
Influence de la biomasse de *Tithonia Diversifolia* combinée ou non aux engrais minéraux sur la fertilité des sols sableux de la province du Kasai

Laurent IMASHAMA bikoko*, Joseph LUBANZA kongo**, Sylvain KAMBA BIONGONGO**, Albert MWANYIMI mikobi**, Georges MPALASHOMPO mpokama**, Isaac LOBO BOPE minga**.

*Chef de Travaux à l'Université Officielle de Mweka

**Assistant à l'Université Officielle de Mweka

Résumé

Pour booster la production agricole, l'agriculteur a besoin d'un sol fertile et apte, capable de fournir aux cultures les éléments nutritifs dont elles ont besoin pour leur croissance. Avec la dégradation que connaissent beaucoup de sols sous les tropiques, avec quel intrant local combiné ou non aux engrais minéraux doit-on utiliser pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol ? Pour répondre à cette question, un dispositif expérimental en blocs complets randomisés a été installé à benalongo, territoire de Mweka dans la province du Kasai afin d'évaluer les performances de huit traitements composés de la biomasse de *Tithonia diversifolia* combinée ou non aux engrais minéraux (Urée et NPK) sur les propriétés physique et chimique du sol. Les résultats obtenus indiquent que les biomasses de *Tithonia d.* à la dose de 5 et 6T/ha améliorent mieux les propriétés chimiques du sol suivi du traitement T₂ qui est la combinaison de 3T/ha de *Tithonia d.* à 100 kg d'urée et 100kg de NPK par rapport au témoin.

Mots clés : *Tithonia diversifolia*, engrais et fertilité.

Abstract

For booster the production agricole l'agriculteur at need a floor fertile and apte at provide to the cultures the elements nutritious whose they have need for their growth. With the degradation than connaissent much of sols under les tropiques, with wath intrant local combined or no to the fertilizer minerals should we utilize for improve properties physical and chemical du ground ? For to respond at this question a dispositif experimental at benalongo territoire at Mweka in the province of kasai to d'évaluer the performances of eighth traitements composes of the biomasse of *Tithonia diversifolia* combinee or no the mineral fertilizers on the properties physical at chemical du ground. The results obtenus indiquent that them biomasses of *Tithonia diversifolia* to la dose of 5 and 6T/ha ameliorent better the properties physical and chemical du ground followed du treatment T₂ who is la combination of 3T of *Tithonia d.* to 100 kg d'urée and 100kg d'NPK by report au witness.

Keywords : *Tithonia diversifolia*, fertilizer and fertility.

INTRODUCTION

Problématique

La notion de la fertilité du sol est un sujet complexe et les recherches sur la gestion de la fertilité sont loin d'être achevées. En fonction des situations, les résultats peuvent être nuancés et les solutions variables (DOUMBIA et al., 2005 ; TRAORE et al., 2007). S'il est reconnu que les apports minéraux permettent de soutenir la production des cultures, il est à noter que les pratiques actuelles et surtout l'exploitation continue des sols conduisent à une progressive dégradation de la fertilité, notamment en raison d'une baisse du taux de la matière organique des sols (FELLER et MILLEVILLE, 1997). En milieu tropical, les matières organiques (MO) qui jouent un rôle agro-écologique fondamental dans le sol (SEDOGO, 1981; OUATTARA et al., 1997 ; BACYE et al., 1998 ; HIEN, 2002 ; BATIONO et al., 2007), sont des paramètres de long terme de la fertilité des sols qui interagissent avec les paramètres de court terme (N, P assimilable, etc.) et influencent la productivité des systèmes agropastoraux. Les pratiques culturales actuelles ont à la fois des effets positifs et négatifs sur ces paramètres de la fertilité du sol. Pour les techniques adoptées, des études montrent qu'il existe plusieurs facteurs de variabilité de leurs performances (TITTONELL et al., 2010 ; KIBA, 2012). Selon GUIBERT et al. (2002), les principales contraintes à la production (pour toutes les cultures) sont de trois ordres : celles liées à des opérations culturales mal réalisées (sarclages, densités de culture), celles liées à une amélioration du calage des cycles de culture avec la saison des pluies (implantation rapide des cultures) et celles liées à la capacité de production des sols qui fait d'ailleurs l'objet de notre étude.

