



Réponse de *Glycine max* L. à l'apport de la matière organique à base de *Tithonia diversifolia* (HEMSL.) A. Gray sur un ferralsol à Mbuji-Mayi/RDC

Response of *Glycine max* L. to organic matter based on *Tithonia diversifolia* (HEMSL.) A. Gray on a ferralsol in Mbuji-Mayi/DRC

Emmanuel Tshibangu Bakababenesha^{1*} & Christophe Lumpungu Kabamba²

¹ Chercheur à l'Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, Option : Eau et Sol, B.P. 117 Kinshasa XI, RD Congo.

² Professeur Émérite à l'Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, B.P. 117 Kinshasa XI, RD Congo.

Article info

Histoire :

Reçu le 22 Décembre 2022

Accepté le 18 avril 2023

Mots clés : Matière organique, *Tithonia diversifolia*, soja, Ferralsol, Mbuji-Mayi.

Auteur correspondant :

iremmanueltshibangu71@gmail.com

Résumé

Le sol utilisé pour nos investigations, est un ferralsol, extrêmement acide, pauvre en azote et modérément pourvu en phosphore disponible. A ce sol fortement dégradé, l'utilisation exclusive des engrais chimiques envisagée, parmi les solutions, n'est pas réalisable, non seulement, à cause de leurs impacts négatifs sur le sol et l'environnement, mais aussi à cause de leur coût élevé. Ainsi, d'autres pratiques moins agressives sur le sol devraient être recherchées. Ici, l'utilisation de la matière organique (MO) à base de *Tithonia diversifolia* a été proposée comme piste de solution pour restaurer la fertilité de ce genre des sols. L'objectif générale était d'évaluer son impact sur la culture de soja semé dans des pots de végétation sur deux substrats, issus de la couche superficielle (0-20 cm) et celle de profondeur (20-40 cm) dans un dispositif expérimental bifactoriel. Trois doses, équivalent à 0 kg (D₀), 3 kg (D₁) et 6 kg MO.m⁻² (D₂) ont été testées. Selon les résultats obtenus, le traitement 3 kg MO.m⁻², équivalent à 30 Mg.ha⁻¹, a été le meilleur dans tous les cas, particulièrement, en ce qui concerne le rendement qui était équivalent à 3,72 Mg.ha⁻¹ sur le sol de surface et 3,48 Mg.ha⁻¹ sur celui de profondeur. Ces résultats sont de loin supérieurs à tous ceux, généralement, obtenus dans différents essais à travers le pays. Le témoin, 0 kg de MO qui n'avait porté que quelques nodules (8), n'avait donné qu'un rendement de 0,486 Mg.ha⁻¹. Ceci prouve que l'activité et le développement des *Rhizobiums* sont inhibés dans ce sol et nous permet de dire qu'il est illusoire de compter sur la fixation symbiotique de l'azote pour le besoin de la plante. Avec la dose de 6 kg MO.m⁻², une chute de rendement a été observée (1,642 Mg.ha⁻¹ de moyenne) à cause, probablement de l'excès d'azote. Néanmoins, les résultats obtenus sont comparables pour les deux niveaux étudiés de sol (0-20cm et 20-40cm).

Article info

Article history:

Received 22 December 2022

Accepted 18 April 2023

Abstract

The soil used for our investigations is a ferralsol, extremely acidic, poor in nitrogen and moderately supplied with available phosphorus. In this highly degraded soil, the exclusive use of chemical fertilisers is not feasible, not only because of their negative impacts on the soil and the environment, but also because of their high cost. Thus, other alternatives that are less aggressive on the soil should be sought. Here, the use of organic matter (OM) based on *Tithonia diversifolia* was proposed

Keywords: *Organic matter, Tithonia diversifolia, soy, and Ferralsol, Mbuji-Mayi.*



Copyright©2023 JOASD

*Corresponding author
iremmanueltshibangu71@gmail.com

Conflict of Interest : The authors declare no conflict of interest.

as a possible solution to restore the fertility of this type of soil. The general objective was to evaluate its impact on the cultivation of soybeans sown in vegetation pots on two substrates, from the superficial layer (0-20 cm) and the deep layer (20-40 cm) in a two-factor experimental set-up. Three doses, equivalent to 0 kg (D₀), 3 kg (D₁) and 6 kg MO.m⁻² (D₂) were tested. According to the results obtained, the 3 kg MO.m⁻² treatment, equivalent to 30 Mg.ha⁻¹, was the best in all cases, particularly with regard to yield, which was equivalent to 3.72 Mg.ha⁻¹ on the surface soil and 3.48 Mg.ha⁻¹ on the deep soil. These results are far superior to those generally obtained in various trials across the country. The control, 0 kg OM, which had only a few nodules (8), gave a yield of only 0.486 Mg.ha⁻¹. This proves that *Rhizobium* activity and development are inhibited in this soil and allows us to say that it is illusory to rely on symbiotic nitrogen fixation for the plant's needs. With the 6 kg OM.m⁻² dose, a drop in yield was observed (1.642 Mg.ha⁻¹ on average), probably due to excess nitrogen. However, in general, the soils of both layers (0-20 cm) and (20-40 cm) behaved almost the same.

1. INTRODUCTION

Le soja est une légumineuse possédant des nombreuses vertus. Il permet, notamment, d'améliorer les systèmes agricoles et peut être transformé en produits divers enrichissant l'alimentation quotidienne de l'homme, des animaux et fournissant des revenus supplémentaires. Sa richesse en éléments nutritifs en fait un aliment de choix. Grâce à ses nodosités, dans des bonnes conditions, cette légumineuse peut être capable de fixer l'azote atmosphérique pour ses besoins (Nieuwenhuis et Nieuwelink, 2005 ; Kouamé et al., 2007 ; Tshilenge, 2014).

En effet, cette plante semble être peu gourmande en intrants, mais très exigeante pour les éléments minéraux, particulièrement l'azote et le phosphore (Kouamé et al., 2007 ; Tshilenge, 2014). Malheureusement, beaucoup de sols tropicaux n'en contiennent pas assez, ni suffisamment de *Rhizobiums*, son allié symbiotique, pour satisfaire ses besoins en azote, à cause des divers phénomènes négatifs qu'ils y subissent (Ruyck, 2000), notamment leur forte acidité.

A cause des pratiques culturales non appropriées, notamment, la culture sur brulis, année après année, la dégradation de ces sols qui continue à s'étendre de façon alarmante (Sadio, 2007 ; Koné et al., 2009), constitue une grave menace pour la production alimentaire sur une grande partie de l'Afrique centrale (Ruyck, 2000 ; Atyi et Boukong, 2010 ; Alongo et al., 2013), alors que les sols sont, à la fois, le support et la source principale de nutriments pour les végétaux, base alimentaire des animaux et de l'homme (Ngongo et al., 2009). Le déclin de productivité de ces sols est particulièrement lié à celui de leurs éléments nutritifs disponibles, induisant des processus

d'acidification associés à l'apparition, sous formes échangeables, des teneurs élevées d'éléments comme l'aluminium (Al³⁺) et le fer (Fe³⁺). Ces derniers réagissent avec les anions phosphates pour former des composés fortement insolubles, inaccessibles pour les plantes, sous formes de phosphates ferriques (*strengite* : Fe(OH)₂H₂PO₄) et phosphates alumineux (*variscite* : Al(OH)₂H₂PO₄) (Rabeharisoa, 2004 ; Harter, 2007 ; Drouet, 2010 ; Mukalay, 2013).

