteur de Pouna-Dimonika ayant présenté des valeurs intermédiaires. Le long de la toposéquence, les teneurs moyennes en azote total sont significativement différentes entre les positions topographiques. Les teneurs en azote les plus élevées ont été obtenues en haut de pente, tandis que les plus faibles ont été enregistrées dans les sols situés en bas de pente.

Les stocks de carbone les plus élevés ont été enregistrés dans les sols des secteurs de Malemba-Les Saras (35,39 t/ha), de Pouna-Dimonika (35,12 t/ha) et de Kakamoeka (33,87 t/ha), et les plus faibles dans les sols du secteur de Pilikondi-Bilala (29,53 t/ha). Suivant la toposéquence, les stocks plus élevés sont observés en haut de pente (37,10 t/ha) et les plus faibles en bas de pente (30,86 t/ha), avec des teneurs intermédiaires en mi-pente (32,76 t/ha). Les stocks des sols sous différents modes d'occupation de sols varient entre 22,05 t/ha et 39,89 t/ha. Les sols sous culture de bananier (39,89 t/ha), ananas (36,74 t/ha) et manioc (35,48 t/ha) ont plus séquestré le carbone, alors

que les stocks plus faibles ont été stockés dans les sols sous vieille jachère (22,05 t/ha), les valeurs de stocks de carbone étant intermédiaires dans les sols sous forêt (34,26 t/ha), sous jachères jeunes (32,90 t/ha) et sous vergers de safoutier (30,33 t/ha).

Malgré le relief tourmenté du Mayombe, les sols des secteurs étudiés présentent des propriétés physicochimiques qui les rendent aptes pour l'agriculture, notamment les sols des secteurs de Pounga-Dimonika, Malemba-Les Saras et Kakamoeka. Dans l'ensemble, les sols situés en haut de pente sont plus fertiles que ceux situés en mi ou bas de pente, ainsi que les sols sous forêt, sous cultures de manioc, de safoutier, d'ananas et de bananier sont plus riches que les sols sous jeunes et vieilles jachères.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Nos remerciements vont à l'endroit des personnes qui ont participé de près ou de loin pour la production de cet article. Cette reconnaissance s'adresse principalement au Laboratoire de Recherche en Géosciences et environnement (LARGEN) et à l'Institut National de Recherche Forestière (IRF) pour leur appui technique et financier.

References:

1. Alongo S., Kombele F., 2013. Evolution de la densité apparente et du rapport C/N du sol sous les variétés exotiques et locales de manioc dans les conditions naturelles de Kisangani (RDC), 15p.
2. Annabi M., Bahri H., Latiri K., 2009. Statut organique et respiration microbienne des sols du nord de la Tunisie, 14p.
3. Arrouays D., Bernoux M., Jolivet C., 1998. Spatialisation des stocks d'éléments dans les sols. Outils actuels et potentialités : cas du carbone organique. *Cahiers Agricultures*, 7 : pp. 347-356.
4. Arvalis- Institut du végétal, 2018. Couverts végétaux : effets variés sur le fonctionnement du sol, 2p
5. Audry P., Combeau A., Humbel F. X., Roose E., Vizier J. F., 1973. Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Bulletin de groupe de travail. ORSTOM. Bondy, multigr. 7p.
6. Bacye B., 1993. Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone Soudano-sahélienne, province du Yatenga (Burkina Faso). Thèse de doctorat. Université d'Aix- Marseille. 258p.

7. Bahri H., 2006. Lignin turnover kinetics in an agricultural soil is monomer specific. *Soil Biol. Biochem.*, 38, pp. 1977-1988.
8. Baize D., 2024. Le lessivage des argiles dans les sols luvisols et planosols, 10p.-304.
9. Balesdent J., Dambrine E., Fardeau JC., 2023. 80 clés pour comprendre les sols. Edition Quae, 159 p.
10. Batjes N. H., 2014. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 65 : pp. 4-21.
11. Boa D., 1990. Caractéristiques morphologiques des gravillons ferrugineux sur le bassin versant de BoroBorotou. *Agronomie africaine*, 2 : pp 83-94.
12. Boissezon P., 1973. Les matières organiques des sols ferrallitiques. *In : Les sols ferrallitiques*, Tome 1. Orstom, Paris, 9-66.
13. Bounouara Z., 2018. Origine et évolution de la matière organique dans les sols des zones sub humides (cas de la région de Skikda, Algérie). Thèse, Université Batnai, 149p.
14. Boyer J., 1982. Les sols ferrallitiques. Facteurs de fertilité et utilisation des sols, Tome X. Paris, ORSTOM, I. D. T. 52, 396 p.
15. Brugière J.M., 1962. La connaissance des sols dans le Mayombe, la vallée du Niari et le Massif du chaillu. Leur mise en valeur. ORSTOM, 35p.
16. Chauvel A., 1977. Recherche sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance. Thèse, université de Strasbourg. ORSTOM, Paris. *Coll. Trav. et Doc.*, n° 62, 532p
17. Chotte J. L., Duponnois R., Cadet P., Adiko A., Villenave C., Agboba C., Brauman A., 2001. Jachère et biologie du sol en Afrique trop. In Floret Ch. et Pontanier R. (eds), pp. 85-121.
18. Demolon A., 1952. Guide pour l'étude expérimentale du sol. 2^e édition,
19. Djegui N., 1992. Matière organique et azote dans les sols cultivés sur terres de barre (Benin). Thèse. Institut national polytechnique de Toulouse. Montpellier, 208p. Doctorat, Université Aix-Marseille III, 175 p + Annexes.
20. Doucet R., 2006. Le climat et les sols agricoles. Ed. Berger, Eastman, Québec, xv, 443 p.
21. Duchaufour D., 1984 : Abrégé de pédologie. La terre, les eaux et l'atmosphère par le bureau des longitudes, 63p.
22. Euroconsult, 1989. Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics. Elsevier, New York, 740 p.

