

Fertilisation organo-minérale du manioc à base de Neptune's Harvest™ à Mvuazi à l'Ouest de la République Démocratique du Congo

Ndonda Adrien, Bakelana Tony, Loko Kevine, Tevo Ndomateso, Tambu Evariste, Simon Ngongi, Constantine Manzenza, Mahungu Nzola

¹Université du Kwango (UNIK), BP 41. Kinshasa 1, Ville de Kenge, Province du Kwango, RDC

²Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomique (INERA), Programme National Manioc (PRONAM), Centre de Recherche de Mvuazi, Province du Kongo Central, RDC

³Africa Trading International LLC, USA, New Haven, CT 06515, Connecticut, United States

⁴Université Kongo (UK) & Institut Supérieur d'Etudes Agronomique (ISEA)/ Mvuazi. Kongo Central, RDC

*Auteur correspondant : ad.ndonda@gmail.com, Tel: +243 814310009

Submission 12th September 2024. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 31st October 2024. <https://doi.org/10.35759/JABs.201.7>

RÉSUMÉ

Objectif : L'essai visait (i) à évaluer l'efficacité des biofertilisants du type Neptune's Harvest™ en sol dégradé et acide des régions de forte production du manioc, (ii) à analyser les avantages et éventuels inconvénients découlant de l'usage de ces biofertilisants sur le sol et les cultures et, (iii) à déterminer la spécificité de ces fertilisants vis-à-vis des variétés de manioc et les possibles interactions lorsqu'ils sont apportés en combinaison avec les fertilisants minéraux conventionnels.

Méthodologie et résultats : Un essai était conduit suivant le dispositif expérimental factoriel 3 x 10 étalé sur terrain en split plot de 3 répétitions. Le premier facteur pris à 3 niveaux comprenait 3 variétés de manioc désignées suivant le type de leur port. On avait la variété Mayombe à port dressé, la variété Ilona à ramification moyenne et la variété Kansakako à ramification basse. Le deuxième facteur pris à 10 niveaux était étalé en parcelles divisées (split plot) dans les différentes variétés et avait comparé les apports de fertilisation suivante T1 : NPK₁₇₋₁₇₋₁₇ seul, 300 kg/ha appliqués à 1 mois après plantation (MAP), T2 : Kelp Meal 1-0-2 unités NPK, T3 : Fish Fertilizer 2-4-1 unités NPK, T4 : Seaweed Plant food 0-0-1 unités NPK, T5 : Turf formula 2-0-2 unités NPK, T6 : T2 + NPK, T7 : T3 + NPK, T8 : T4 +NPK et T9 : T5+NPK comparé au Témoin sans apport des fertilisants. Après les analyses de variances et la comparaison multiple de moyennes suivant le test de signification *t* de Student, les fertilisants Kelp Meal et Fish Fertilizer ont été plus intéressants pour la culture du manioc ($p < 01$) et relativement la combinaison du turf formula avec l'engrais NPK₁₇₋₁₇₋₁₇. Kelp Meal a permis un accroissement du rendement de racines du manioc de l'ordre de 42,5 % par rapport au témoin. Cet accroissement est de l'ordre de 32% lorsqu'on compare Fish Fertilizer au témoin et les mêmes tendances sont observées en prenant le rendement en poids sec. Des améliorations significatives

sont observées dans les propriétés physiques, biologiques et chimiques du sol avec le maintien de la matière organique et ainsi une amélioration positive du complexe absorbant des sols bio-fertilisés.

Conclusion et application : Les bio-fertilisants Neptune's Harvest™ ont démontré leur performance et leur durabilité dans la fertilisation des sols sous manioc. Ils conviennent pour une production soutenue du manioc même en sol dégradé des tropiques.

Mots clés: Biofertilisants Neptune's Harvest™, fertilisation organo-minérale, manioc, sols tropicaux

ABSTRACT

Objective: The test study aimed (i) to evaluate the effectiveness of Neptune's Harvest bio-fertilizers in degraded and acidic soil in regions of high cassava production, (ii) to analyze advantages and possible disadvantages arising from the use of these biofertilizers on the soil and crops and (iii) to determine the specificity of these fertilizers vis-à-vis cassava varieties and the possible interactions when they are added in combination with conventional mineral fertilizers.

