

Analyse diachronique des éléments minéraux dans les sols sous les agroforêts après deux cycles de culture de bananiers au plateau des Batéké en République Démocratique du Congo

Jean Christian BANGATA Bitha nyi Mbunzu^{1*}, Severin ELEMU Enindjo² Abel NTOMBI Mwen Mutsindu², Syntyche BITHA Gende¹, Francklin NGWIBABA Ansuele¹, Patrick MOBAMBO Kitume Ngongo¹

⁽¹⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Département de phytotechnie. BP 117 Kinshasa XI (RDC). E-mail : jeanchristian.bangata@unikin.ac.cd

⁽²⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Département de Géosciences. BP 190 Kinshasa (RDC).

Reçu le 13 septembre 2023, accepté le 17 novembre 2023, publié en ligne le 30 décembre 2023

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v6i4.11>

RESUME

Description du sujet. La régénération des sols pauvres par les systèmes sylvo-bananiers constituent un souci majeur dans la zone agricole de Kinshasa et ses environs.

Objectifs. L'étude vise à faire une analyse diachronique des éléments minéraux dans les sols sous les agroforêts après deux cycles de culture de bananiers au Plateau des Batéké afin d'évaluer l'influence des agroforêts sur le degré de la fertilité du sol dans le temps.

Méthodes. Après avoir géoréférencé les échantillons de sols collectés, les analyses ont été effectuées au laboratoire de l'Université Kongo (UK). Le Système d'Information Géographique dans son module « géostatistique, précisément par Krigeage », a servi pour traiter les propriétés observées de façon discontinue dans l'espace Géographique (en un point).

Résultats. Après deux cycles culturaux de bananiers soit 4 ans après, les essences suivantes ont respectivement contribué aussi bien à la réduction de l'acidité qu'à l'augmentation des teneurs en éléments minéraux du sol sous études : *Milletia laurentii* (soit 100 % de contribution); *Pterocarpus indicus* Willd (87,5 %); *Maesopsis eminii* Engl. (75 %); *Terminalia superba* Anglais. & Diels (75 %) ; *Eugenia malaccensis* L. (75 %); *Persea americana* Miller (62,5 %); *Acacia auriculiformis* Benth (50 %); *Lanea welwitshii* (Hiern) Engl (50 %); *Dacryodes edulis* (D.Don) H.J.Lam (50 %) et *Mangifera indica* L. (50 %).

Conclusion. Il apparaît de manière claire que les essences ci-après peuvent être retenues et recommandées en systèmes sylvo-bananiers : *Milletia laurentii*; suivi respectivement de *Pterocarpus indicus* Willd; *Maesopsis eminii* Engl.; *Terminalia superba* Anglais. & Diels; *Eugenia malaccensis* L. et *Persea americana* Miller, en mettant un accent particulier sur *Milletia laurentii* De Willd. et *Pterocarpus indicus* Willd.

Mots-clés : Agro-forêts, évolution, fertilités, sols, Kinshasa.

ABSTRACT

Diachronic analysis of mineral elements in soils under agroforests after two cycles of banana cultivation on the Batéké Plateau in Democratic Republic of Congo

Description of the subject. The regeneration of our poor soils by sylvo-banana systems is a major concern in the agricultural zone of Kinshasa and its surroundings.

Objective. To carry out a diachronic analysis of mineral elements in soils under agroforests after two cycles of banana cultivation on the Batéké Plateau in order to assess the influence of agroforests on the degree of soil fertility over time.

Methods. After georeferencing the collected soil samples, analyses were carried out in the laboratory. The Geographic Information System's "geostatistics" module was used to process properties observed discontinuously in geographic space (at a single point).

Results. After two banana cropping cycles, i.e. 4 years later, the following species respectively contributed to both the reduction of acidity and the increase in mineral element content of the soil under study. *Milletia laurentii* (100% contribution); *Pterocarpus indicus* Willd (87.5 %); *Maesopsis eminii* Engl. (75 %); *Terminalia superba* Anglais. & Diels (75 %); *Eugenia malaccensis* L. (75 %); *Persea americana* Miller (62.5 %); *Acacia*

auriculiformis Benth (50 %); *Lanea welwitshii* (Hiern) Engl (50 %); *Dacryodes edulis* (D.Don) H.J.Lam (50 %) and *Mangifera indica* L. (50 %).

Conclusion. It is clear that the following species can be selected and recommended for use in silvobanana systems: *Milletia laurentii*; followed respectively by *Pterocarpus indicus* Willd; *Maesopsis eminii* Engl; *Terminalia superba* Angl. & Diels; *Eugenia malaccensis* L. and *Persea americana* Miller, with particular emphasis on *Milletia laurentii* De Willd. and *Pterocarpus indicus* Willd.

Keywords: Agro-forests, evolution, fertility, soils, Kinshasa.

1. INTRODUCTION

La banane plantain représente un des aliments de base en zone tropicale humide et en particulier en Afrique. Sur le plan du commerce mondial des fruits, la banane occupe la 2^{ème} place après les raisins (Lescot, 2006; Singh, 2011). En République Démocratique du Congo (RDC), le plantain constitue actuellement le 3^{ème} produit vivrier après le manioc et le maïs, tandis que les bananes représentent les fruits les plus importants du pays, soit 1/3 de la production fruitière totale (Mobambo, 2002; Onautshu, 2013). Les principales zones bananières sont les régions forestières notamment, le grand Equateur, la grande province Orientale et le Maniema (Onautshu, 2013). On en trouve aussi d'une façon localisée dans le Mayombe au Kongo-Central (Mobambo *et al.*, 2010).

Cependant, si le bananier constitue l'une des sources d'aliments les plus importants sous les tropiques, sa culture est par contre plus laborieuse (Swennen et Vuylseke, 2001; Bangata et Mobambo, 2022) ; en effet, le bananier craint le vent violent. Les averses posent des dégâts énormes aux bananiers (Tra *et al.*, 2011). Pour en réduire l'intensité, il est souhaitable d'installer la bananeraie dans un endroit abrité, sinon, il faut absolument tuteurer les plants. Le bananier est aussi une plante très exigeante en ce qui concerne la fertilité du sol (Rishirumuhirwa, 1993). Sa culture exige un sol riche en éléments minéraux et en matières organiques (Bernhard-Reversat et Tchibinda-Pemo, 1988). Parmi les éléments minéraux, la Potasse et l'Azote sont ceux qui sont requis en plus grande quantité (Bangata et Mobambo, 2022).

En outre, la richesse du sol en humus est l'un des facteurs déterminants de la production du bananier (Ngo-Sammick *et al.*, 2011). Ainsi, les sols forestiers lui conviennent particulièrement, d'où les effets bénéfiques du paillage (Ouattara N'Klo *et al.*, 2010; Meunier *et al.*, 2011). Quant aux propriétés physiques du sol, le bananier exige un sol léger bien drainé et profond (Alphonse, 2004 ; Mobambo *et al.*, 2010). D'une manière générale, les sols de la région de Kinshasa sont à dominance sableuse avec une proportion variable mais faible en limons et argiles (Nsombo, 2016), il s'agit des sols fragiles. Ils sont très sableux, donc particuliers et constitués d'éléments libres entre eux; peu enrichis en humus et en matières organiques, lesquels assurent la

réserve nutritive des plantes et donnent au sol une certaine cohésion mais, très pauvres en éléments minéraux (Lele, 2016).