Néanmoins, plusieurs solutions ont été envisagées comme, selon Djeke et al. (2011) et Hebebrand (2015), l'utilisation des engrais chimiques, en raison de leur action bénéfique immédiate sur la productivité des cultures vivrières. Mais, leur coût élevé et leur rareté, en Afrique particulièrement, les rendent quasi inaccessibles aux paysans, alors que l'azote et le phosphore sont deux des principaux nutriments de l'agriculture (Rwigema et al., 1993 ; Ruyck, 2000 ; Harter, 2007 ; Koné et al., 2009 ; Vade et Bossuet, 2013). En outre, l'utilisation des engrais chimiques seuls ne permet pas de maintenir durablement la fertilité des sols pendant longtemps (Bado, 2002 ; Djeke et al., 2011). Elle entraîne d'ailleurs l'augmentation de l'acidité, la dégradation du statut physique, la perte de la matière organique du sol, et génère ainsi des problèmes écologiques et environnementaux non négligeables (Harter, 2007 ; Vade et Bossuet, 2013).

Dans un tel contexte, il est légitime de se poser la question de savoir si l'utilisation de la matière organique seule pourrait être une solution appropriée pour restaurer la fertilité des sols sous les tropiques, car l'utilisation des résidus végétaux permet d'améliorer considérablement le niveau des nutriments et de la matière organique dans les sols (Roose, 2007 ; Djeke et al., 2011).

Des nombreux travaux ont montré que les amendements organiques jouent un rôle important sur diverses propriétés du sol, ce qui permet de justifier leur adoption (Masse et al., 2005 ; Diallo et al., 2015). Ceci a conduit à imaginer l'utilisation des débris végétaux de certaines espèces locales invasives et de recolonisation, sans valeur marchande, à l'instar de *Tithonia diversifolia*, comme pourvoyeuses des éléments minéraux aux sols pauvres pour augmenter les rendements des cultures vivrières (Kasongo et al., 2013 ; Nkongolo et al., 2016 ; Muliele et al., 2017). Des récentes recherches ont montré que l'utilisation des feuilles de cette plante augmente les rendements du maïs et de la patate douce en RD Congo (Mwembo, 2010 ; Lele, 2016 ; Tshibingu et al., 2017), au Kenya (Niang et al., 1996 ; Jama et al., 2000 ; Abson et al., 2015), au Zimbabwe (Jiri et Waddington, 1998), au Malawi (Ganunga et al., 2005) et au Cameroun (Kaho et al., 2011).

Parmi ses avantages, cette plante se propage facilement par graines et par boutures, et pourrait ainsi constituer une alternative des engrais chimiques pour des milliers de paysans africains, qui, de toute façon, n'ont ni assez de revenu pour faire face au coût d'engrais, ni ne possèdent suffisamment de connaissances nécessaires à leur utilisation rationnelle dans la pratique agricole (Djeke et al., 2011 ; Kasongo et al., 2013 ; Nkongolo et al., 2016 ; Lele, 2016).

La présente étude a pour objectif général d'évaluer, par l'apport des doses croissantes, l'impact de la matière organique à base de *Tithonia diversifolia* sur la culture de soja semé dans des pots de végétation sur deux substrats, issus de la couche superficielle (0-20 cm) et de celle de profondeur (20-40 cm) d'un ferralsol, dans un dispositif expérimental bi-factoriel. Les objectifs spécifiques consistent à mesurer les paramètres végétatifs aux 14^{ième} et 28^{ième} jours après la levée, ainsi que productifs du soja aux 100^{ième}s jours, à la récolte.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Milieu d'étude

Les investigations ont été menées dans l'enceinte de l'Université Officielle de Mbuji-Mayi (UOM), dans la ville de Mbuji-Mayi, dont les coordonnées géographiques sont 6°06'50.74 de latitude Sud et 23°36'01.50 de longitude Est (CTB, 2008 ; Omasombo et Marysse, 2015 ; Shambo et Olela, 2016).

Son climat tropical humide est du type Aw₂, selon la classification de Köppen. Sa pluviométrie annuelle atteint 1 476 mm. Les vents dominants de la région sont les alizés du sud-est en saison sèche et de nord-est, en saison des pluies. L'humidité relative moyenne journalière atteint 76% et la température maximale moyenne annuelle mesure 25,2°C (CTB, 2008). Les données climatiques pendant la période d'expérimentation qui allait du 06/11/2015 au 28/02/2016 sont présentées à la Fig.1, ci-après.

2.1.2. Sol étudié

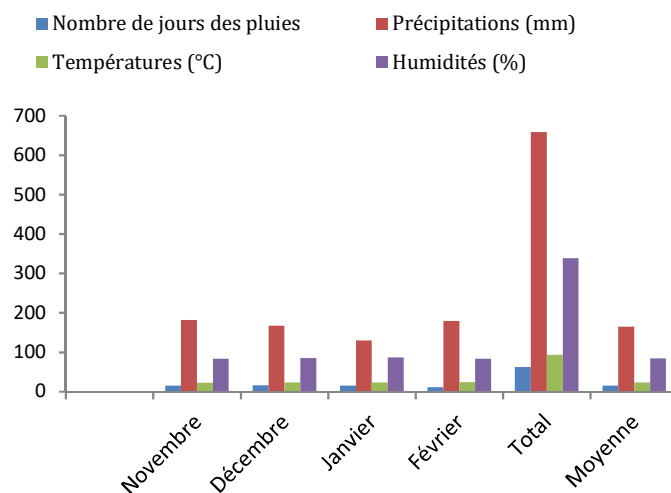


Fig. 1. Données météorologiques (novembre 2015 – février 2016)

Source : Division Mételsat RVA/Mbuji-Mayi

Le sol utilisé, provenait du site de l'Université Officielle de Mbuji-Mayi (UOM) dans la couche de 0-20cm et celle de 20-40cm. Il s'agit d'un ferralsol dont les principales caractéristiques le font appartenir à la catégorie des sols extrêmement acides (pH : 3-4,5), pauvres en azote total (< 0,05%), dont la teneur en phosphore disponible est modérément élevé (12-25 ppm) dans le sol de surface et modérément faible (6-10 ppm) dans le sol de profondeur. Il est pauvre en carbone organique dont le niveau est très bas (< 2 %) (Tableau 1) (Debaveye, 1985 ; Soltner, 1987 ; Van Ranst et al., 1993 ; Matthieu et Pieltain, 2003 ; Mukalay, 2013 ; Rabefiraisaina, 2015 ; Dabin, 2016).