Methodology and results: A study was conducted according to experimental factorial device 3 x 10 spread out on the ground in a split plot of 3 repetitions. The first factor taken at 3 levels included 3 cassava varieties designated according to their growing habit. There was an upright Mayombe variety, a medium-branching variety 'Ilona' and a low-branching variety 'Kansakako'. The second factor taken at 10 levels was spread out in divided plots (split plot) in the different varieties and had compared the following fertilization intakes T1: NPK 17-17-17 alone, 0,3 t.ha⁻¹ applied at 1 Month after planting (MAP), T2: Kelp Meal 1-0-2 NPK units, T3: Fish Fertilizer 2-4-1 NPK units, T4: Seaweed Plant food 0-0-1 NPK units, T5: Turf formula 2-0-2 units NPK, T6: T2 + NPK, T7: T3 + NPK, T8: T4 +NPK and T9: T5+NPK compared to the Control without fertilizer intake. After the analyses of variances and the multiple comparison of averages following the Student's t-significance test, the fertilizers Kelp Meal and Fish Fertilizer are interesting for cassava crop ($p < .01$) and relatively the combination of turf formula with the fertilizer NPK 17-17-17. Kelp Meal allowed an increase in yield of cassava roots in order of 42.5% compared to the control. This increase in order of 32% when comparing Fish Fertilizer to control was observed and the same trends were also observed when taking the yield by dry weight. Significant improvements are observed in the physical, biological and chemical properties of the soil with the maintenance of organic matter and thus a positive improvement in the absorbent complex of biofertilized soils.

Conclusion and application: Neptune's Harvest biofertilizers have demonstrated their performance and durability in soil fertilization under cassava. They are suitable for sustained cassava production even in degraded soil in the tropics.

Keywords: Neptune's Harvest™ biofertilizers, organo-mineral fertilization, cassava, tropical soils

INTRODUCTION

Durant les dix dernières années, plusieurs types de fertilisants tant organiques que minéraux ont été testés sur la culture du manioc en République Démocratique du Congo (RDC) et des résultats parfois controversés ou peu probants ont été obtenus. On est parvenu à conclure dans certains sites que la réponse des quelques fertilisants dépendait des variétés de manioc et que l'application de nombreux parmi eux (fertilisants) n'apporterait pas un avantage si on voulait produire rationnellement le manioc en racines tubéreuses. Des résultats obtenus dans trois zones agroécologiques différentes de la RDC principalement à Kisangani, aux centres de recherche de l'INERA Ngandajika (-6.80773, 23.96135), de l'INERA Mvuazi (-5.43935, 14.8874) et de l'INERA Yangambi (0.76249, 24.46295) sur les apports de différentes doses du NPK dans le manioc ont démontré que lorsque ces fertilisants sont appliqués seuls sans un apport supplémentaire de la matière organique au sol, la réponse du manioc pour la plupart de cas, n'est pas différent statistiquement lorsque comparé aux parcelles non fertilisées. Des cas très probants ont été obtenus à Yangambi et à Kisangani où on a constaté que les apports de N, de P et K seraient même à la base de la baisse de rendement chez certaines variétés de manioc telles que Ngandajika, Obama et Zizila (Kintché *et al.*, 2017). Des tests réalisés dans l'ancienne province du Bandundu, au Plateau de Batéké et dans la Province du Kongo Central où NPK était associé ou pas à la biomasse verte de *Chromolaena odorata*, ont montré la nécessité d'associer les engrais minéraux à la fumure organique si on veut des apports de fertilisants plus rentables économiquement (Ndonda *et al.*, 2011). Il faut cependant épingler le fait selon lequel que le besoin en