La conséquence de la pauvreté du sol en éléments minéraux sur le bananier est le faible rendement de celui-ci et le déclin rapide de sa production ne dépassant pas trois cycles de culture (Dhed'adjailo *et al.*, 2011), tel est le problème qui se pose dans toute la province de Kinshasa. L'objectif de cette recherche est de faire une analyse diachronique des éléments minéraux dans les sols sous les agro-forêts après deux cycles de culture de bananiers au plateau des Batéké afin de voir si le sol s'est retrouvé enrichi après 4 ans d'installation.

L'intérêt de cette étude réside dans la mise à la disposition des agriculteurs des informations sur les techniques appropriées permettant d'exploiter les espèces forestières enrichissantes du sol. Ceci leur permettrait de maximiser leurs bénéfices dans la méthode sylvo-bananière dans les conditions écologiques du Plateau des batéké.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

Pour réaliser ce travail, les matériels suivants ont été utilisés : un GPS pour géoréférencer les échantillons de sols prélevés et un logiciel ArcGIS pour le traitement des données au laboratoire.

2.2. Méthodes

La réalisation de ce travail a nécessité le recours à plusieurs méthodes, dont les descentes sur le terrain, les analyses au laboratoire, la Géostatistique et le Référentiel d'Interprétation des résultats au laboratoire. Les descentes ont permis de prélever 36 échantillons composites de sol afin de déterminer les teneurs éléments minéraux. En plus des échantillons, ces descentes ont permis de prélever les coordonnées géographiques (latitude, longitude et altitude) afin de les visualiser spatialement.

L'Analyse au laboratoire de l'Université Kongo (UK) a permis d'analyser les différents échantillons prélevés sur le terrain. L'analyse a commencé par la destruction de la matière organique par oxydation avec de l'eau oxygénée suivie de l'attaque à l'acide chlorhydrique et d'un lavage à l'eau distillée pour la

destruction d'éventuel calcaire et la désagrégation des ciments notamment ferrique pour les sols tropicaux, qui lient les fractions granulométriques. La séparation des différentes classes s'effectue par sédimentation gravitaire et séparation au moyen de la pipette de Robinson – Köhn, après dispersion de la suspension colloïdale à l'aide d'un 36 réactif dispersant (l'hexameta phosphate de sodium) pour les fractions fines (< 50 µm), et par tamisage pour les fractions supérieures.

L'azote a été dosé par la méthode Kjeldahl qui a consisté en une minéralisation à l'acide sulfurique (H₂SO₄), en présence du sulfate de potassium (K₂SO₄), pour augmenter la température d'ébullition de l'acide sulfurique ; et d'un catalyseur (à l'instar du sulfate de cuivre (CuSO₄)). Une distillation par entraînement à la vapeur s'en est suivie et enfin une titration par l'acide chlorhydrique (HCl) 0.05 N en présence de l'ammonium (NH₄) a fait office d'indicateur.

Le pH os pH ore a été dosé au spectrophotomètre d'absorption atomique par la méthode de Olsen dans un rapport sol/ solution d'extraction de Olsen de 1:10. La quantité finale du pH os pH ore de l'échantillon analysé est obtenue par la formule suivante : $P = (P_{sol} - P_{contrôle}) * (V_{solvant}) / p_{éch}$. où, P = quantité de pH os pH ore présent dans l'échantillon (mg/kg ou ppm) P_{sol} = concentration du pH os pH ore dans d'extrait du sol (µg/ml) P_{contrôle} = concentration du pH os pH ore dans la solution test (contrôle) V_{solvant} = volume du solvant (ml) p_{éch} = poids de l'échantillon (g)

Le potassium, le calcium et le magnésium ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique en utilisant l'extrait de Mehlich 3 qui est composé d'acide acétique (C₂H₄O₂) 0,2N, de nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) 0,25 N, de fluorure d'ammonium (NH₄F) 0,015N, d'acide nitrique (HNO₃) 0,013N et d'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) (C₁₀H₁₆N₂O₈) 0,001M. **La CEC** a été mesurée par spectrophotométrie d'absorption atomique après percolation dans une solution d'acétate d'ammonium (C₂H₃O₂NH₄) 1M à pH 7.

Le carbone organique a été dosé selon la méthode de Walkley et Black qui a consisté d'abord en une oxydation par voie humide, par le dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) en présence de l'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré, puis en un titrage de bichromate de potassium en excès par le sulfate ferreux (FeSO₄) en présence d'un indicateur d'oxydoréduction, le diphénylamine.

Pour ce qui est de l'estimation des stocks de carbone dans le sol, la formule utilisée dans ce travail est une adaptation de celle proposée par Aynekulu *et al.* (2011). Elle se présente comme suit : Dans laquelle : 37 SCoS = stock de carbone organique du sol (en kg/m²) C = concentration de carbone telle que dosée au laboratoire (en %) DA = densité apparente du sol de l'horizon concerné (g/Cm) Ep = épaisseur de l'horizon concerné (cm) Le pH a été mesuré dans l'eau distillée dans un rapport sol/eau de 1:2 (poids/volume), après une agitation magnétique et un temps d'équilibrage de 10 minutes. La densité apparente a été calculée selon le principe masse (g) sur volume (cm³) par ajout d'eau à une quantité de sol sec pesée et contenue dans un volume connu.

La Géostatistique : en plus des analyses au laboratoire, nous avons recouru aux Système d'Information Géographique dans son module « géostatistique », qui est une branche de la statistique adaptée à l'estimation spatiale de propriétés du milieu physique. Elle traite les propriétés observées de façon discontinue dans l'espace géographique (en un point, sur une petite surface). La méthode d'Interpolation par Krigeage a été utilisée à cet effet. Elle est une méthode d'interpolation applicable à des données spatiales qui consiste à estimer la teneur ponctuelle de la variable étudiée en des sites non échantillonnés.

Référentiel d'interprétation des résultats du laboratoire : Afin d'interpréter les résultats du laboratoire et de les présenter géographiquement, plusieurs ouvrages et articles afin d'établir un référentiel ont été consultés. Le référentiel pour les variables utilisées est présenté dans le tableau 1 à 5 :

Tableau 1. Le Potentiel d'Hydrogène

Classe de réaction du sol	pH eau
Extrêmement acide	< 4,5
Très fortement acide	4,5 – 5,0
Fortement acide	5,1 – 5,5
Moyennement acide	5,6 – 6,0
Faiblement acide	6,1 – 6,5
Neutre	6,6 – 7,3
Faiblement alcalin	7,4 – 7,8
Moyennement alcalin	7,9 – 8,4
Fortement alcalin	8,5 – 9,0
Très frtement alcalin	> 9,0

Source : Agriculture et agroalimentaire Canada. Système d'information sur les sols du Canada. http://sis.agr.gc.ca/siscan/glossary/reaction_soil.html

Tableau 2. Potassium, Magnésium et calcium

Appréciation	Teneurs en éléments (g/kg de terre fine)		
	K	Mg	Ca
Faible	< 0,02	< 0,01	< 0,03
Moyen	0,02 à 0,06	0,01 à 0,03	0,03 à 0,07
Satisfaisant	0,06 à 0,08	0,03 à 0,04	0,07 à 0,12
Elevé	0,08 à 0,1	0,04 à 0,05	0,12 à 0,15
Très élevé	> 0,1	> 0,05	> 0,15

Tableau 3. Azote (Pam Hazelton et Brian Murphy, 2016)

Appréciation	Teneur N(%)
Très Faible	< 0,05
Faible	0,05 à 0,15
Moyen	0,15 à 0,25
Elevé	0,25 à 0,50
Très élevé	> 0,5

Tableau 4. Pentoxyde de phosphore (P₂O₅)

Appréciation	Teneur P ₂ O ₅ (g/kg)
Teneur faible	0,05 à 0,08
Teneur correcte	0,08 à 0,1
Teneur élevée	0,1 à 0,15
Teneur très élevée	>0,15

Tableau 5. La capacité d'échange Cationique (CEC)

Appréciation	Teneur CEC (méq/100g)
Très faible	< 5
Faible	5 à 10
Moyen	10 à 25
Forte	25 à 40
Très fort	> 40

Pam Hazelton et Brian Murphy, (2016)

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

La distribution partielle de la teneur en pH est présentée dans figure 1 ci-dessous.