Pour cultiver, les exploitants agricoles de notre milieu d'étude font recours à la coupe à blanc et au brûlis en vue de dégager le terrain et profiter des éléments minéraux disponibles. Cette pratique est efficace pour le défrichage des terres, la gestion de mauvaises herbes et des maladies. Elle augmente le pH et améliore la fertilité du sol à très court terme particulièrement la teneur en éléments nutritifs majeurs (P, K, Ca et Mg) à cause du passage de la végétation de la forme organique à la forme minérale suite à la combustion (PIETER et al., 2012). Mais, les conséquences de ce système telles que : la perte rapide de la fertilité, de l'activité biologique, l'érosion du sol, la réduction de la recharge de la nappe aquifère, etc sont permanentes (SERPANTIE, 2009). Après une ou deux années de culture, la terre est abandonnée pour une

longue jachère de 5 à 10 ans en vue de permettre la régénération de la végétation naturelle et la restauration des réserves en éléments nutritifs du sol (SANCHEZ et al., 2005). Malheureusement, avec la pression démographique et l'indisponibilité des terres fertiles, les exploitants agricoles reviennent chaque fois sur la même terre après 3 à 4 ans seulement (PIETER et al., op.cit). Ainsi, la mise en valeur de ces sols exige des amendements, organiques ou calcaires, pour améliorer leurs propriétés physico- chimiques et rentabiliser l'utilisation des engrais minéraux (MUNAMUCHERU et, al. 2007 ; UYOYBESERE et ELEM., 2000). L'irrégularité et la baisse de la pluviométrie, la pauvreté des sols et la faible fertilisation sont les contraintes majeures qui limitent fortement les rendements au champ à Benalongo, dans le territoire de Mweka. En effet, la plupart des sols de l'Afrique subsaharienne et plus précisément ceux des zones arides et semi-arides sont dans un état d'altération avancé et présentent un déficit en éléments nutritifs (PIERI, 1989). Les éléments nutritifs exportés ne sont pas remplacés de manière adéquate (FAO, 2003). Cette faible consommation des engrais est sans doute liée à leurs prix et surtout au faible revenu des producteurs.

Eu égard à ce qui précède, nous nous sommes posés la question suivante : comment améliorer les propriétés physiques et chimiques des sols de la Province du Kasaï avec des moyens adaptés aux conditions socio-économiques des agriculteurs du milieu en prenant en compte le faible pouvoir d'achat, la faible capacité d'investissement et la réduction de l'espace disponible ?

Afin d'atteindre cet objectif, l'hypothèse suivante à vérifier a été proposée :

- L'incorporation de la biomasse de *Tithonia diversifolia* combinée ou non aux engrais minéraux améliore les propriétés physiques et chimiques des sols du milieu d'étude.

L'objectif étant de mettre à la disposition des agriculteurs du Kasaï en général et de Mweka en particulier, un traitement durable, efficace et rentable capable de restaurer la fertilité du sol. Autour de cet objectif, nous nous sommes assignés quelques objectifs spécifiques :

- Evaluer l'état actuel de la fertilité des sols de Mweka,
- Evaluer l'effet de la biomasse de *Tithonia diversifolia* combinée ou non aux engrais minéraux sur les propriétés physiques et chimiques du sol.

MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

Choix du site

Notre site de recherche a été Benalongo dans la concession expérimentale de la faculté des sciences agronomiques de l'Université Officielle de Mweka. Le choix de ce site a été motivé par le fait qu'il est un pool de recherche scientifique dans le territoire de Mweka par la présence de plusieurs services spécialisés du ministère de l'agriculture dont : le Centre Agricole pour la Production des Semences Améliorées (CAPSA), l'Institut National d'Etude et Recherche Agronomique (INERA) et le Service National (SN). Plusieurs espèces telles que le *Tithonia diversifolia*, le *Chromolaena odorata*, le *Stylosanthes*, le *Mucuna*... sont présents en quantité industrielle et pouvant servir comme fumure organique dans le cadre de la restauration de la fertilité de sol. Le sol de notre milieu d'étude est représentatif de la plupart des sols sableux rencontrés dans le territoire de Mweka. Ses coordonnées géographiques sont : 4°19" de latitude Sud et 15°18" de longitude Est. Sur le plan physique, le territoire de Mweka bénéficie d'un climat tropical humide de type Aw₃ (selon la classification de Köppen) du fait de l'alternance de deux saisons sèches (de mai à août) et pluvieuses (d'août à mai). Il est favorable aux cultures en milieu intertropical (BUKUMBA, 1996). Les sols de ce territoire sont sablo-argileux selon le test de bâtonnet de LOZET *et al.* (1997), riches en matières organiques. Ils sont susceptibles à un lessivage très prononcé après abattage de la forêt et sous l'effet de l'hydrolyse. Leur texture grossière les dote d'une forte macroporosité. Cette caractéristique entraîne une perméabilité élevée et une faible capacité au champ selon la classification de KAOURITCHEV (1983). Le pH des sols de Mweka est de 5,2 et les rend légèrement acides.