2.1.3. Matériel biologique et fertilisant

Les graines de soja utilisées appartenait à la variété AFYA (TGX849-2941), originaire de l'IITA d'Ibadan, au Nigéria (Anonyme, 2008). Comme

Tableau 1. Acidité actuelle (pH_{eau}), teneur en azote total (%), phosphore disponible (ppm) et carbone organique (CO :%), acidité d'échange ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$), aluminium libre (Al^{3+} :még/100g sol) des sols.

| Profondeurs | pH_{eau} | Azote | Phosphore | $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ | Al^{3+} | CO |
|----------------------------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------------------------|------------------|------|
| 0 - 20cm (P₁) | 4,0±0,1 | 0,0018±0,74 | 21,7±0,01 | 0,34 | 0,32 | 1,36 |
| 20 - 40cm (P₁) | 4,5±0,1 | 0,0016±0,38 | 6,3±0,03 | 0,17 | 0,16 | 0,87 |
| Total | 8,5 | 0,0034 | 28 | 0,51 | 0,48 | 2,23 |
| Moyenne | 4,25 | 0,0017 % | 14 ppm | 0,26 | 0,24 | 1,12 |

fertilisant, nous avons utilisé les feuilles de *Tithonia diversifolia* récoltées tendres et fraîches, puis séchées au soleil avant d'être émietées.

2.1.4. Autres matériels

Pour la mensuration des différents paramètres végétatifs et de la production, nous avons utilisé une latte pour mesurer la hauteur des plantes et la longueur des gousses ; deux balances dont l'une analytique de précision pour peser les gousses et les graines, et l'autre mécanique pour peser le sol, une loupe pour observer la couleur à l'intérieur des nodules et un pied à coulisse pour mesurer le diamètre au collet des tiges. Pour le prélèvement des échantillons des sols, nous avons utilisé une sonde pédologique.

2.2. Méthodes

Dans ce point, nous donnons les différentes méthodes mises en œuvre pour le prélèvement et conditionnement des échantillons des sols, les analyses au laboratoire, ainsi que pour les évaluations statistiques.

2.2.1. Prélèvement et conditionnement des échantillons de sol

Le prélèvement des échantillons de sol a été effectué sur le site de l'UOM, aux profondeurs de 0-20 cm (sol de surface) et de 20-40 cm (sol de profondeur). Six carottages des échantillons de sol ont été prélevés en zig-zag dans différents endroits distants d'environ 100 à 300 m l'un de l'autre et mélangés pour constituer des échantillons composites, selon le modèle établi par Pauwels et al. (1992). Les échantillons conditionnés ont été conservés dans des sachets étanches en polyéthylène d'une contenance de plus ou moins 1kg (emballage inerte vis-à-vis du sol, résistant à l'eau et à la poussière). Ces emballages ont été étiquetés au fur et à mesure de prélèvement, suivant les normes d'étiquetage pour éviter toute confusion et contamination, avant d'être acheminés au laboratoire pour une analyse chimique (Debaveye, 1985 ; Somé et al., 2006 ; Baize et Girard, 2009).

2.2.2. Traitement et application du fertilisant organique à base de *Tithonia diversifolia*

Les feuilles de *Tithonia diversifolia*, ont été séchées au soleil, puis émietées et mélangées avec 5 kg de sol, à des doses croissantes de 0g (D₀), utilisée comme témoin, de 46,88g (D₁), équivalant à 3 kg.m⁻² et de 93,76g (D₂), équivalant à 6 kg.m⁻², après conversion de la dose superficielle en masse par kg de sol, considérant la densité de 1,6 et la profondeur de 20 cm.

2.2.3. Extraction de plantes et observation de la couleur intérieure des nodules

Aux 14^{ème} et 28^{ème} jours après la levée, nous avons soutiré, chaque fois, dans chaque bloc un pot représentant chaque dose pour le sol de chaque profondeur. En utilisant un excès d'eau, nous avons dégagé les plants de la terre afin de déterminer le nombre des nodules et à l'aide d'une loupe, nous avons observé leur couleur à l'intérieur. Les autres plants ont été laissés jusqu'à la maturité afin de déterminer les paramètres productifs.

2.2.4. Dénombrement des paramètres végétatifs et productifs

Pour mesurer ces paramètres, nous avons procédé au comptage manuel afin de déterminer le nombre des feuilles, des gousses, des graines, des gousses vides et des nodules. La mesure de la hauteur des plants et de la longueur des gousses, et le poids des gousses et des graines ont été mesurés avec les outils ou instruments présentés précédemment (point 2.1.4).

Sur les plantes, il a été observé les paramètres végétatifs (croissance et nodulation) aux 14^{ème} et 28^{ème} jours après la levée (JAL) et les paramètres productifs à la maturité (M), au 100^{ème} jour après la levée (JAL) sur les 18 plantes restant. Les paramètres végétatifs et productifs, ci-après, ont été considérés :