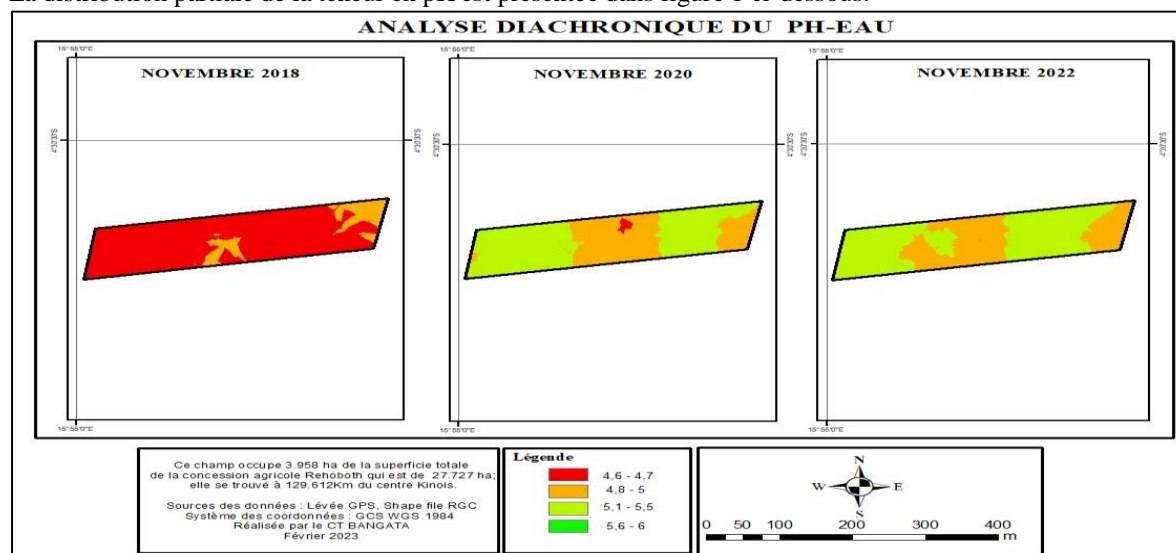


Figure 1. Distribution partielle de la teneur en pH

La figure 1 ci-dessus montre que le sol échantillonné en 2018 avant la plantation, était acide voir très acide car il avait des valeurs de pH inférieure à 5,5 corroborant ainsi les travaux de Kasongo (2010), effectués dans la même zone.

Cette acidité s'explique par le fait que selon Brady et Weil (2008) et Amando *et al.* (2001), le substrat sableux filtrant affecte directement le degré d'acidité du sol en présence, suite au lessivage des cations basiques échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ et Na⁺) et leur remplacement par les ions acidifiant H⁺ ou Al³⁺. En 2018, la zone ayant un pH la plus faible soit un pH compris entre 4,5 et 4,6 couvrait 3,3 hectares soit 87,7 % de la superficie totale. Deux ans plus tard, la superficie occupée par le pH compris entre 4,5 et 4,6 était de 0,033 hectare soit 0,85 % de la surface totale. En 2020, soit 4 ans après la surface de sol avec un pH compris entre 4,5 et 4,6 couvrait 0,0003 hectare soit 0,008 % de la superficie totale. Le sol mise en étude avait sensiblement était rendu moins acide avec de pH compris entre 5,6 et 6 couvrant 2,34 hectares soit 60,9 % de la surface totale. Environ 39 % autres ont été couverts par les zones ayant un pH de 5,5 soit une superficie de 1,5 hectare. Les espèces ayant contribué plus à la réduction de l'acidité du pH sont : *Eugenia malaccensis* L, *Lanea welwitshii* (Hiern) Engl. ; *Pterocarpus indicus* Willd ; *Dacryodes edulis* (D.Don) H.J.Lam ; *Milletia laurentii*, *Maesopsis eminii* Engl. et *Mangifera indica* L.

3.2. Potassium

La distribution partielle de la teneur en potassium est présentée dans figure 2 ci-dessous.

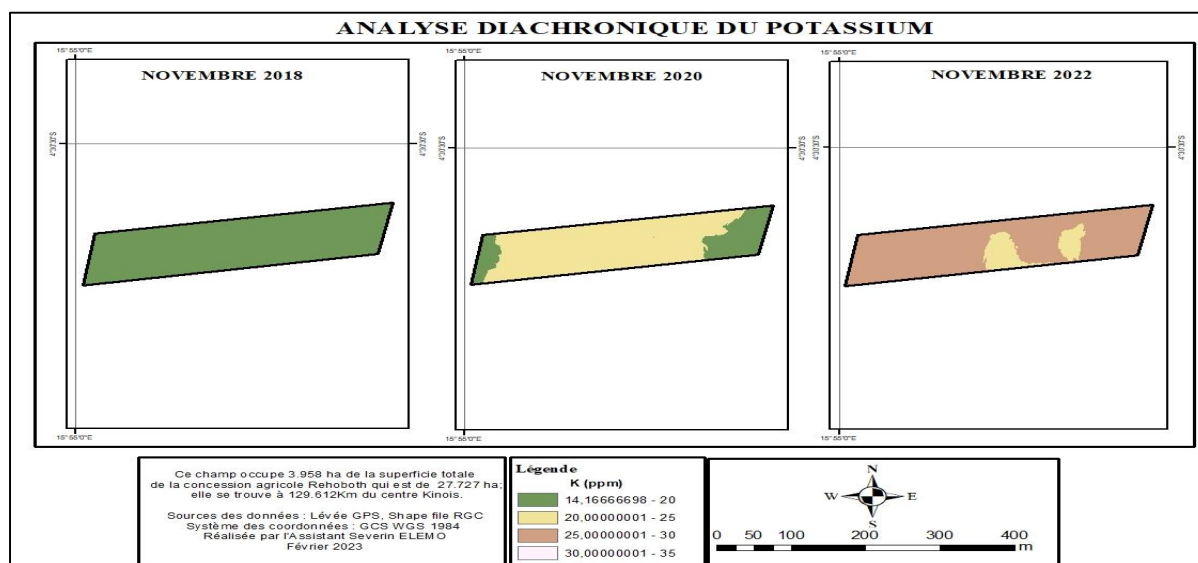


Figure 2. Distribution spatiale de la teneur en Potassium

Sur la figure 2 ci-dessus, il s'observe que le sol échantillonné en 2018, soit avant la plantation, était complètement caractérisé par des teneurs en Potassium comprise entre 14,17 et 20 ppm. En 2020, soit pendant l'installation, deux grandes classes sont observées. D'un côté, il est remarqué une grande concentration du Potassium dont le seuil varie entre 14,16 à 20 ppm avec une superficie de 3 ha ce qui représente 77,7% de la superficie totale et d'un autre, une zone marquée par la présence du Potassium avec un seuil allant de 20 à 25 ppm, soit avec une superficie de 3 ha soit 77,7% de la superficie totale.