Données climatiques du site expérimental en 1994

Les données climatiques qui ont marqué la période expérimentale sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1. Données climatiques du milieu d'étude.

| Mois | Température (°C) | | | Pluviométrie (mm) | Evapotranspiration (mm) |
|---------|------------------|-----|------|-------------------|-------------------------|
| | Min | max | Moy | | |
| Janvier | 20,7 | 31 | 25,9 | 98 | 108,4 |

| | | | | | |
|---------|------|------|------|-------|-------|
| Février | 20,8 | 31,3 | 26,1 | 110,3 | 104,9 |
| Mars | 21 | 31,5 | 26,3 | 122,5 | 114,2 |
| Avril | 21 | 31,4 | 26,2 | 196,6 | 109,4 |
| Mai | 20,9 | 31,8 | 26,4 | 50 | 116,3 |

Source : BUKUMBA. (op.cit)

Matériel utilisé

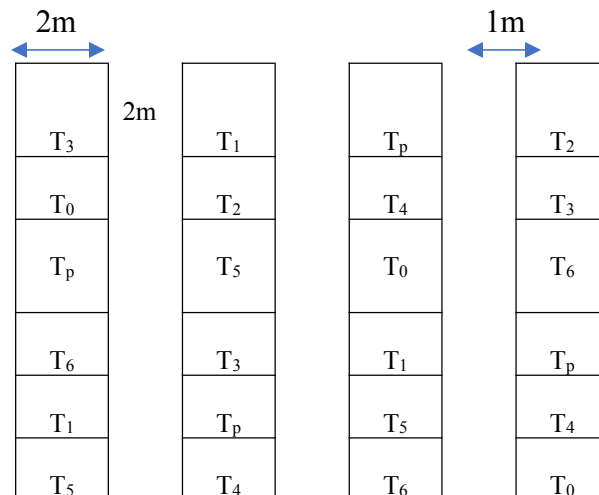
- La machette et la bêche pour creuser les profils ;
- La balance pour peser les échantillons de sol, les feuilles de *Tithonia diversifolia* et les quantités d'engrais ;
- Les sachets pour conditionner les échantillons ;
- L'ordinateur portable muni du logiciel microsoft word et excel ;
- Le carnet, le crayon et le stylo pour prendre notes et l'étiquetage des échantillons.

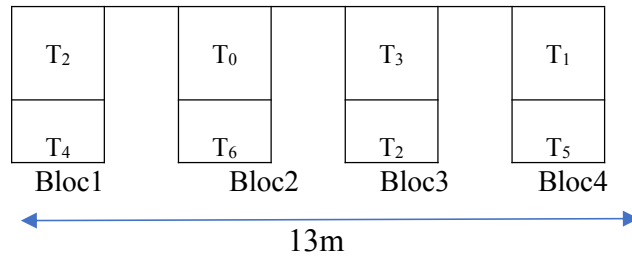
Méthodes

Dispositif et plan expérimental

Le dispositif expérimental était en Blocs Complets Randomisés (BCR) avec des parcelles expérimentales de 2m x 2m soit 4 m². Dans ce dispositif, chaque traitement est représenté une seule fois dans chaque bloc et constitue une répétition. Nous avons au total quatre blocs avec chacun 8 traitements. Les parcelles d'un même bloc étaient séparées de 0,50 m et les blocs étaient distants de 1m les uns des autres (figure 1).

Figure 1. Dispositif expérimental





T₀ : témoin

T_p : témoin paysan, c'est-à-dire témoin sur sol incinéré

T₁ : 75kg/ha urée, 75 kg NPK et 2T/ha T. d

T₂ : 100kg/ha urée, 100 kg NPK et 3T/ha T. d

T₃ : 125kg/ha urée, 125 kg NPK et 4T/ha T. d

T₄ : 0kg/ha urée, 0 kg NPK et 5T/ha T. d

T₅ : 0kg/ha urée, 0 kg NPK et 6T/ha T. d

T₆ : 0kg/ha urée, 0 kg NPK et 7T/ha T. d

Conduite de l'essai

Les feuilles de *Tithonia d.* ont été enfouies dans le sol pendant deux semaines pour permettre une meilleure décomposition. 14 jours après, l'engrais NPK a été appliqué au sol puis l'Urée a été quant à lui, appliqué 4 semaines après le semis.

Paramètres observés ou évalués

Les caractéristiques physiques et chimiques du sol avant et après l'expérimentation ont été observées.

Echantillonnage et analyse du sol

Douze prélèvements de sol ont été effectués à la profondeur de 0 à 30 cm avant l'expérience, suivant la méthode des diagonales. Leur mélange nous a donné un échantillon composite. Après traitement, nous avons prélevé des échantillons de sol dans chaque traitement de chaque bloc selon la même méthode. Ces différents prélèvements ont été analysés pour déterminer : la granulométrie (fraction argileuse, limoneuse et sableuse), le pH, le carbone organique total, l'azote total, les cations échangeables (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺), le phosphore assimilable et la capacité d'échange cationique.

Analyses statistiques

Pour tous les paramètres observés, les calculs de la moyenne ont servi de base à la détection de la différence significative entre traitements. La normalité de distribution a été appréciée à l'aide du test de SHAPIRO-WILK. Le test de KRUSKAL-WALLIS a été employé pour tester l'hypothèse d'influence de différents traitements sur les propriétés chimiques du sol. Lorsque les différences étaient significatives, nous avons utilisé le test non paramétrique de WILCOXON pour la comparaison multiple des moyennes. Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R.3.5.3.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Résultats

Les résultats de différentes analyses sont consignés dans les tableaux et lignes qui suivent.