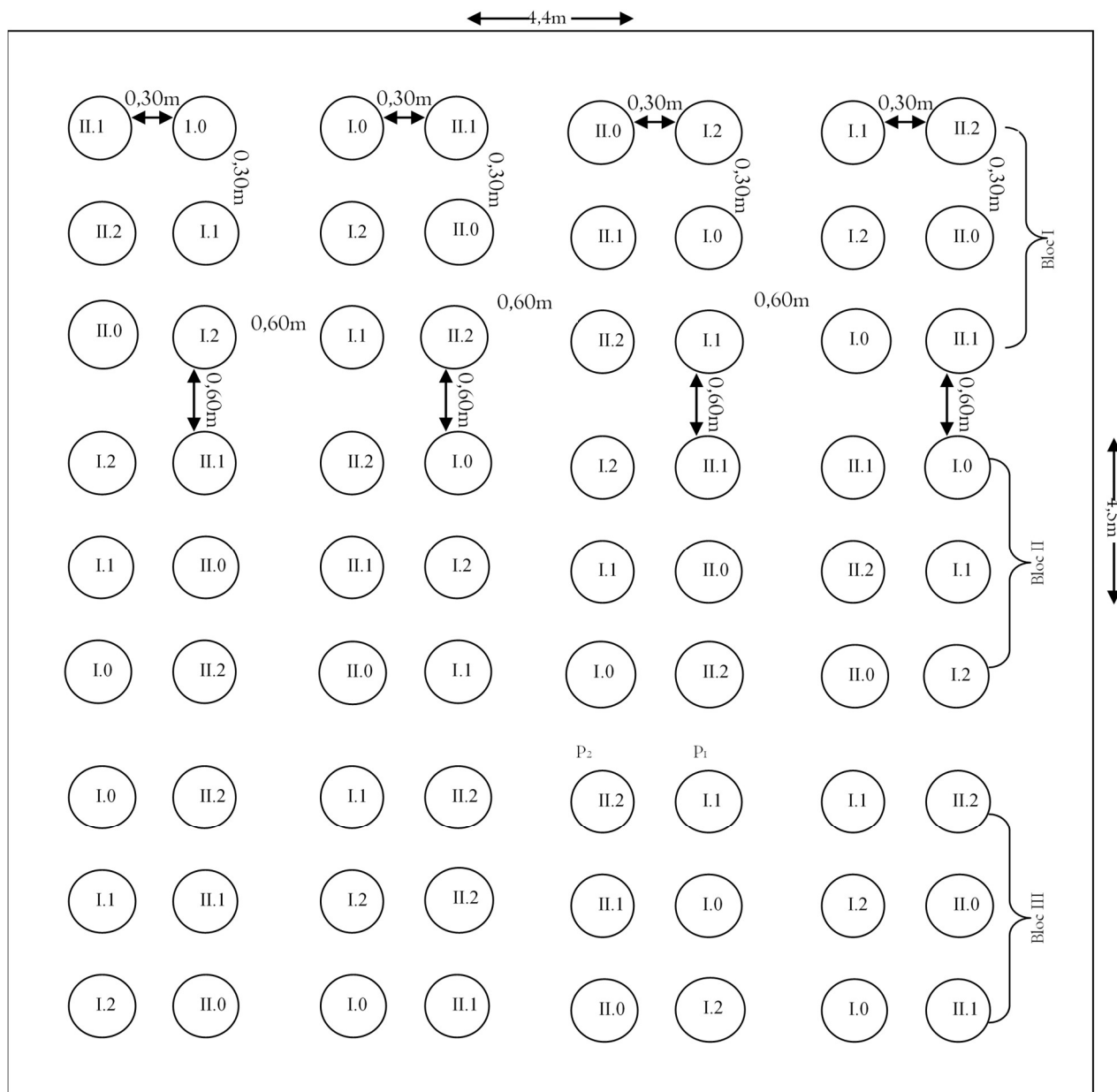


Fig. 2. Schéma du dispositif expérimental

Légende

- I.0 : 0-20 cm, dose 0 (0g/5kg de sol)
- I.1 : 0-20 cm, dose 1 (46,88g/5kg de sol)
- I.2 : 0-20 cm, dose 2 (93,75g/5kg de sol)
- II.0 : 20-40 cm, dose 0 (0g/5kg de sol)
- II.1 : 20-40 cm, dose 1 (46,88g/5kg de sol)
- II.2 : 20-40 cm, dose 2 (93,75g/5kg de sol)

1. Paramètres végétatifs

- ✓ Hauteur des plantes ;
- ✓ Diamètre au collet ;
- ✓ Nombre de feuilles ;
- ✓ Nombre des nodules par plant ;
- ✓ Couleur à l'intérieur de nodules.

2. Paramètres productifs

- ✓ Nombre des gousses par plant ;
- ✓ Longueur des gousses ;
- ✓ Nombre des graines par gousse ;
- ✓ Nombre des gousses vides ;
- ✓ Rendement en $kg \cdot ha^{-1}$;

✓ Poids de 1000 graines

2.2.5. Dispositif expérimental

Nous avons établi, selon Dagnelie (2012), un dispositif en split-plot ou parcelles divisées, avec un facteur principal qui était la profondeur de prélèvement de sol et un facteur secondaire qui était la dose de feuilles de *Tithonia diversifolia*.

Le facteur principal était le sol prélevé à deux profondeurs, 0-20 cm (P_1) et 20-40 cm (P_2) (Fig. 2), tandis que le facteur secondaire était la dose

de feuilles de *Tithonia diversifolia* (MO) considérée à trois niveaux (D_0), (D_1) et (D_2). Donc ce dispositif, comprenait trois traitements tripliqués dont les pots de végétation étaient placés, l'un de l'autre, à une distance de 30 cm x 30 cm. Quant aux blocs de répétitions, ils étaient distants de 60 cm x 60 cm, l'un de l'autre.

Les activités effectuées, depuis la mise en place jusqu'à la récolte, sont présentées, ci-après.

- **Application de la MO:** elle a été faite en date du 06/11/2015 à la dose de 0 g, 46,88g et 93,75g.5kg⁻¹ de sol. Sur un hectare, elles équivalaient, respectivement, à 0, 30 et 60 Mg.ha⁻¹.
- **Semis:** il a été effectué 14 jours après l'application de la MO en date du 20/11/2015, à raison de 2 graines, à une profondeur de 4 cm, dans chaque pot de végétation. Les deux graines ont été gardées pour avoir une densité correspondant à 72 727 plants.ha⁻¹. Les valeurs des paramètres étudiés sont des moyennes de deux plantes.
- **Entretien:** il a eu lieu en dates du 25/12/2015 et du 04/01/2016. Il avait consisté à éliminer les mauvaises herbes à la main et, à l'aide d'un sarcler, à alléger le sol et à procéder au buttage des plants.
- **Récolte :** elle a été faite à la main au 100^{ème} jour après la levée, en date du 28/02/2016. Après celle-ci, les gousses avaient été comptées, puis décortiquées pour déterminer le poids de 1000 graines.

2.2.6. Traitement des données

Les données obtenues ont été soumises à l'analyse de la variance (ANOVA). Préalablement à l'ANOVA, le test *F* leur avait été appliqué. En cas de différence significative, les moyennes avaient été comparées deux à deux par le test de la plus petite différence significative, à 95 % de confiance

($P < 0,05$). Enfin, les régressions multiples avaient été appliquées pour évaluer l'impact de MO sur les paramètres végétatifs et productifs étudiés. Les logiciels *Statistix 8* et *SPSS* (version 20) ont été utilisés pour les différentes analyses statistiques.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Suivi des paramètres végétatifs

Les valeurs moyennes des différents paramètres végétatifs observés aux 14^{ème} et 28^{ème} jours après la levée (JAL) sont présentées dans les paragraphes suivants.

3.1.1. Paramètres végétatifs au 14^{ème} jour après levée

Le Tableau 2 présente les résultats des paramètres végétatifs au 14^{ème} jour après levée (JAL) pour les deux profondeurs, sous les traitements, D_0 (0 kg MO), D_1 (3 kg MO.m⁻²) et D_2 (6 kg MO.m⁻²).

Hauteur des plants

Les traitements D_1 et D_2 avaient donné des valeurs moyennes respectives de 14,2 et 14,8 cm, supérieures à celles du traitement D_0 , dont les plants n'avaient atteint que la taille de 11,7 cm pour les deux profondeurs. L'analyse de la variance appliquée a confirmé une différence significative entre les valeurs moyennes enregistrées avec D_1 et D_2 pour les deux profondeurs par rapport au témoin D_0 , au seuil de probabilité de 5% ($p < 0,05$).

Diamètre au collet

Quant à ce paramètre, les résultats prélevés ont montré des effets significatifs des traitements D_1 et D_2 par rapport au témoin D_0 , pour les deux profondeurs, avec des valeurs moyennes, respectivement de 2,7 et 2,8 mm, contre 2,3 mm pour le traitement D_0 .