matière organique se compte en des dizaines de tonnes par hectare et que l'acquisition des pareilles quantités n'est pas toujours facile à disposer surtout lorsqu'on veut recourir à une agriculture rationnelle et raisonnée sur des grandes superficies. Le recours aux fertilisants organiques constituerait une alternative pour contourner cette difficulté qui est l'apport d'importantes quantités de matières organiques par unité de surface et c'est pour cette raison, qu'une évaluation de quelques bio-fertilisants du type *Neptune's HarvestTM* a été faite à Mvuazi au Kongo Central sur trois variétés de manioc. *Neptune's HarvestTM* est une marque des universités américaines, Florida University et University of Massachusetts et présente une gamme importante de fertilisants organiques dont quatre viennent d'être testées sur le manioc à Mvuazi. Les études incontestables des laboratoires agronomiques de ces 2 universités ont bien démontré que l'utilisation des engrais chimiques détruit l'environnement. Elle réduit, par conséquent, de manière considérable une grande partie de la vie biologique, ainsi que la vitalité d'autres éléments nutritifs du sol. Les engrais organiques ont un impact positif sur la structure et la fertilité du sol. Ils contribuent à augmenter la capacité de rétention d'eau dans un sol sablonneux et la porosité dans les sols lourds (argileux). Ils rendent faciles la pénétration des racines, fournissent l'alimentation aux nombreux champignons, bactéries et arthropodes indispensables à l'organisation du circuit biologique (Tchaniley *et al.*, 2020). La matière organique permet au sol d'avoir une bonne constitution de sa structure réduisant ainsi les effets pervers de potentielles érosions de sol surtout dans les régions tropicales où les climats sont réputés très agressifs avec des

¹ *Organic Neptune's Harvest. All natural organic fertilizer/Tous les fertilisants organiques naturels. Pourquoi le fertilisant organique Neptune's Harvest ?*

pluies diluviennes et abondantes et des températures diurnes excessives et anormales. Ces conditions occasionnent des fortes migrations des éléments minéraux du sol hors de la zone rhizosphérique et les rendent inassimilables par les racines de culture "*Neptune's HarvestTM* est un engrais organique fabriqué à partir d'un mélange de plusieurs espèces de poissons frais et comestibles des eaux claires de l'Atlantique Nord. Ces poissons subissent un traitement à froid (hydrolyse) qui produit une gamme très diversifiée des substances nutritives entre autres les vitamines, les acides aminés, les enzymes ainsi que les hormones nécessaires à la croissance optimale des plantes. C'est grâce à cette hydrolyse que l'engrais qui en découle est plus stable, inodore et facile à manipuler. L'engrais *Neptune's HarvestTM* ne présente aucun danger biologique pour le sol. Au contraire, il favorise la croissance des bactéries indispensables pour l'amélioration

MATERIEL ET METHODES

L'essai était conduit à l'Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomique (INERA), Centre de recherche de Mvuazi, dans le site *Za-kia-mbota* (A19 ou A 20) dans la vallée de *Mankewa*. Site situé dans le Kongo Central en République Démocratique

du sol. Il permet une bonne porosité du sol qui reste humide et résilient au stress hydrique caractéristique des sols à granulométrie grossière. Ces bio-fertilisants régénèrent donc le sol et permettent une croissance excellente des plantes et en augmentent la production. Cette étude vise à évaluer l'efficacité des fertilisants du type *Neptune's HarvestTM* en sol dégradé et acide des régions de forte production du manioc. Le manioc étant la principale culture vivrière en RD Congo, l'étude vise aussi à analyser les avantages et éventuels inconvénients découlant de l'usage des biofertilisants du type *Neptune's HarvestTM* sur le sol et les cultures pour le cas de plantes à racines et tubercules dont le manioc et, à déterminer la spécificité de ces fertilisants vis-à-vis des variétés de manioc et les possibles interactions lorsqu'ils sont apportés en combinaison ou non avec les fertilisants minéraux conventionnels.

du Congo (RDC) et dont les coordonnées géographiques du site de l'essai sont : Latitude: -5,45132 et Longitude : 14,89786, Altitude 429 m au-dessus du niveau de la mer.