Composition granulométrique et chimique des sols du site expérimental

Tableau 2. Composition granulométrique et chimique du sol avant traitement

| Sites étudiés | A % | L % | S % | Ph Eau | C % | N % | P Mg.kg⁻¹ | K Cmol.kg⁻¹ | Ca Cmol.kg⁻¹ | Mg Cmol.kg⁻¹ | CEC Cmol.kg⁻¹ |
|----------------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| A | 15,71 | 9,8 | 74,4 | 5,2 | 1,76 | 0,16 | 13,8 | 0,04 | 0,43 | 0,14 | 4,83 |

Cation basique échangeables.

Tableau 3. Rapport de cations basiques échangeables des sols

| Rapport cations basiques | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Ca /Mg | Ca/K | Mg/K |
| 3,07 | 10,75 | 3,5 |

En se référant au tableau 3 où est consigné le rapport de cations basiques échangeables des sols, il y a lieu de signaler que :

- Le rapport Ca/Mg de 3,07 pour le site A, est tout supérieure à 3. Ce rapport révèle une déficience en Mg par rapport au calcium (VALLERIE, 2014 ; LANDON, 1991). Or, pour

- un bon équilibre entre le Ca et le Mg, le rapport devrait être autour de 2 (LANDON, op cit) et/ou autour de 1 (BOYER, 1982).
- Concernant le rapport Mg/K, BOYER (op.cit) a proposé 2,0 comme valeur limite inférieure pour les sols convenablement pourvus en Mg, 3,0 pour les sols contenant 0,3 à 1 cmol.kg⁻¹ de sol et une valeur de 3,5 - 4 pour les sols qui en sont déficients. La limite supérieure étant de 20-25 cmol.kg⁻¹ pour les sols déficients en Mg et en K.
 - La valeur du rapport Ca/K est de 10,75 pour le site A. D'après BOYER (op.cit), la zone comprise entre 6 et 12 est celle considérée comme zone de bon équilibre pour ces deux cations dans les sols tropicaux. Ainsi, pour des bons équilibres, le rapport Ca/Mg varie de 1 à 5 mais, il est le plus souvent de l'ordre de 2 ; le rapport Ca/K est d'environ 20 puis, l'équilibre le plus fréquemment est, en milliéquivalent Ca/Mg/K égal à 20/10/1 (valeurs relatives) (VALLERIE, op.cit).

Composition granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que les sols du site étudié sont sableux avec près de 74,4% du sable. Ces sols étudiés sont constitués principalement de sables fins et peuvent être classés dans la rubrique de « sables ocres ».

Les études menées par MUKOLE (2014) et BUKUMBA (1996) avaient trouvé des textures analogues à Benalongo dans le site expérimental de l'Université Officielle de Mweka.

Au regard des résultats consignés dans le tableau 2 concernant les compositions granulométriques et chimiques et, compte tenu des valeurs de différents éléments chimiques et des rapports des cations basiques échangeables, il y a lieu de conclure que les sols du site expérimental nécessitent des amendements et des apports externes des éléments minéraux à travers la fertilisation pour répondre aux besoins réels des plantes et des microorganismes du sol. Les engrais chimiques étant efficaces pour les cultures et les engrais organiques pour le sol, nous proposons comme fumure organique, la biomasse de feuilles de *Tithonia diversifolia* ainsi que le NPK et l'Urée comme fertilisants minéraux.

Effet sur les propriétés physiques et chimiques du sol

Effet sur la granulométrie

Les moyennes des teneurs des fractions granulométriques du sol sont contenues dans le tableau 4 ci-dessous.

Les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes de la fraction granulométrique (test de Dunnett).

Tableau 4. Moyennes de la fraction granulométrique dans les différents traitements appliqués.

| Traitements | Argile | Sable | Limon |
|----------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| T ₀ | 15,7±0,632 ^a | 74,4±0,497 ^a | 9,8±0,245 ^a |
| T ₁ | 15,6±0,081 ^a | 75,2±0,032 ^a | 9,2±0,294 ^a |
| T ₂ | 15,2±0,909 ^a | 73,9±0,115 ^{ba} | 10,4±0,297 ^{ba} |
| T ₃ | 15,7±0,042 ^a | 74,4±0,142 ^a | 9,9±0,146 ^a |
| T ₄ | 15,9±0,026 ^a | 73,4±0,055 ^{ba} | 10,7±0,042 ^{ba} |
| T ₅ | 15,7±0,067 ^a | 74±0,059 ^a | 10,3±0,018 ^a |
| T ₆ | 15,7±0,027 ^a | 74,2±0,074 ^a | 10,1±0,151 ^a |
| T _p | 15,6±0,145 ^a | 75,6±0,568 ^{ca} | 8,9±0,365 ^{ca} |