Tableau 2. Paramètres végétatifs enregistrés sur la culture du soja au 14^{ème} JAL

| Profondeur (B) | Traitements (C) | Hauteur des plants (cm) | Diamètre au collet (mm) | Nombre des feuilles | Nombre des nodules | Nombre des nodules selon la couleur | |
|---|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------|------------|
| | | | | | | Rose | Blanche |
| 0 - 20cm (1) | D_0 | 12,16b±1,32 | 2,3b±0,12 | 4,33a±0,57 | 2,33a±2,65 | 0 | 0,33a±1,41 |
| | D_1 | 15,2a±3,12 | 2,63ab±0,75 | 4,66a±1 | 0b | 0 | 0a |
| | D_2 | 15,3a±1,34 | 2,8a±0,90 | 4,66a±0,57 | 0b | 0 | 0a |
| 20 - 40cm (2) | D_0 | 11,16b±0,76 | 2,33b±0,40 | 4,0a±0,57 | 1,0ab±1,71 | 0 | 0a |
| | D_1 | 13,2a±1,5 | 2,8a±0,53 | 4,66a±0,57 | 0b | 0 | 0a |
| | D_2 | 14,33a±2,8 | 2,86a±0,95 | 4,66a±0,57 | 0b | 0 | 0a |
| Moyenne de l'essai | | 13,54 | 2,62 | 4,5 | 0,55 | - | 0,05 |
| Profondeur (B) : P-Value (0,05) | | 0,36 | 0,09 | 0,87 | 0,26 | - | - |
| Traitements (C) : P-Value (0,05) | | 0,00*** | 0,00 | 0,04 | 0,04*** | - | - |
| B*C : P-Value (0,05) | | 0,69 | 0,85 | 0,62 | 0,51 | - | - |

Nombre de feuilles

Les résultats de ce paramètre ont montré que les trois traitements D₀, D₁ et D₂ ont donné des

de l'azote pour le besoin de la plante dans ce genre de sol.

3.2.2. Paramètres végétatifs au 28^{ème} JAL

Tableau 3. Paramètres végétatifs enregistrés sur la culture du soja au 28^{ème} JAL

| Profondeur (B) | Traitements (C) | Hauteur des plants | Diamètre au collet (mm) | Nombre des feuilles | Nombre des nodules | Nombre des nodules selon la couleur | |
|---|-----------------|--------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------|------------|
| | | | | | | Rose | Blanche |
| 0 - 20cm (1) | D ₀ | 17,1ab±5,22 | 4,26ab±0,6 | 7,33bc±2 | 7,33a±2,65 | 3,0a±1,15 | 4,33ab±1,2 |
| | D ₁ | 25,36a±4,58 | 6,13a±1,01 | 12,0a±5,13 | 0b | 0b | 0cd |
| | D ₂ | 23,76a±3,77 | 5,6a±1,53 | 9,33abc±4,1 | 0b | 0b | 0cd |
| 20 - 40cm (2) | D ₀ | 12,66b±2,25 | 3,46b±0,32 | 6,33c±0 | 8,66a±2,52 | 3,0a±1,53 | 5,66a±0,97 |
| | D ₁ | 22,6a±1,65 | 5,7a±0,6 | 10,0ab±2,52 | 0b | 0b | 0d |
| | D ₂ | 19,0ab±6,22 | 4,8ab±0,7 | 7,0bc±2,1 | 2,33b±1,71 | 0,33b±3,67 | 2,0bc±5,22 |
| Moyenne de l'essai | | 20,18 | 4,99 | 8,66 | 3,05 | 1,05 | 1,98 |
| Profondeur (B) : P-Value (0,05) | | 0,09 | 0,19 | 0,09 | 0,25 | 0,66 | 0,18 |
| Traitements (C) : P-Value (0,05) | | 0,03*** | 0,02* | 0,01** | 0,00*** | 0,00*** | 0,00*** |
| B*C : P-Value (0,05) | | 0,93 | 0,93 | 0,81 | 0,33 | 0,78 | 0,19 |

Tableau 4. Paramètres de la production de la culture du soja au 100^{ème} Jour Après Semis

| Profondeur (B) | Traitements (C) | Nombre des gousses par plant | Longueur des gousses (cm) | Nombre des gousses vides | Nombre des graines par gousse | Poids de 1000 graines (g) | Rendement en kg.ha ⁻¹ |
|---|-----------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 0 - 20cm (1) | D ₀ | 43,66cd±5,7 | 4,33b±0,3 | 0c | 3,0ab±0 | 133,33a±20,1 | 610,33c±370,2 |
| | D ₁ | 137,33a±18,2 | 5,5a±0,5 | 1c±5,7 | 3,66a±0,7 | 133,33a±32,2 | 3 720a±965,2 |
| | D ₂ | 91,33b±67,3 | 5,16a±0,4 | 5a±19,3 | 3,0ab±0,7 | 146,66a±22,9 | 3 040ab±1652,4 |
| 20 - 40cm (2) | D ₀ | 25,66d±33,2 | 4,1b±0,5 | 0c | 2,66b±0,6 | 120,0a±30,9 | 360,7c±525,3 |
| | D ₁ | 92,0ab±35,6 | 5,16a±0,1 | 0c | 3,0ab±0 | 146,66a±12,1 | 3 480a±844,2 |
| | D ₂ | 88,33bc±32,6 | 5,13a±0,2 | 3,33b±18,5 | 3,0ab±0,6 | 146,66a±24,3 | 2 440b±1643,8 |
| Moyenne de l'essai | | 79,71 | 4,89 | 1,55 | 3,05 | 137,77 | 2 275,16 |
| Profondeur (B) : P-Value (0,05) | | 0,16 | 0,45 | 0,01 | 0,22 | 0,74 | 0,19 |
| Traitements (C) : P-Value (0,05) | | 0,00*** | 0,00 | 0,00*** | 0,08 | 0,58 | 0,00*** |
| B*C : P-Value (0,05) | | 0,07 | 0,66 | 0,21 | 0,27 | 0,58 | 0,78 |

valeurs moyennes quasi similaires, soient, respectivement 4,2 ; 4,6 et 4,6 pour les deux profondeurs. L'analyse de la variance a montré que ces traitement D₁ et D₂ n'ont pas d'effet significatif sur le nombre de feuilles à ce stade de croissance.

Nombre de nodules et leur couleur intérieure

En ce qui concerne ces paramètres relatifs aux nodules, les résultats obtenus montrent que le témoin D₀ avait donné une moyenne de 1,7 nodules, valeur supérieure à celles des traitements D₁ et D₂ ayant reçu la MO et qui n'ont porté aucun nodule. Toutefois, chez les témoins, leur nombre n'était que de 1 à 2, en moyenne, pour les deux profondeurs et ils étaient tous de couleur blanche à l'intérieur. Deux facteurs pourraient expliquer cette absence totale de nodule sur les racines des plants ayant reçu la MO (D₁ et D₂). Il s'agit de pH fortement acide empêchant le développement, voire l'activité des *Rhizobiums*, dans le sol (Domergue, 2017), et la présence de la MO enrichissant le sol en azote. De toutes les façons, la présence d'un à deux nodules, seulement, sur les racines des plantes témoins est une preuve éloquentes qui nous prouve qu'il est illusoire de compter sur la fixation symbiotique

Dans le Tableau 3, ci-dessous, sont présentés les résultats sur l'état des paramètres végétatifs de notre essai au 28^{ème} JAL pour les deux profondeurs en relation avec les trois traitements, D₀ (0 kg MO), et D₁ (3 kg MO.m⁻²) et D₂ (6 kg MO.m⁻²).