A ces observations s'ajoutent les observations des essais effectués après la plantation. De ces essais, il ressort que presque toute la zone d'étude, 3,43 ha, soit 87,4% de la surface étudiée sont occupées par de teneurs en Potassium allant de 25 à 30 ppm est que seulement 0,49 ha soit 12,6% sont occupés par une teneur dont la fourchette est entre 20 à 25 ppm. Les espèces ayant contribué plus à l'augmentation de la teneur en Potassium sont *Acacia auriculiformis* Benth ; *Persea americana* Miller ; *Pterocarpus indicus* Willd ; *Milletia laurenti* et *Maesopsis eminii* Engl.

3.3. Magnésium

La distribution partielle de la teneur en Magnésium est présentée dans figure 3 ci-dessous.

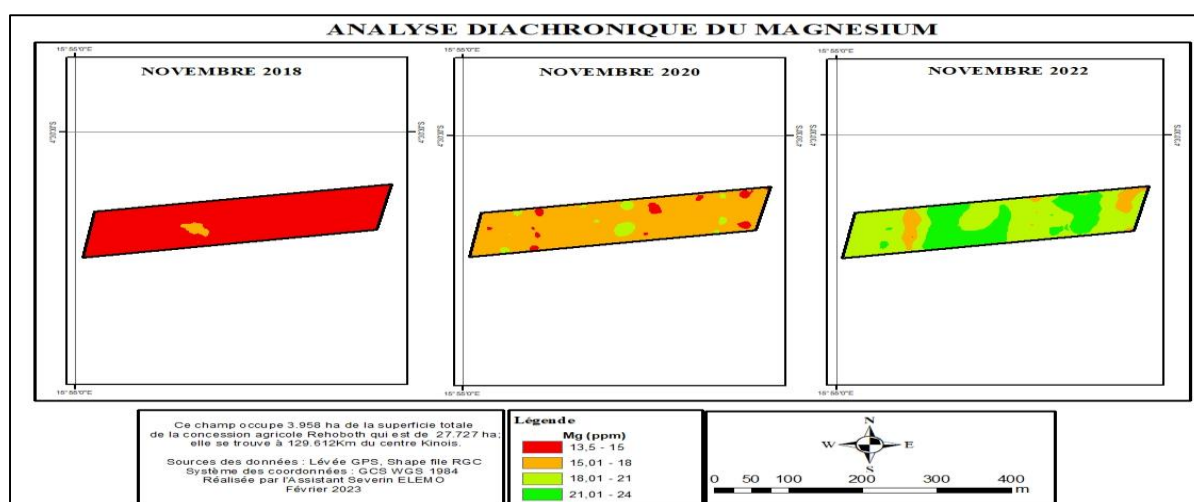


Figure 3. Distribution spatiale de la teneur en Magnésium

De la distribution spatiale présentée ci-haut (figure 3), il apparaît que les sols (avant expérimentation) dont la teneur en Magnésium est comprise entre 13,5 à 15 ppm en 2018, occupe 98,1% du milieu d'étude soit 3,82 ha et que 1,9 % soit les 0,07 ha restant sont occupés par des teneurs allant de 15,01 à 18 ppm. En 2020, au cours de

l'essai, la distribution spatiale du Magnésium est répartie en 3 groupes dont les teneurs en Magnésium sont de 13,5 ppm à 21ppm. Le premier occupe une superficie de 0,09 ha, soit 2,5 % et a une teneur en Magnésium allant de 13,5 à 15 ppm occupant 0,09 ha soit 2,5 %, le deuxième de 15,01 ppm à 18 ppm occupant 3,63 ha, soit 93,5 % et le troisième groupe est compris entre 18,01 à 21 ppm, avec une superficie de 0,16 ha soit 4,07 % de la superficie totale. Les espèces ayant contribué à l'augmentation de la teneur en Mg sont : *Acacia auriculiformis* Benth. ; *Persea americana* Miller; *Terminalia superba* Anglais. & Diels ; *Gmelina arborea* Roxb. ; *Dacryodes edulis* (D.Don) H.J.Lam ; *Pterocarpus indicus* Willd ; *Milletia laurentii*.

3.3. Calcium

La distribution partielle de la teneur en calcium est présentée dans figure 4 ci-dessous.