Légende : T₀ (témoin), T_p (témoin paysan c'est-à-dire témoin sur sol incinéré), T₁ (75kg/ha urée + 75 kg NPK + 2T/ha T. d), T₂ (100kg/ha urée + 100 kg NPK + 3T/ha T. d), T₃ (125kg/ha urée + 125 kg NPK + 4T/ha T. d), T₄ (0kg/ha urée, 0 kg NPK et 5T/ha T. d), T₅ (0kg/ha urée, 0 kg NPK et 6T/ha T. d), T₆ (0kg/ha urée, 0 kg NPK et 7T/ha T. d)

La plus importante quantité d'argile et de limon a été obtenue avec T₄ (15,9± 0,026 et 10,7 ±0,042 respectivement), tandis que les plus faibles valeurs l'ont été sous T₂ (15,2 ±0,909) et T_p (8,9 ±0,365). En revanche, le témoin paysan c'est-à-dire sur sol incinéré a favorisé une grande fraction sableuse (75,6±0,568) alors que l'application de T₄ l'a défavorisé (73,4± 0,055). Le test de Shapiro décèle un écart hautement significatif à une distribution normale des données pour les taux d'argile ($W = 0,707$; $p < 0,001$) et de sable ($W = 0,874$; $p < 0,001$) avant et après transformation. En revanche, la distribution des données pour la fraction limoneuse est considérée comme normale ($p > 0,05$). Cependant, en raison du nombre très limité d'échantillon ($n = 4$), nous allons privilégier le test non paramétrique. Ainsi, le test de Kruskal-Wallis révèle l'existence de différences très significatives des teneurs en sable entre les différents traitements

($p < 0,01$) et en des teneurs en limon ($p < 0,01$), mais non significatives pour les teneurs en argile ($p \neq 0,05$). La comparaison par paires des traitements appliqués donne les résultats suivants :

- Pour le limon : les teneurs en limon sous T_4 sont très significativement supérieures à celles sous T_1 et T_p ($p < 0,01$). De même, T_2 a significativement amélioré les teneurs en limon que T_p ($p < 0,05$). Aucune autre différence significative n'a été descellée ;

- Pour le sable : le taux de sable dans le sol sous T_2 est significativement inférieur à celui de T_p et T_1 ($p < 0,05$) ; de même, le taux de sable sous T_4 est très significativement inférieur à celui sous T_1 et T_p ($p < 0,01$).

Les teneurs des fractions granulométriques avant et après application de *Tithonia diversifolia* combiné ou non aux engrais minéraux au sol n'ont montré aucune variation dans les différents traitements. La différence des nombres observée n'est que virtuelle étant donné que tous les sols étudiés appartiennent à la même classe de sablo-argileuse.

Effet sur les propriétés chimiques

Tableau 5. Moyennes des propriétés chimiques du sol du site dans les différents traitements appliqués. Les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes de la fraction granulométrique (test de Dunnet).

| Traitements | pH-eau | COT | Nt | P | Ca | K | Mg | CECeff |
|-------------|----------------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|
| T_0 | 5,2±0,01 ^a | 1,76±0,02 | 0,16±0,008 | 13,8±0,01 | 0,43±0,02 | 0,04±0,001 | 0,14±0,008 | 4,83±0,02 |
| T_1 | 4,99±0,01 ^{ba} | 1,28±0,01 | 0,03±0,002 | 8,32±0,01 | 0,26±0,01 | 0,04±0,002 | 0,042±0,001 | 3,31±0,01 |
| T_2 | 4,53±1 ^{ba} | 1,8±0,01 | 0,15±0,008 | 19,1±0,02 | 0,41±0,01 | 0,07±0,014 | 0,071±0,001 | 9,79±0,02 |
| T_3 | 4,97±0,03 ^{cba} | 1,32±0,01 | 0,067±0,001 | 8,52±0,02 | 0,38±0,01 | 0,013±0,002 | 0,03±0,003 | 8,22±0,02 |
| T_4 | 5,93±0,02 ^{da} | 1,96±0,01 | 0,17±0,014 | 19,1±0,07 | 0,51±0,01 | 0,056±0,002 | 0,077±0,001 | 13,1±0,01 |
| T_5 | 5,91±0,01 ^{dab} | 1,93±0,01 | 0,016±0,003 | 15,6±0,01 | 0,53±0,02 | 0,044±0,001 | 0,078±0,001 | 13±0,02 |
| T_6 | 5,9±0,02 ^{eabcd} | 1,95±0,02 | 0,092±0,001 | 13,1±0,02 | 0,44±0,01 | 0,049±0,001 | 0,063±0,001 | 12,9±0,01 |
| T_p | 5,33±0,01 ^{eabcd} | 1,11±0,01 | 0,021±0,002 | 14,5±0,05 | 0,22±0,01 | 0,059±0,001 | 0,03±0,001 | 3,17±0,02 |

Légende : T_0 (témoin), T_p (témoin paysan c'est-à-dire témoin sur sol incinéré), T_1 (75kg/ha urée + 75 kg NPK + 2T/ha T. d), T_2 (100kg/ha urée + 100 kg NPK + 3T/ha T. d), T_3 (125kg/ha urée + 125 kg NPK + 4T/ha T. d), T_4 (0kg/ha urée, 0 kg NPK et 5T/ha T. d), T_5 (0kg/ha urée, 0 kg NPK et 6T/ha T. d), T_6 (0kg/ha urée, 0 kg NPK et 7T/ha T. d)

La réaction du sol (pH)

De nombreux auteurs ont montré que la fertilité d'un sol donné augmente lorsque son acidité diminue à condition de rester dans certaines limites (5 à 7). DABIN, (1970) a montré que la fertilité sera d'autant plus élevée que le pH sera plus élevé (entre 4 et 6,5).