Etat des paramètres végétatifs au 28^{ème} JAL

Concernant l'état des paramètres végétatifs au 28^{ème} JAL, les résultats des trois traitements pour les deux profondeurs montrent que les traitements D₁ et D₂ ont bien stimulé le processus végétatif en donnant des valeurs moyennes supérieures par rapport au témoin D₀ en ce qui concerne la hauteur des plants, le diamètre au collet et le nombre de feuilles. Quant au nombre de nodules et leurs couleurs à l'intérieur, c'est le traitement D₀, n'ayant pas reçu la MO, qui avait accru le nombre des nodules, passant de 1,7 au 14^{ème} jour à 8, en moyenne, au 28^{ème} jour. Ces nodules dont plus de 50% étaient de couleur blanche à l'intérieur restent, certes, insuffisants en nombre pour pouvoir approvisionner, à la satisfaction, la plante en azote.

A l'exception du nombre des nodules, les traitements D₁ et D₂ ont montré des effets

significatifs pour les différents paramètres végétatifs mesurés.

3.3. Paramètres de la production

3.3.1. Paramètres productifs au 100^{ème} JAL

Le Tableau 4 présente les résultats des paramètres de la production de la culture du soja au 100^{ème} jour après la levée (JAL) pour les deux profondeurs considérées.

Nombre des gousses par plant

Les résultats enregistrés ont montré un effet significatif des traitements D_1 et D_2 par rapport au témoin D_0 . Les valeurs moyennes les plus élevées ont été obtenues avec le traitement D_1 qui a favorisé la formation de gousses pour les deux profondeurs, dont le nombre était de 137 sur le sol de surface et de 92 sur le sol de profondeur. Avec le traitement D_2 , ces valeurs moyennes étaient, respectivement de l'ordre de 91 sur le sol de surface et 88 sur le sol de profondeur. Cependant, pour les plantes témoins ces nombres moyens de gousses sont de l'ordre de 33 gousses sur le sol de surface et 25 sur le sol de profondeur. L'analyse de la variance a confirmé cette différence significative entre les traitements au seuil de probabilité de 5% ($p < 0,05$).

Ces différences peuvent être attribuées à une carence en nutriments avec le traitement D_0 , contre, une surabondance avec le traitement D_2 , particulièrement en azote, qui pourrait avoir favorisé la croissance végétative au détriment de la floraison.

Longueur des gousses

Les traitements D_1 et D_2 ont des effets significatifs (au seuil de probabilité de 5% ($p < 0,05$)) sur la longueur des gousses par rapport au témoin D_0 . Les valeurs moyennes obtenues sont, respectivement, de 5,3 cm et 5,1 cm, avec D_1 et D_2 contre 4,2 cm avec le témoin D_0 .

Nombre des gousses vides par plant

Le nombre des gousses vides était de 4,2 pour le traitement D_2 , valeur moyenne supérieure par rapport à celles des traitements D_0 et D_1 qui étaient, respectivement, de 0 et 1 gousse vide pour les deux profondeurs ($D_0 < D_1 < D_2$). L'analyse de la variance a confirmé cette différence entre les traitements au seuil de probabilité de 5% ($p < 0,05$) qui serait liée, probablement, à l'inhibition de la floraison et fructification induites par l'excès d'azote suite à la forte dose de la MO apportée au traitement D_2 .

Nombre des graines par gousse

Avec les trois traitements D_0 , D_1 et D_2 les nombres moyens de graines par gousse sont semblables, soient, respectivement 3 ; 3,3 et 3 pour les deux profondeurs ($D_0 = D_2 \leq D_1$). L'analyse de la variance a confirmé un effet non significatif au seuil de probabilité de 5% ($p < 0,05$). Ceci peut être attribué à une caractéristique génétique liée à la variété.

Rendement en kg.ha⁻¹

Quant à ce paramètre, les résultats obtenus montrent que le traitement D_1 a donné, pour les deux profondeurs, en moyenne l'équivalent de 3 600 kg de graines.ha⁻¹, soit 3 720 kg sur le sol de surface et 3 480 kg sur le sol de profondeur. Ces valeurs moyennes sont significativement supérieures à celles des deux autres traitements qui n'avaient donné, en moyenne, que 1642 kg.ha⁻¹ pour D_2 et 485,5 kg.ha⁻¹ pour D_0 pour les deux profondeurs. L'analyse de la variance avait confirmé cette différence entre les traitements au seuil de probabilité de 5% ($p < 0,05$). Le rendement obtenu avec la dose de 3 kg MO. m⁻² semble être lié au grand nombre des gousses produites qui dépasse, de loin, celui obtenu en milieu contrôlé (700 à 900 kg.ha⁻¹) et non contrôlé (500 à 600 kg.ha⁻¹). Ces résultats confirment ceux notés par Anonyme (2008).

Ces résultats confirment qu'il est illusoire de croire que la culture légumineuse de soja, serait capable de s'auto-suffire en azote pour son métabolisme normal, dans ce sol qui ne contient, quasiment, pas de *Rhizobiums* susceptibles de contribuer à la fixation de l'azote atmosphérique. A contrario, les rendements des plants ayant reçu les traitements D_1 et D_2 , nous confirment que cette légumineuse a, plutôt, besoin d'un apport en azote conséquent pour améliorer sa productivité. L'apport de la matière organique riche en azote et facilitant la libération d'autres éléments nutritifs du sol, notamment le phosphore, pourrait expliquer la bonne performance des traitements ayant reçu cet amendement.

Poids de 1000 graines

Selon les résultats obtenus après la pesée, tous les trois traitements D_0 , D_1 et D_2 ont donné des valeurs moyennes statistiquement similaires, respectives de 126,7 ; 137 et 146,7 g pour les deux profondeurs ($D_0 \leq D_1 \leq D_2$). Selon Anonyme (2008) et Tshilenge (2014), la moyenne reconnue pour cette variété variant entre 140 et 150 g.

4. CONCLUSION

Ce travail, a été réalisé sur un sol qui peut être classé dans la catégorie des sols extrêmement acides avec un pH variant entre 3 et 4,5. C'est un sol appartenant à la catégorie des sols pauvres en azote (< 0,05%) et modérément pourvu en phosphore disponible (15-25ppm) dans le sol de surface et modérément faible dans le sol de profondeur (6-10ppm). Le seuil relativement élevé de phosphore disponible dans le sol de surface, est attribué à son exploitation continue entant que parcelle expérimentale à l'université. Quant à la faible teneur en phosphore disponible en profondeur, dans le sol est le résultat de la complexation de l'élément avec le fer (Fe^{3+}) et l'aluminium libres (Al^{3+}) en raison du pH très bas.