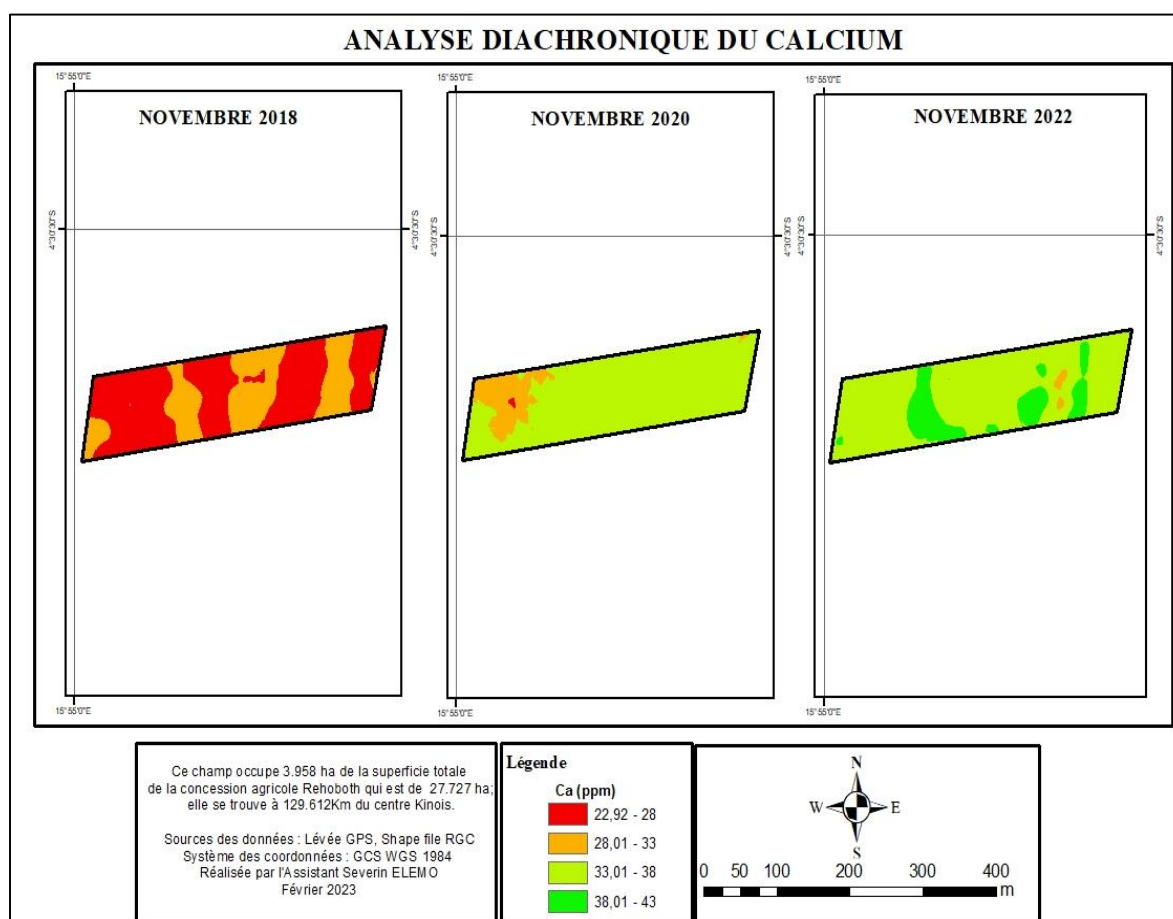


Figure 4. Distribution spatiale de la teneur en calcium

Il ressort de cette figure qu'en 2018 soit avant la plantation, 70,6% du milieu d'étude soit une superficie de 2,7 ha était marquée par une teneur allant de 22,92 à 28 ppm en Calcium et que deux ans après et ce, pendant l'installation, presque toute la zone d'étude était marquée par teneurs allant de 33,01 à 38 ppm occupant ainsi une superficie de 2,9 ha.

Le 1,1 ha restant sont occupés par un sol dont la teneur en Calcium est de 28,01 à 33 ppm. En 2022, il s'observe trois classes en termes de teneur en Calcium.

Comme on sait le voir, nous avons une première classe qui a une teneur comprise entre 28,01 et 33 ppm représentant que 0,66% de la superficie totale, la deuxième classe avec une teneur comprise entre 33,01 et 38 ppm représentant 82,03 % de la superficie totale et la troisième classe dont la teneur est comprise entre 38,01 et 49 ppm représente 17,3% de la superficie totale. Les essences ayant plus contribué à l'augmentation de la teneur en calcium sont : *Dacryodes edulis* (D.Don) H.J.Lam ; *Milletia laurentii*; *Acacia auriculiformis* Benth ; *Persea americana* Miller ; *Terminalia superba* Anglais. & Diels ; *Gmelina arborea* Roxb. ; *Eugenia malaccensis* L.

3.4. L'Azote

La distribution partielle de la teneur en azote est présentée dans figure 5 ci-dessous.

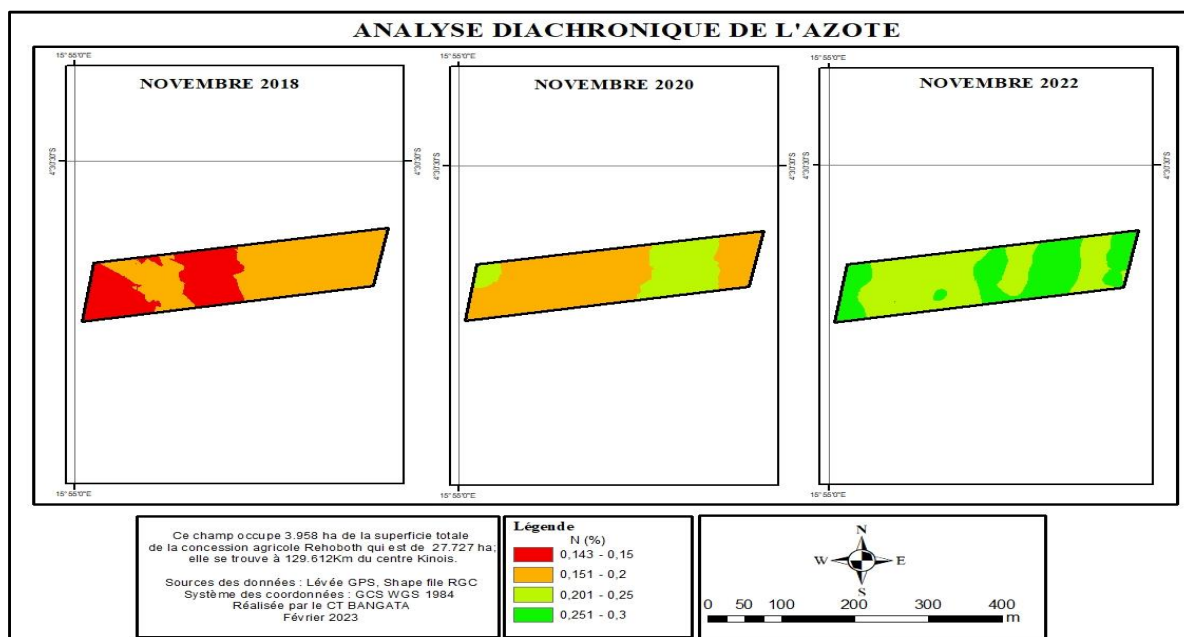


Figure 5. Distribution spatiale de la teneur en l'Azote

Sur cette figure qui présente la distribution spatiale de la teneur en Azote, il s'en dégage qu'en 2018, 35,25 % de la zone sous étude a une teneur de 0,14 à 0,15 % et que 71 % occupe une teneur allant de 0,151 à 0,2 %. Sur la carte du milieu qui présente les teneurs en 2020, 71 % de la zone a une teneur allant de 0,15 à 0,2 % en azote et 29 % sont occupés par un sol dont la teneur est de 0,2 à 0,25 %. En 2022, il s'observe que des teneurs allant de 0,2 à 0,25 % occupent 2,25 ha soit 57,2% et que les 1,68 ha restant sont occupés des seuils en Azote allant de 0,25 à 0,3 %.

Les essences ayant plus contribué à l'augmentation de la teneur de l'azote sont : *Acacia auriculiformis* Benth ; *Milletia laurentii*; *Persea americana* Miller; *Mangifera indica* L. ; *Terminalia superba* Anglais. & Diels ; *Inga edulis* Mart ; *Pterocarpus indicus* Willd., *Maesopsis eminii* Engl. et *Eugenia malaccensis* L.

3.4. Le Phosphore

La distribution partielle de la teneur en Phosphore est présentée dans figure 6 ci-dessous.