L'analyse des résultats obtenus montre d'une façon générale que les sols sous les huit traitements étudiés sont acides (pH-eau <5,5). Néanmoins, les valeurs des pH-eau sont assez élevées dans le sol des traitements T₄ (5,93 ± 0,022), T₅ (5,91 ± 0,014) et T₆ (5,9 ± 0,016) et basses sous T₂ (4,53 ± 1,00). En effet, les valeurs de pH-eau varient significativement entre les huit traitements. Le test de Shapiro-Wilk a indiqué un écart hautement significatif à une distribution normale des données pour le pH-eau ($W = 0,707; p < 0,001$) avant et après transformations. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a montré un effet très significatif du facteur traitement sur le pH-eau ($p < 0,001$). Le test de séparation des moyennes de Dunnet a mis en évidence la performance significative de T₄ sur T₁, T₂ et T₃ ($p < 0,05$). De même, T₅ a très significativement amélioré le pH-eau que T₃ ($p < 0,01$).

Carbone organique total (C.O.T.) et azote organique total (Nt) du sol

L'observation des résultats montre une variation des teneurs en C.O.T et en Nt dans le sol des différents traitements. Le test de Shapiro-Wilk décèle un écart significatif à une distribution normale des teneurs moyennes en C.O.T ($W = 0,707; p < 0,001$) avant et après transformations. La normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet hautement significatif des traitements ($p < 0,001$) sur le taux de carbone organique. La comparaison des amendements de sol deux à deux par le test post hock de Dunnet a permis de mettre en évidence l'amélioration très significative des teneurs en C.O.T sous T₄, T₅ et T₆ que sous T_p ($p < 0,01$).

Pour l'azote organique total du sol, la moyenne varie de 0,17 ± 0,014 sous T₄ à 0,016 ± 0,003 sous T₅. Le test de Shapiro-Wilk considère la distribution des données d'azote comme non normale avant et après transformation ($W = 0,707; p < 0,05$). Le test de Kruskal - wallis a montré qu'il existe des différences très hautement significatives entre les huit traitements utilisés par rapport à leurs effets sur l'azote organique total ($p < 0,001$). Le test de Dunnet montre que la teneur en azote organique total a été très significativement désaméliorée avec T₅ qu'avec T₀ et T₄ ($p < 0,01$). Ce dernier a significativement amélioré la teneur en azote organique que T_p ($p < 0,05$) qui s'est

montré significativement moins améliorant que T₀ ($p < 0,05$). Pour les autres traitements, aucune différence significative n'a été observée.

Phosphore assimilable du sol

D'une façon générale, les valeurs de phosphore assimilable de sol sont plus élevées sous T₂ ($19,1 \pm 0,016$ ppm) et T₄ ($19,1 \pm 0,068$ ppm) et sont plus faibles sous T₁ ($8,32 \pm 0,014$ ppm) et T₃ ($8,52 \pm 0,018$ ppm). Par contre, les valeurs intermédiaires sont obtenues avec T₀ ($13,8 \pm 0,014$ ppm), T_p ($14,5 \pm 0,047$), T₅ ($15,6 \pm 0,014$) et T₆ ($13,1 \pm 0,018$ ppm). Ainsi, la teneur moyenne en phosphore bio disponible est hautement différente entre traitements ($p < 0,001$). La comparaison par paires confirme la performance des T₂ et T₄ sur T₁ ($p < 0,01$) ainsi que sur T₃ ($p < 0,05$). Aucune autre différence significative n'a été observée.

Bases échangeables (B.E.) et capacité d'échange cationique effective (CECeff) du sol

Les résultats des teneurs moyennes en bases échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) sous les huit types de traitement du sol appliqués montrent que T₄, T₅ et T₆ ont un effet bénéfique sur le niveau des nutriments et de ce fait, présentent des teneurs plus élevées en bases échangeables du sol par rapport à d'autres traitements.

Les teneurs de Ca échangeable sont plus faibles sous T_p ($0,22 \pm 0,012$ cmol.kg⁻¹) et T₁ ($0,26 \pm 0,012$ cmol.kg⁻¹) et plus élevées sous T₄ ($0,51 \pm 0,012$ cmol.kg⁻¹) et T₅ ($0,53 \pm 0,022$ cmol.kg⁻¹). Le sol sous T₀ ($0,43 \pm 0,022$ cmol.kg⁻¹), T₂ ($0,41 \pm 0,012$ cmol.kg⁻¹), T₃ ($0,38 \pm 0,008$ cmol.kg⁻¹) et T₆ ($0,44 \pm 0,008$ cmol.kg⁻¹) contient des valeurs intermédiaires.