23. FAO, 2014. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), pp 10-14
24. FAO, 2015. The Global Forest Resources Assessment, How are the world's forests changing? Rome, The Food and Agriculture Organization of the United Nations pp 2-6.
25. Feller C., François C., Villemin G., Portal J.-M., Toutain F., Morel J.-L., 1991. Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 312, Série II : pp1491-1497.
26. Feller C., 1995. La matière organique du sol et la recherche d'indicateur de la durabilité des systèmes de culture dans les régions tropicales semi-arides et subhumides d'Afrique de l'Ouest, 11p.
27. Ge S., Xu H., Ji M., Jiang Y., 2013. Characteristics of Soil Organic Carbon, Total Nitrogen, and C/N Ratio in Chinese Apple Orchards. *Open Journal of Soil Science*, 2013 (3): pp 213-217.
28. Grandière I, Razafimbelo T, Barthès B, Blanchart E, Louri J, Ferrer H, Chenu C, Wolf N, Albrecht A, Feller C., 2007. Distribution granulo-densimétrique de la matière organique dans un sol argileux sous semis direct avec couverture végétale des Hautes Terres malgaches. *Etude et Gestion des Sols*, 14(2), pp 117- 133.
29. Harmand J. & Njiti C., 1998. Effets des jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière. In *Agriculture et développement*, 18 : pp 221- 223
30. Humbel F.-X., Muller J.-P., Rieffel J.-M., 1977. Quantités de matières organiques associées aux sols du domaine ferrallitique au Cameroun. *Cab. Orstom, sér.Pédol.*, vol. XV, n° 3: pp 259-274.
31. Jamet R., 1970. Le village coopératif de Banga (Mayombe occidental). ORSTOM, 26p.
32. Jamet R. et Rieffel JM., 1976. Notice explicative n°65 : carte pédologique du Congo à 1/200000, feuille de Pointe-Noire, feuille de Loubomo. France, ORSTOM, p167. ORSTOM, n° 26, Paris, ORSTOM, 458p.
33. Jamet R., 1979. Etude pédologique des environs de Dimonika (Mayombe) avec carte au 1/200.000. ORSTOM. Brazzaville, 78p.
34. Kara-Mitcho A. E., Parisod J. F., Neyroud J. A. 2004. Le potentiel de minéralisation de l'azote du sol ; *Revue suisse Agric.* 36 (6) : pp. 259-264.
35. Kjeldahl J., 1883. Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpen. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22, 366-382.
36. Kouakou K., 1981. Etude de la dynamique actuelle d'un sol ferrallitique sous jachère de 3 ans, sous jachère de 20 ans et sous forêt