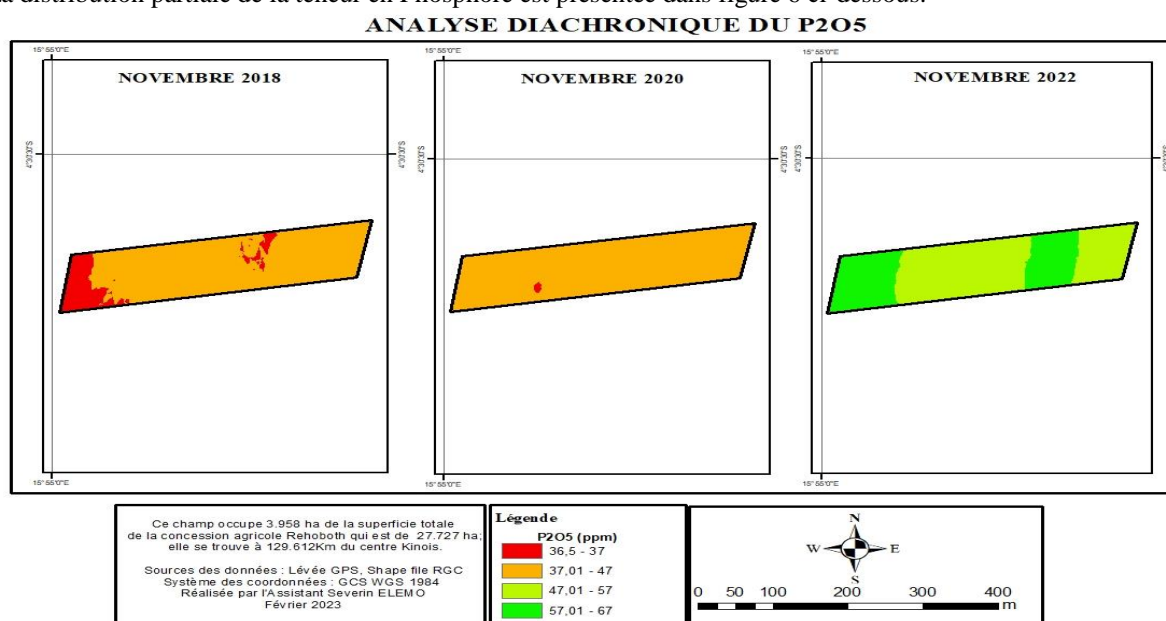


Figure 6. Distribution spatiale de la teneur en Phosphore

La distribution spatiale en phosphore est présentée dans la figure 6. Sur celle-ci on sait observer qu'en 2018 soit avant l'Essai, 0,5 ha (12,55 %) seulement ont une teneur de 36,5 à 37 ppm et 3,47 ha (87,4%) ont une teneur allant de 31,01 à 47 ppm. Toutefois, cette teneur prend une plus grande proportion en 2020 car, il s'observe 99,6 % soit 3,8 ha sur les 4 ha étudiés qui se caractérise par une teneur allant de 37,01 à 47 ppm contre à peine 0,02 ha soit 0,42 % de la zone qui est marquée par une teneur allant de 36,5 à 37 ppm. En 2022 par contre, il s'observe des teneurs plus élevées avec les 2,43 ha (61,9%) qui sont marquées par des teneurs allant de 47,01 à 57 ppm et les 1,5 ha (38,01%) restant qui sont marquées par teneurs allant de 57 à 67 ppm. Les essences ayant plus contribué à l'augmentation de la teneur du phosphore sont : *Lanea welwitshii* (Hiern) Engl. ; *Maesopsis eminii* Engl. ; *Eugenia malaccensis* L. ; *Pterocarpus indicus* Willd ; *Milletia laurentii* et *Inga edulis* Mart.

3.5. La capacité d'échange Cationique (CEC)

La distribution partielle de la teneur en Capacité d'échange Cationique est présentée dans figure 7 ci-dessous

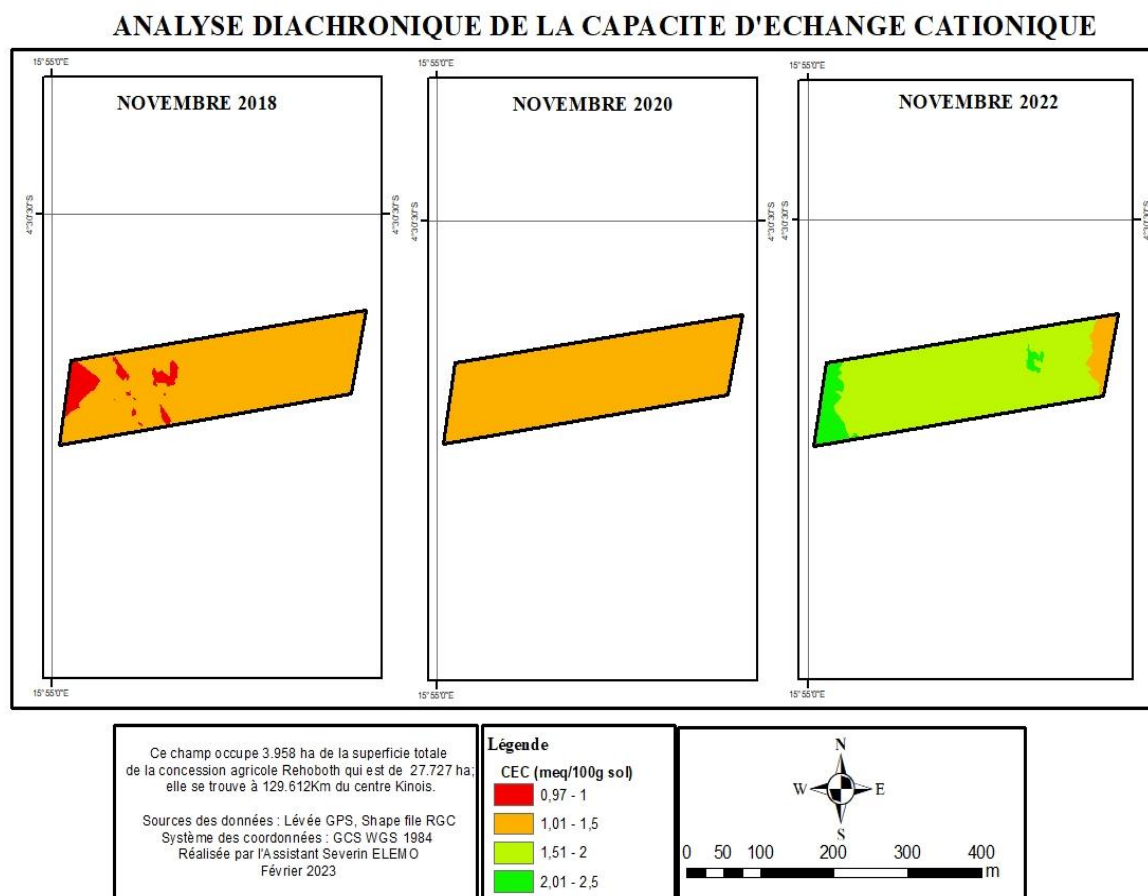


Figure 7. Distribution Spatiale de la Capacité d'échange Cationique

La figure 7 visualise la distribution spatiale de la teneur en capacité d'Echange Cationique. Il en ressort ce qui suit :

-En 2018, rien que 0,27 ha ce qui représente 6,7 % de la superficie totale de la zone sous étude est caractérisée par une teneur allant 0,91 à 1 meq/100g sol et que les 3,65 ha soit 93% de la superficie restante est marquée par des teneurs allant de 1,01 à 1,5 meq/100g sol.

-En 2020, il est remarqué que la totalité de la zone d'étude est sujette à des teneurs allant de 1,01 à 1,5

-En 2022, soit après enrichissement, la situation se présente de telle sorte qu'il peut s'observer que

86,89% (3,19 ha) sont occupés par des seuils allant de 1,51 à 2 meq/100g de sol et que 7,67% (0,19 ha) sont occupés par des teneurs allant de 2,01 à 2,5 meq/100g de sol.

Les essences ayant plus contribué à l'augmentation de la teneur de la Capacité d'échange Cationique sont : *Eugenia malaccensis* L. ; *Milletia laurentii* ; *Pterocarpus indicus* Willd ; *Terminalia superba* Anglais. & Diels ; *Dacryodes edulis* (D.Don) H.J.Lam ; *Maesopsis eminii* Engl. ; *Lanea welwitshii* (Hiern) Engl. et *Mangifera indica* L.