L'analyse de la variance non paramétrique (Kruskal wallis) à un facteur contrôlé décèle une différence hautement significative ($p < 0,001$) entre les huit types de traitements du sol et leur comparaison deux à deux (test de Dunnet) indique que le sol de T₅ et T₄ diffère significativement de ceux de T₁ et T_p ($p < 0,05$), ces deux derniers étant identiques ($p \approx 0,05$).

Pour le Mg échangeable, les valeurs trouvées sont très faibles et sont de l'ordre de $0,03 \pm 0,001$ cmol(+).kg⁻¹ (T_p) à $0,14 \pm 0,008$ cmol(+).kg⁻¹ (T₀). Le test de Shapiro considère la distribution des données comme non normale avant et après transformation. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a révélé un effet hautement significatif du facteur traitement du sol ($p < 0,001$) sur les teneurs en magnésium échangeable du sol. Le test de Dunnet confirme cette différence et indique des différences significatives entre le sol de T₀ et ceux de T_p et T₃ ($p < 0,01$). Le test indique aussi une différence significative entre T₅ et T_p ($p < 0,05$).

Les teneurs en K échangeable dans le sol de T₂ de l'ordre de $0,07 \pm 0,014 \text{ cmol.kg}^{-1}$, sont aussi significativement élevées ($p < 0,05$) par rapport à celles obtenues sous les sols de T₀ ($0,04 \pm 0,001 \text{ cmol.kg}^{-1}$), T₁ ($0,04 \pm 0,002 \text{ cmol.kg}^{-1}$) et T₃ ($0,013 \pm 0,002 \text{ cmol.kg}^{-1}$).

Concernant la CEC_{eff}, le test de Shapiro a révélé un écart significatif à une distribution normale des données entre les huit traitements utilisés ($W = 0,933$; $p < 0,001$). Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a indiqué un effet hautement significatif du facteur traitement du sol ($p < 0,001$) sur la CEC_{eff} du sol. La comparaison des valeurs moyennes par le test de Dunnett permet de distinguer trois groupes, correspondant à :

- Groupe 1 des basses valeurs de CEC_{eff} constitué de T_p, T₀ et T₁ ;
- Groupe 2 avec des valeurs intermédiaires et constitué de T₂ et T₃ et en fin ;
- Groupe 3 avec des valeurs élevées et constitué de T₄, T₅ et T₆. Le test de Dunnett a cependant précisé que seules les valeurs de T₄ et T₅ sont très significativement supérieures à celles de T₁ et T₃ ($p < 0,01$).

CONCLUSION

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'état actuel de fertilité du sol de Benalongo dans le territoire de Mweka province du Kasai enfin de proposer certains traitements organo-minéraux capables de restaurer la fertilité du sol en agissant ou en améliorant ses propriétés physiques et chimiques. Pour ce faire, 8 traitements ont été appliqués au sol dans quatre blocs dont chacun comptait 8 parcelles.

A la lumière de ce qui précède, nous pouvons conclure que les résultats obtenus confirment notre hypothèse selon laquelle l'incorporation de la biomasse de *Tithonia diversifolia* combinée ou non aux engrais minéraux améliore les propriétés physiques et chimiques du sol de notre milieu d'étude. Les traitements T₄, T₅ et T₆ constitués de la biomasse de *Tithonia diversifolia* seule se sont bien comportés en agissant très favorablement sur les propriétés chimiques du sol. Quant à sa combinaison avec les engrais minéraux, le traitement T₂ est le meilleur parmi les autres d'après nos résultats.