L'apport de la matière organique, appliqué dans ce travail, a montré une amélioration significative de la productivité de sol étudié. La dose équivalente à 30 Mg MO.ha⁻¹ (D₁) a montré une supériorité par rapport à l'effet enregistré avec la première application (3 600 kg.ha⁻¹). Cependant, le double de cette dose, quoiqu'ayant produit un rendement plus faible (1 642 kg.ha⁻¹, moyenne de deux profondeurs), pourrait avoir un effet résiduel plus important que la dose de D₁ (3 kg MO.m⁻²). Toutefois, son rendement reste supérieur à celui du traitement témoin (485,5 kg.ha⁻¹).

Eu égard à ce qui précède et en raison de l'allure croissante des valeurs de tous les paramètres étudiés, avec la dose D₁, nous pouvons conclure que l'apport de la matière organique à base de *Tithonia diversifolia*, du moins à la première saison de culture, semble être un remède approprié pour l'amélioration de ce type des sols. Il est, néanmoins, souhaitable de multiplier ce genre d'études avec d'autres plantes cultivées sur des saisons continues pour proposer des pistes des solutions idoines au problème de la fertilité des sols acides, voire très acides pour permettre une exploitation durable de la ressource terre dans beaucoup de régions sous les tropiques.

REFERENCES

Alongo, S., Visser, M., Drouet, T., Kombele F., Colinet, G., Bogaert, J. (2013). Effets de la fragmentation des forêts par l'agriculture itinérante sur la dégradation de quelques propriétés physiques d'un Ferralsol échantillonné à Yangambi, R.D. Congo. *Tropicultura*, 31 (1), 36-43.

Anonyme (2008). "Catalogue variétal des cultures vivrières". Service National de Semences

(SENASA) avec l'appui du projet CTB « Semences », Ministère de l'agriculture, pêche et élevage, République Démocratique du Congo. Kinshasa: CTB, Ed.

Asbon, P., Oloo, P., Orangi, R. (2015). "Effects of *Tithonia diversifolia*, farmyard manure and urea, and phosphate fertilizer application methods on maize yields in western Kenya", 116(1), 1-9.

Atyi, E. R., Boukong, A. (2010). "Analyse de l'impact économique, social et environnemental de la dégradation des terres en Afrique Centrale". Mécanisme Mondial de l'UNCCD au Fonds International pour le Développement Agricole (FIDA) Via Paolo di Dono, 44 00142 Rome, Italie Fax: +39 06 5459 2135 / 7150, pp. 1-55.

Bado, B. V. (2002). "Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso", Thèse présentée à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval, pp. 1-197.

Baize, D., Girard, M. C. (2009). *Référentiel pédologique. Savoir-faire*, Association française pour l'étude du sol, Editions Quae, Amazon France, pp. 405.

CTB (2008). "Réinventer la ville". Edition spécial, 3ième République & reconstruction du pays. *Le magazine de la coopération belge en république démocratique du congo*, 4, 1-36.

Dabin, B. (2016). "Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux". Les formes du phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. *Soil Science*, 16, 22-42.

Dagnelie, P. (2012). "Principes d'expérimentation : Planification des expériences et analyse de leurs résultats". Edition électronique, <www.dagnelie.be>, pp. 413.

Debaveye, J. (1985). "Handbook for data Interpretation". Soil survey technical document, vol 2, Gent, pp. 125.

Diallo, M. D., Saleh, M. M., Ndiaye, O., Diop, A., Guisse, A. (2015). "Influence de la décomposition de la nécro-masse des espèces végétales tropicales sur le pH et la structure génétique des communautés bactériennes d'un sol ferrugineux tropical au Sénégal". *Journal of Applied Biosciences*, 8547 - 8558.

Djeke, M. D., Kouassi, P., Angui, T., Kouadio, J. Y. (2011). "Décomposition des broyats de coques de cacao dans les sols ferrallitiques de la zone d'Oumé, centre-ouest de la Côte d'Ivoire : effets sur les caractéristiques chimiques des sols", 15(1), 109-117.

Domergue, O. (2017). "Diversité fonctionnelle des rhizobia associés à la féverole en agro-

- écosystème Sud de France". Interactions entre organismes. Université Paris sciences et lettres, 2017. Français. ffnNT: 2017PSLEP067ff. fftet-02107043v2. 232 pp.
- Drouet, T. (2010). "Pédologie". *BING-F-302* (Vol. 302), pp. 1-138. Retrieved from <http://www.ulb.ac.be/sciences/lagev>.
- Falasi, R. N., Mutombo, F. L., Mufwaya, C. K., Lumpungu C. K. (2016). "Comparaison des surfaces foliaires mesurées par trois méthodes : planimétrie, papier millimétré et technique rectangulaire. Congo Sciences, International Journal. ISSN : 2410-4299.
- Ganunga, R. P., Yerokun, O. A., Kumwenda, J. D. T. (2005). "Contribution de *Tithonia diversifolia* au rendement et à l'absorption des éléments nutritifs du maïs dans l'agriculture à petite échelle du Malawi", 22:4, 240-245, DOI: 10.1080/02571862.2005.10634714, janvier 2005.
- Harter, R. D. (2007). "Les sols acides des tropiques". *ECHO. Note Technique*, 17391 Durrance Road, North Fort Myers, FL 33917, USA, pp. 1-12.
- Hebebrand, C. (2015). "Pour une nutrition des plantes responsable". Fondation Pour l'agriculture et La Ruralité Dans Le Monde. RENCONNUE D'UTILITE PUBLIQUE., Point de vue n° 4, 1-20.
- Jama, B., Palm, C., Buresh, R. J., Niang, A., Gachengo, C., Nziguheba, G., Amadalo, B. (2000). "*Tithonia diversifolia* comme engrais vert pour l'amélioration de la fertilité des sols dans l'ouest du Kenya" : Une revue. *Systèmes agroforestiers*, 49 (2): 201-221.
- Jiri, O., Waddington, S. R. (1998). "La taille des feuilles de deux espèces de *tithonia* augmente le rendement en grains de maïs au Zimbabwe, mais demande beaucoup de travail" ! *Bulletin de Soil Fert Net, Harare, Zimbabwe. Cible 16* : 4-5.
- Kaho, F., Yemefack, M., Tchantchaouang, J. C. (2011). "Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun", *TROPICULTURA*, 29, 1, 39-45.
- Kasongo, E., Mwamba, T., Tshipoya, P., Mukalay, J., Useni, Y., Mazinga, M., Nyembo, L. (2013). "Réponse de la culture de soja (*Glycine max* L. (Merril) à l'apport des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray comme fumure organique sur un Ferralsol à Lubumbashi, R.D. Congo". *Journal of Applied Biosciences*, 63, 4727-4735.
- Kasongo, R. K., Ranst, E. V., Kanyankogote, P., Verdoodt, A., Baert, G. (2012). "Réponse du soja (*Glycine max*) à l'application de phosphate de Kanzi et de dolomie rose de Kimpese *Glycine max* sur sol sableux en RD Congo". *Canadian journal of soil science*, 905-916.
- Koné, B., Diatta, S., Saïdou, A., Akintayo, I., Cissé, B. (2009). "Réponses des variétés interspécifiques du riz de plateau aux applications de phosphate en zone de forêt au Nigeria". *Can. J. Soil Sci.* 89:, 555-565.
- Kouamé, C., N'Gbesso, M., Adako, M., Tahouo, O. (2007). "Bien cultiver le soja en Côte d'Ivoire". Direction des programmes de recherche et de l'appui au développement -Direction des innovations et des systèmes d'information CNRA, 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire.
- Lele, 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 de l'école régionale post-universitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux -ÉRAIFT-, pp 1-243.
- Masse, D., Hien, V., Bilgo, A., Diatta, M., Manlay, R. J., Chotte, J-L. (2005). "Matières Organiques et Activités Biologiques dans les sols tropicaux des cycle Culture-Jachère". Résumé, pp. 1-18.
- Matthieu, C., Pieltain, F. (2003). "Analyse chimique des sols, méthodes choisies" ; Ed Tec et doc ; Lavoisier, Paris, pp. 387.
- Mukalay, J. (2013). "Etude des paramètres chimiques des Ferralsols, Acrisols, Alisols et Plinthosols dans la zone agricole du Haut-Katanga (RD Congo) et possibilités d'utilisation de la flore adventice comme bio-indicatrice de la dégradation des sols". Retrieved from UNIVERSITE DE LUBUMBASHI, pp. 1-63.
- Mukalay, J. (2016). "Etude des paramètres chimiques des Ferralsols, Acrisols, Alisols et Plinthosols dans la zone agricole du Haut-Katanga". Thèse, Département de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, pp. 255.
- Muliele, T. M., Nsombo, B. M., Kapalay, O. M., Mafuka, P. M. (2017). "Amendements organiques et dynamique de l'azote minéral dans le sol sableux de Kinshasa (RD Congo)". *Journal of Animal & Plant Sciences*, 32(2), 5156-5167.
- Mwembo, S. (2010). "Comparaison des différentes doses de *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray, sur la patate douce (*Ipomoean batatas* L.) cultivée sur billons et à plat dans la région de Mbuji-Mayi", 1, 36.