3.8. Le Carbone

La distribution partielle de la teneur en Carbone est présentée dans figure 8 ci-dessous

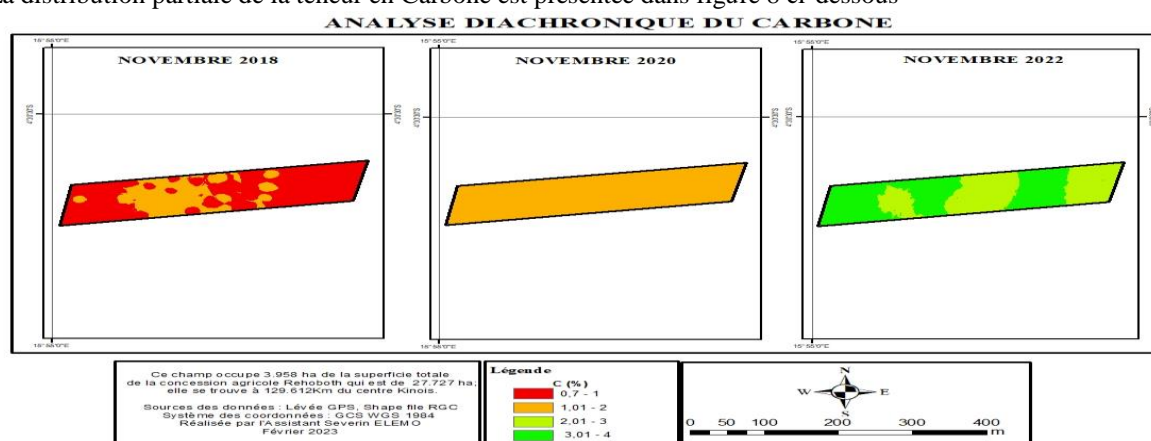


Figure 8. Distribution Spatiale du Carbone

Partant des observations faites dans la figure 8 sur la distribution spatiale des teneurs en Carbone, il est à remarquer qu'en 2018, 2,74 ha soit 70,6 % sont occupés par une teneur en Carbone allant de 0,7 à 1 % et que les 29,4% restants sont occupés par une teneur en carbone allant de 1,01 à 2 %. Il est à remarquer qu'en 2020, la quasi-totalité de l'espace étudié est caractérisé par une teneur allant de 1,01 à 2%. En 2022 par contre, il s'observe deux grandes répartitions. L'une a une superficie de 1,76 ha soit 45,5 % et est caractérisée par des teneurs en carbone

allant de 2,01 à 3 % et l'autre avec une superficie de 2,11 ha soit 54,6 % qui est caractérisée par des teneurs comprises entre 3,01 à 4 %.

Les essences ayant plus contribué à l'augmentation de la teneur du Carbone sont : *Pterocarpus indicus* Willd ; *Milletia laurentii* ; *Persea americana* Miller ; *Terminalia superba* Anglais. & Diels ; *Gmelina arborea* Roxb. ; *Lanea welwitshii* (Hiern) Engl. ; *Maesopsis eminii* Engl. ; *Eugenia malaccensis* L et *Mangifera indica* L.

Tableau 6. La contribution de chaque essence dans l'augmentation de la fertilité du sol

N°	Espèces	pH	K	Mg	Ca	N	P	CEC	C	%
1	<i>Acacia auriculiformis</i> Benth	0	1	1	1	1	0	0	0	50,0
2	<i>Dacryodes edulis</i> (D.Don) H.J.Lam	1	0	1	1	0	0	1	0	50,0
3	<i>Eugenia malaccensis</i> L.	1	0	0	1	1	1	1	1	75,0
4	<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	0	0	1	1	0	0	0	1	37,5
5	<i>Inga edulis</i> Mart	0	0	0	0	1	1	0	1	37,5
6	<i>Lanea welwitshii</i> (Hiern) Engl.	1	0	0	0	0	1	1	1	50,0
7	<i>Maesopsis eminii</i> Engl.	1	1	0	0	1	1	1	1	75,0
8	<i>Mangifera indica</i> L.	1	0	0	0	1	0	1	1	50,0
9	<i>Milletia laurentii</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	100,0
10	<i>Persea americana</i> Miller	0	1	1	1	1	0	0	1	62,5
11	<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	1	1	1	0	1	1	1	1	87,5
12	<i>Terminalia superba</i> Anglais. & Diels	0	0	1	1	1	1	1	1	75,0

Au regard du tableau 6, il se dégage que *Milletia laurentii* a contribué dans la réduction de l'acidité du sol et dans l'augmentation de la teneur de tous les éléments fertilisants évalués (100%), suivi de *Pterocarpus indicus* Willd avec 87,5%. Par contre, les espèces les moins performantes sont *Gmelina arborea* Roxb. et *Inga edulis* Mart qui ont contribué chacune à la hauteur de 37,5% des éléments minéraux évalués au cours de cette étude.

D'une manière générale, les observations faites sur les résultats obtenus révèlent que toutes les espèces utilisées ont contribué à l'amélioration de la texture du sol. Cependant, leur forte contribution dans l'apport de la forte teneur en éléments minéraux et/ou la diminution de l'acidité (amélioration du pH) se présente respectivement de la manière suivante : *Milletia laurentii* (pH, C, N, CEC, P₂O₅, K₂O, Mg et Ca); *Pterocarpus indicus* Willd (pH, C, N, CEC, P₂O₅, K₂O et Mg); *Maesopsis eminii* Engl. (pH, C, N, CEC, P₂O₅ et K₂O); *Terminalia superba* Anglais.

& Diels (C, N, CEC, P₂O₅, Mg et Ca) ; *Eugenia malaccensis* L. (pH, N, C, CEC, P₂O₅, Ca); *Persea americana* Miller (C, N, K₂O, Mg et Ca); *Acacia auriculiformis* Benth (N, K₂O, Mg, Ca); *Lanea welwitschii* (Hiern) Engl (pH, C, CEC, P₂O₅); *Dacryodes edulis* (D.Don) H.J.Lam (pH, CEC, P₂O₅, Mg et Ca); *Mangifera indica* L. (pH, C, N, CEC) ; *Inga edulis* Mart en C, N, P₂O₅, K₂O) ainsi que *Gmelina arborea* Roxb. (C, Mg, Ca).

Ces résultats sont susceptibles d'apporter une bouffée d'oxygène aux différents producteurs de bananier en RDC en général et en particulier à ceux de la ville de Kinshasa car les exportations en éléments minéraux d'une récolte de 25 tonnes/ha de bananes sont de 17 à 28 kg d'azote, 6 à 7 kg de P₂O₅ et 56 à 78 kg de K₂O.

4. CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif de faire une analyse diachronique des éléments minéraux dans les sols sous les agroforêts après deux cycles de culture de bananiers au plateau des Batéké afin d'évaluer l'influence des agroforêts sur le degré de la fertilité du sol dans le temps. A l'issue de deux cycles de culture, soit 4 ans après, les essences ayant contribué aussi bien à la réduction de l'acidité du pH du sol qu'à l'augmentation des teneurs des éléments minéraux du sol sous études améliorant ainsi sa fertilité sont : *Milletia laurentii* (soit 100 % de contribution avec (pH, C, N, CEC, P₂O₅, K₂O, Mg et Ca); *Pterocarpus indicus* Willd (87,5 % avec pH , C, N, CEC, P₂O₅, K₂O et Mg); *Maesopsis eminii* Engl. (75% avec pH, C, N, CEC, P₂O₅ et K₂O); *Terminalia superba* Anglais. & Diels (75% avec C, N, CEC, P₂O₅, Mg et Ca) ; *Eugenia malaccensis* L. (75% avec pH, N, C, CEC, P₂O₅, Ca); *Persea americana* Miller (62,5% avec C, N, K₂O, Mg et Ca); *Acacia auriculiformis* Benth (50 % avec N, K₂O, Mg, Ca); *Lanea welwitschii* (Hiern) Engl (50 % avec pH, C, CEC, P₂O₅); *Dacryodes edulis* (D.Don) H.J.Lam (50 % avec pH, CEC, Mg et Ca) et *Mangifera indica* L. (50 % avec pH , C, N, CEC). Il apparait de manière claire que les essences ci-dessous peuvent être retenues et recommandées en systèmes sylvo-bananiers : *Milletia laurentii* (soit 100 % de contribution) ; suivi de *Pterocarpus indicus* Willd (87,5 %). Ensuite, *Maesopsis eminii* Engl. (75 %) ; *Terminalia superba* Anglais. & Diels (75 %) ; *Eugenia malaccensis* L. (75 %) ainsi que *Persea americana* Miller (62,5 %) en mettant un accent particulier sur *Milletia laurentii* De Willd. et *Pterocarpus indicus* Willd. Il serait souhaitable que les études ultérieures soient orientées sur l'évaluation de la durabilité de ces systèmes sylvo-bananiers dans les conditions du Plateau des Batéké.

Références

Alphonse F., 2004. *Etude comparative des performances de quatre variétés de bananier cultivées en Haïti dans la*

production de fibres pour la fabrication des papiers et des produits dérivés, pp.18-24

Bakelana, D.K. & Muyunga T., 1996 : La production des bananes et bananes plantain en République Démocratique du Congo. In *Bananas and food security, Intenational symposium. INIBAP, Douala, Caméroun*, pp. 103-112

Amando TJC., Reinert DJ. & Rechert JM., 2001. Soil quality of very fragile sandy soil from southern Brazil pp 564 - 568. In: *D.E. Statt, R.H. Mohtar & G.C. Steinhardt (eds). Sustaining the global farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, West Lafayette*, 1169 p.

Aynekulu E., Vagen TG., Shephard K. & Winowiecki L., 2011. A Protocol for Modeling, Measurement and Monitoring Soil Carbon Stocks in *Agricultural Landscapes*. Version 1.1. World Agroforestry Centre, Nairobi.

Bangata BMJC. & Mobambo KNP., 2022. Évaluation de la productivité de cinq cultivars de bananiers associés aux légumineuses arborescentes à Kinshasa, RD Congo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 10(4), 461-468.

Bernhard-Reversat F. & Tchibinda-Pemo CA., 1988. Influence du système agroforestier de culture de la banane sur la dynamique de la matière organique. Résultats préliminaires. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 24(4), 340-355.

Brady NC. & Weil RR., 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 14^e ed. Upper Saddle River, N.J. Pearson-Prentice Hall, 965 p.

Dhed'adjailo B., Moango Manga A. & Swennen R., 2011. *La culture des bananiers et bananiers plantains en RD Congo*. Support didactique, Edition Saint Paul Afrique, Kinshasa, 82 p.

Dufey J. & Delvaux B., 2009. *Syllabus du cours de sciences du sol*. Volume 1 et 2. Université catholique de Louvain, faculté ingénierie biologique, agronomique et environnementale. Duc Diffusion universitaire CIACO, 78 p.

Kasongo K., 2010. *Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batéké (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux*. Thèse de doctorat en sciences de la terre ; Université de Gant, 230 p.

Lele Nyami B., 2016. *Potentiel d'amélioration de la fertilité des sols sableux et acides de Kinshasa (RDC) par l'usage du charbon des bois (biochar), de la biomasse végétale et des engrais minéraux*. Thèse de Doctorat, Université de Kinshasa, 243 p.

Lescot T., 2006. La banane en chiffres: le fruit préféré de la planète. *Fruitrop*, 140(1), 5-9.

Meunier Q., Lassois JL. & Doucet JL., 2011. *Guide de plantation et de conduite d'une bananeraie agroforestière en milieu rural au Gabon*. Projet : Développement d'Alternatives Communautaires à l'Exploitation Forestières, seconde phase DACEFI-2, pp. 8-12.

Mobambo KN., 2002. Stratégies de gestion intégrée des cultures pour la production de bananes plantain et le contrôle de la cercosporiose noire en République démocratique du Congo. *Infomusa*, 11(1), 3-6.

- Mobambo, K.N., Staver, C., Hauser, S., Dheda, B. and Vangu, G., 2010. An innovation capacity analysis to identify strategies for improving plantain and banana productivity and value addition in the Democratic Republic of Congo. *Acta Horticulture (ISHS)*, 879, 821-827.
- Ngo-Samnack EL., 2011. *Production Améliorée du Bananier Plantain*. Pro-Agro (Engineers Without Borders, Cameroon (ISF Cameroun)/Technical Centre for Agricultural and Rural Co-operation (CTA), Wageningen, The Netherlands, 15 p.
- Nsombo MB., 2016. *Evolution des nutriments et du carbone organique du sol dans le système agroforestier du plateau des Batéké en République Démocratique du Congo*. Thèse de Doctorat, Université de Kinshasa, 198 p.
- Onautshu, D. 2013. *Caractérisation des populations de *Mycosphaerella fijiensis* et épidémiologie de la cercosporiose noire du bananier (*Musa spp.*) dans la région de Kisangani (RDC)*. Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain, Faculté des Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique, Bruxelles, 309 p.
- Ouattara N'Klo, Bellefontaine R., Bourg F. & Nicolas D. 2010. *Agroforesterie, état des lieux, enjeux et opportunités*. UMR System, CIRAD-Persyst, pp.112-118.
- Pam H. & Brian M., 2016. *Interpreting Soil Test Results: What Do All the Numbers Mean?* Third edition, SCIRO publishing, Locked Bag 10, Clayton South VIC 3169, 200 p.
- Rishirumuhirwa T., 1993. Potentiel du bananier dans la gestion et la conservation des sols ferrallitiques du Burundi, IRAZ, BP. 91, Gitega, Burundi. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 23(2), 367-383.
- Singh HP., 2011. Harnessing the Potential of Banana and Plantain in Asia and the Pacific for Inclusive Growth. *Acta Hort.*, 897, 495-506.
- Swennen, R. Vuylsteke, D. 2001. Bananier (*Musa L.*) in *Agriculture en Afrique Tropicale*, Raemaekers, R.H., 2001. Direction Générale de la Coopération Internationale, Ministère des Affaires Etrangères, du Commerce Extérieur et de la Coopération Internationale, Bruxelles, Belgique, pp. 611- 637.
- Tra AVB., N'Guessan FK. & Ebagnerin JT., 2011. Etude du potentiel de restauration de la diversité floristique des agrosystèmes de bananiers dans la zone de Dabou (Sud Côte d'Ivoire). *Sciences & Nature*, 8, 1-2.