Nous suggérons que d'autres recherches similaires soient menées dans un autre écosystème en vue de confirmer la véracité des résultats obtenus dans notre milieu d'étude qui est Benalongo dans le territoire de Mweka, province du Kasai.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BACYE B., MOREAU R. et FELLERET C. (1998). Décomposition d'une poudrette de fumier Incorporée dans un sol sableux de versant et un sol argilo-limoneux de bas-fond en milieu soudano-sahélien. *Étude et Gestion des Sols*, 5 (2) : 83-92
- BATIONO A, KIHARA J, VANLAUWE B, WASWA B, KIMETU J. (2007). Soil organic carbon dynamics, functions and management in west African agro-systems. *Agri. Syst.*, 94, 13-25.
- BOYER, J. (1982). Les sols ferrallitiques. Tome X : facteurs de fertilité et utilisation des sols. Initiations-Documentations Techniques N° 52, ORSTOM, Paris, France.
- BUKUMBA (1996). « Evaluation d'un projet de développement en milieu rural zaïrois, cas du Centre de Développement Rural Intégré de Mweka (CE.DE.R.I.M) ». *Annales de l'I.S.P./Kananga*, VI, p.1 - 7.
- DABIN, B. (1970). *Les facteurs chimiques de la fertilité des sols (bases échangeables ; sels ; utilisation des échelles de fertilité)*. ORSTOM, France : 221-237.
- DOUMBIA, M., BERTHE A. et AUNE J.B. (2005). La Gestion Intégrée de Nutriments Végétaux au Mali. GCoZA Rapport No. 36 B, <http://www.drylands-group.org> (17/04/2012), 37 p.
- FAO, 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique Subsaharienne, 10 p.
- FELLER C, MILLEVILLE P. (1997). Évolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal Oriental). Première Partie : Présentation de l'étude et évolution des principales caractéristiques morphologiques et physico-chimiques. *Cah. Orstom., sér. Biol.*, 12(3) : 199-211.
- GUIBERT H., M'BIANDOUN M., OLINA J.P. (2002). Productivité et contraintes des systèmes de culture au Nord-Cameroun In : Jamin J.Y., Seiny B.L., Floret C. (eds), « Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis ». Actes du colloque, Mai, 2002, Garoua (Cameroun), 9 p
- HIEN V. (2002). La matière organique dans les sols en zone soudano-sahélienne. In : « dégradation des sols au sahel, méthodes et techniques de lutte ». Actes du séminaire, Décembre 2000, Niamey (Niger), 83-91.

- KAOURITCHEV, I. (1983). *Manuel pratique de pédologie*, édition MIR, Moscou, p.102.
- KIBA D.I. (2012). Diversité des modes de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la qualité des sols et la production des cultures en zones urbaine, péri-urbaine et rurale au Burkina Faso. Thèse de doctorat unique, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 172 p.
- LANDON J.R. (1991). *Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. United State, New York, 474 p.
- LOZET, J., MATHIEU, C. et JAMAGNE, M. (1997). *Dictionnaire de Sciences du sol*. 3ème édition. Lavoisier. Paris, 488 p.
- MUKOLE M. (2014). Effet du chaulage naturel sur la production en gousses de l'arachide (*Arachis hypogaea*, variété JL24, F. Papilionaveae). *Annales de l'ISP Mbujimayi*, Volume 23, pp 82-99.
- MUNA-MUCHERU M., MUGENDI D., KUNG'U J., MUGWE J. et BATIONO A. (2007). Effects of organic manure and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya, *Agroforestry Systems* (69) :189-197.
- OUATTARA B., SERPANTIE G., OUATTARA K., HIEN V., LOMPO T., BILGO A. (1997). Etats physico-chimiques des sols cultivables en zone cotonnière du Burkina Faso. Effet de l'histoire cultural et du type de milieu. In : Floret C., Pontanier R. (eds), « Jachère et maintien de la fertilité ». Actes de l'atelier, 2-4 Octobre, 1997, Bamako (Mali), 17-32.
- PIERI C. (1989). Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Agridoc-International, Paris, France, 444 p.
- PIETER P., BIMPONDA W., LODI-LAMA JP., LELE B., MULUMBA R., KACHAKA C., BOECKX P., MERCKX R., and VANLAUWEEN B. (2012). Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable Cassava Production Cassava production. *Agronomy Journal* : Volume 104(1) : 178-187.
- SANCHEZ P.A., PALM S.A., VOSTI T.P., TOMICH AND KASYOKI J. (2005). Alternatives to slash and burn—Challenge and approaches of an international consortium. p. 3–37. In : C.A. Palm

et Tomich (eds.) *Slash-and-burn agriculture—The search for alternatives*. Columbia Univ. Press, New York.

SEDOGO M.P. (1981). Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy, France, 135 p.

SERPANTIE G. (2009). « L'agriculture de conservation à la croisée des chemins en Afrique et à Madagascar », *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 9 Numéro 3 | décembre 2009, mis en ligne le 14 décembre 2009, consulté le 19 septembre 2015. URL : <http://vertigo.revues.org/9290> ; DOI : 10.4000/vertigo.9290

TITTONELL P., MURIUKI A, SHEPHERD K.D., MUGENDI D., KAIZZI K.C., OKEYO J., VERCHOT L., COE R., VANLAUWE B. (2010). The diversity of rural livelihoods and their influence on soil fertility in agricultural systems of East Africa – A typology of smallholder farms, *Agricultural Systems* 103, 83–97.

TRAORE O, KOULIBALY B, DAKUO D. (2007). Effets comparés de deux formes d'engrais sur les rendements et la nutrition minérale en zone cotonnière au Burkina Faso. *Tropicultura*, 25(4) : 200-203.

UYOYBESERE E.O. AND ELEMOMO K.A. (2000). Effect of inorganic fertilizer and foliage of *Azadirachta* and *Parkia* species on the productivity of early maize. *Nigerian Journal of Soil Research*, 1 : 17-22.

VALLERIE M. (2009). *Fertilité et fertilisation des sols tropicaux*, Cameroun.