- en basse Côte d'Ivoire. Rapport de stage (ENSA d'Abidjan). ORSTOM, Adiopo-Doumé, 16 p., militigr.
37. Koutika L.S., Epron D., Bouillet J.P., Mareschal L., 2014. Changes in N and C concentrations soil acidity and P availability in tropical mixed Acacia and Eucalypt plantations on nutrient-poor sandy soil. *Plant and soil* 379, pp. 205-216.
 38. Lemerrier B., Laroche B., Armand R., Chafchafi A., Detriché S., Ducommun C., Jalabert S., Lehmann S., 2017. Guide d'utilisation des bases de données sol pour la production de cartes thématiques, 112p.
 39. Li P., T. L. Zhang, C. Y. Jiang and Y. P. Che., 2011. Discrepancy in Response of Rice Yield and Soil Fertility to Long-Term Chemical Fertilization and Organic Amendments in Paddy Soils Cultivated from Infertile Upland in Subtropical China. *Agricultural Sciences in China*, Vol. 10, No. 2, pp. 259-266.
 40. Mapangui A., 1992. Etude de l'organisation et du comportement de sols ferrallitiques argileux de la vallée du Niari (Congo). Conséquences sur l'évolution physique sous culture de manioc pp 4-6
 41. Masson J. C., 2012. Comprendre la formation et la fertilité des sols. 5p.
 42. Mbemba-Makiza A, 1984.- Contribution à l'évolution de la matière organique dans différents écosystèmes du Congo. Thèse doct. ing. INPL, Nancy, 182 p.
 43. MFoutou-Massala D. D., 2022. Caractérisation des pratiques culturales, des propriétés morphologiques et physicochimiques des sols sous cultures vivrières dans le secteur de Mandou (vallée du Niari, Congo). Mémoire. 75p.
 44. Namri M. M., 1996. Les stocks de carbone des sols du Congo ; bilan spatial et recherche des facteurs de répartition. Mémoire de Maîtrise, Univ. Luis Pasteur. U.F.R. de Géographie. 120p.
 45. Nzila J.D., 1992. Etude des transformations structurales et physico-chimiques d'un sol ferrallitique acide de la Vallée du Niari (Congo) soumis à la pratique de l'écobuage. Thèse, Université Paris XII - Val de Marne, 190 p.
 46. Nzila J.D., Bouillet J.P., Laclau J.P., Ranger J., 2000. Slash management effect on tree growth and soil fertility in a young Eucalyptus replanted site in the Congo. In : Abstracts of International Symposium on Managing Forest Soils for Sustainable Productivity. 18-22 September 2000. Vila Real – Portugal, pp. 18-22.
 47. Nzila J.D., Bouillet J.P., Laclau J.P., Ranger J., 2002. The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth in *Eucalyptus* plantations in the Congo. *Forest Ecology and Management*, 171, 209-

221. Perin S. A., Duparque A., Mouny J.C., Clivot H., Mary B., Trochard R., 2019. Systèmes de culture innovants. Evaluer l'évolution du statut organique des sols. Perspectives agricoles N° 466, 5p.
48. Pieri C., 1989. Fertilité des terres des savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement agricole au sud du Sahara. Ministère de la coopération et CIRAD-IRAT. Paris, Documentation Française., 444p.
49. Raoul M.R., Nair P.K.R. & Ong C.K., 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 38 : pp 3-50.
50. Recous R., Chabbi A., Vertes F., Thiébeau P., Chenu C., 2020. Fertilité des sols et minéralisation de l'azote : sous l'influence des pratiques culturales, quels processus et interaction sont impliqués, 10p.
51. Rhoades C. C., Eckert G. E., Coleman D. C., 2000. Soil carbon differences among forest agriculture and secondary vegetation in lower montane Ecuador. *Ecological Applications*, 10 : pp 497-505.
52. Samba-Kimbata M. G., 1978. Le climat du bas Congo. CRC, Dijon de 3^e cycle, 280p.
53. Sanchez P. A., Gichuru M.-P., Katz L.B., 1982. Organic matter in major soils of Tropical and Temperate regions. In *Non-Symbiotic Nitrogen Fixation and Organic Matter in the Tropics*. Trans. 12th Intern. Congr. Soil Sei. (New Delhi 8-16 fév. 1982): pp 99-114.
54. Schjonning R., Thomsen I. K., Moberg J. P., De jonge H., Kristensen K., Christensen B. T., 1999. Turnover of organic matter in differently textured soils: I. Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma*, 89 : pp 177-198.
55. Schroth G., 1995. Tree root characteristics as criteria for species selection and systems design in agroforestry. *Agroforestry Systems*, 125-143
56. Schwartz D., 1994. Les retombées de litière en tant que source du carbone et de l'azote du sol. Quantification et périodicité des apports en relation avec les caractéristiques climatiques et édaphiques dans deux parcelles de forêt dense à Dimonika (Mayombe, Congo), 19 p.
57. Sénéchal J., Kabala M., Fournier F., 1989. Revue des connaissances sur le Mayombe. PNUD/UNESCO. Rep. Populaire du Congo (Ministère de la Recherche Scientifique et de l'environnement), 20p.
58. Sombroek W., Nachtergaele F. O., Hebel A., 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22 (7) : pp 417-426.

59. Soumoy, R., 2018. Le strip-till végétal : effets sur les propriétés physico-chimiques du sol. Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain, 28p.
60. Walkley A. and Black I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic Carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*: 251-263p
61. Well R.R. & Magdoff F., 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. In : Soil organic matter in sustainable agriculture. Boca Raton, FL, USA: CRC Press long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. Am.*
62. Yoro G., 1983. Contribution à l'étude de caractérisation de la structure. Identification et évolution des paramètres structuraux de deux types de sols du nord-ouest de la Côte-d'Ivoire. Incidences agronomiques. Thèse, doct. Ingénieur, université d'Abidjan, 279 p.
63. Yoro G., Godo G., 1990. Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. Cah. *ORSTOM*, sér. Pédol., vol. XXV, n°4, pp. 423-429.