- Retrieved from Université Officielle de Mbuji-Mayi.
- Ngongo, L., Van Ranst, E., Baert, G., Kasongo, E. L., Verdoodt, A., Mujinya, B.B., Mukalay, J. M. (2009). "Guide des sols en R.D. Congo". Tome I : Etude et de gestion. UNILU, Lubumbashi, pp. 1-262.
- Niang, A., Ugiziwe, J., Styger, E., Gahamanyi, A. (1996). "Forage potential of eight woody species: intake and growth rates of local young goats in the highland region of Rwanda". *Agroforestry systems*, 34 (2): 171-178.
- Nieuwenhuis, R., Nieuwelink, J. (2005). "La culture du soja et d'autres légumineuses". Série Agrodok No. 10, Fondation Agromisa, Wageningen, Pays-Bas.
- Nkongolo, M., Lumpungu, K., Kizungu, V., Kalambaie, M., Tshimbombo, J., Mukendi, K. (2016). "Comparative effects of organique manure (*Tithonia diversifolia* and Bat-Guano) on the crop yield of corn (in monoculture and in association with cowpea) in Ngandagika region in central Democratic Republic of Congo". *IJDR*, 6, 6410-6416.
- Omasombo, J., Marysse, S. (2015). "Conjonctures Congolaises 2014: Politiques, Territoires Et Ressources Naturelles : Changements et Continuités", Editions Le Harmattan, pp. 316, 15 avril 2015.
- Pauwels, J. M., Van Ranst, E., Verloo, M., Demeyer, A. (1992). "Manuel de laboratoire de pédologie: méthode d'analyse des sols et des plantes, équipements, gestion des stocks de verrerie et des produits chimiques". Publication agricole-28.
- Rabefiraisana, J. (2015). "Analyse des paramètres physico-chimiques des sols de Kianjasoa, d'Ambobisaina et d'Ambatobe". Rapport de stage (G/DHD). pp. 1-44.
- Rabeharisoa, R. (2004). "Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar". Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Naturelles, Département de Biologie et Ecologie végétales, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, pp. 1-213.
- Roose, E. (2007). "Restauration de la productivité des sols tropicaux". Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9, novembre 2007.
- Ruyck, D. (2000). "L'étude du Sol en Zone Tropicale (C.R.P.)". Mbuji-Mayi, pp. 54.
- Rwigema, J. B., Van de Berger, C. H., Mujawayezu A. M., Sota, P. (1993). "Interaction entre le fumier enrichi, le calcaire et les différentes sources de phosphore issues de la roche phosphatée de Matongo sur un ferralsol de la région du Bututsi (Burundi)". *TROPICULTURA*, 11(2), 61-66.
- Sadio, S. (2007). "Techniques de conservation des sols et de gestion intégree de la fertilité en appui au programme de sécurité alimentaire. Guide pratique de terrain". Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et Agriculture « FAO », pp 1-96.
- Shomba Kanyinda, S., Olela Nonga, D. (2015). "Monographie de la ville de mbujimayi". Editions M.E.S. (MÉDIASPAUL). Kinshasa, pp. 1-104.
- Soltner, D. (1987). "Les bases de la production végétale". Tome 1. Le sol. 15^e ed. Science et technique, pp. 1-464.
- Somé, N. A., Hien, V., Ouédraogo, S. J. (2006). Amélioration du statut organique d'un sol ferrugineux tropical lessivé sous jachère artificielle à *Andropogon* spp . au Burkina Faso : effet des traitements sur la chimie du sol. *Tropicultura*, 24(4), 200-207.
- Tshibingu, R., Tshilumba, T., Mpoyi, M., Mutamba, B., Kabongo, D., Ilunga, M., Ngoie, J., Ngoyi, D., Munyuli, T. (2017). "Évaluation de la productivité du maïs (*Zea mays* L .) sous amendements organique et minéral dans la province de Lomami , République Démocratique du Congo". *Journal of Applied Biosciences* 109; (April), 10571-10579.
- Tshilenge, D. K. P. (2014). "Phytotechnie spéciale. Notes de cours destinées aux étudiants du premier grade Phytotechnie". UNIKIN. Kinshasa : inedit, pp 161.
- Vadez, V., Bossuet J. (2013). "L'avenir des céréales et des légumineuses des terres arides pour le petit agriculteur dans les tropiques semi-arides". *Sécheresse*, 24. pp. 250-251. ISSN 1147-7806.
- Van Ranst, E., Verloo, M., Demeyer, A., Pauwels, J.M. (1993). "Manual for the soil chemistry and fertility laboratory: analytical methods for soil and plants equipment, and management of consumables". Faculty agricultural and applied biological sciences, University of Ghent. Belgium.