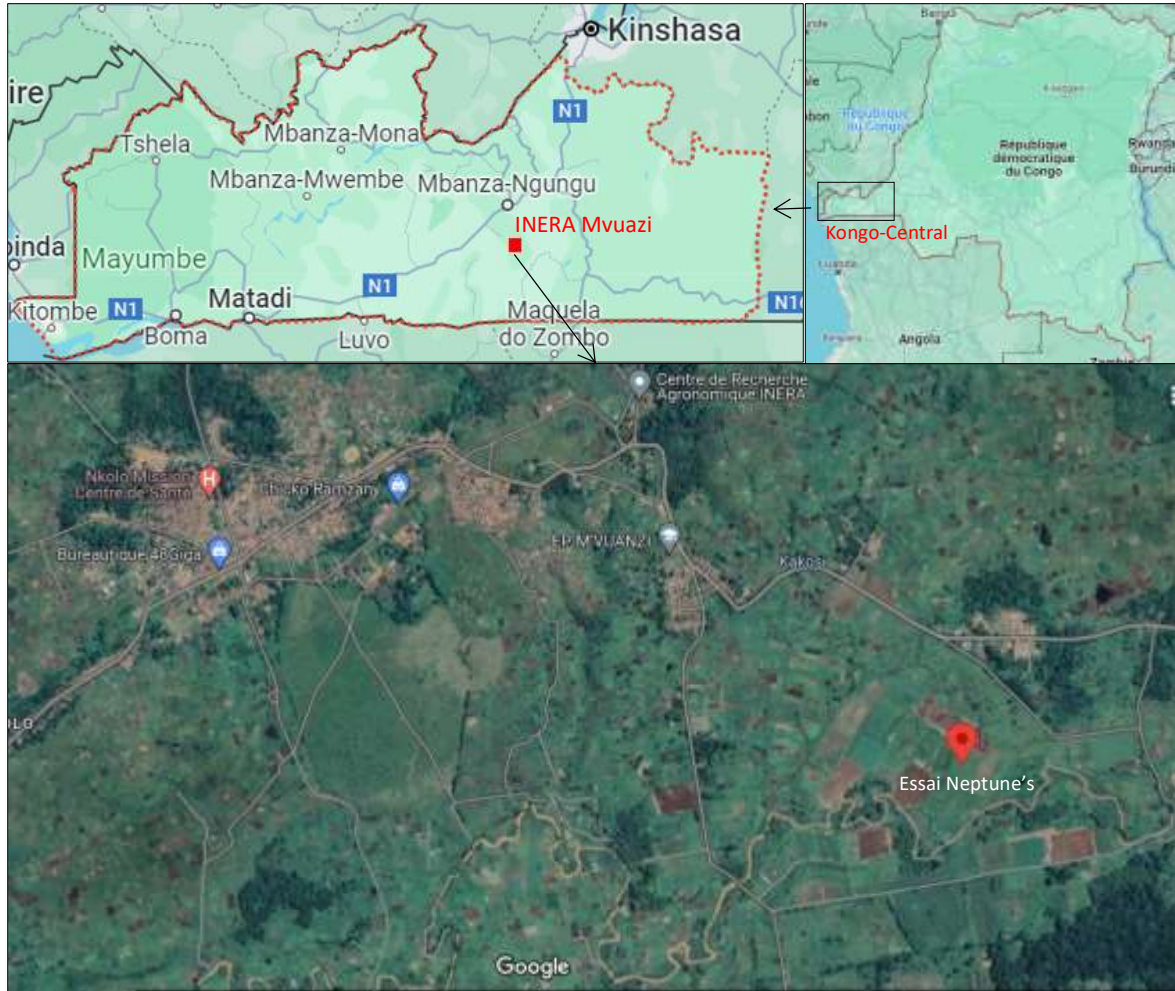


Figure 1: Site expérimental de Mankewa à l'INERA Mvuazi (carte réalisée sur Google Mymaps)

a) Sol : Le sol est alluvionnaire à partir des crues des rivières Mvuazi et N'kokozi. Les analyses des sols effectuées sur le site ont indiqué les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques telles que représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Propriétés des sols à 0-30 cm et 30-45 cm prises dans le site de l'essai à Mankewa à Mvuazi

Profondeur	pH		Mat org.	N ammo	P assimilable	Ca ²⁺ éch	Mg ²⁺ éch	K ⁺ éch	Al ³⁺ éch	Argile	Limon	Sable
	(H2O)	KCl	%	ppm	mg.kg ⁻¹	cmol(+).kg ⁻¹				%	%	%
0-30 cm	5,29	4,29	2,6	93,5	23,8	5,91	16,78	0,01	0,09	7,2	36,78	56,02
30-45 cm	5,64	4,28	1,43	90,1	17,57	7,66	4,24	0,02	0,13	25,6	25,12	49,28

Mat org : matière organique, N ammo = azote ammoniacale

b) Climat : Appartenant au type Aw4 dans la classification de Köppen, on obtient deux pics de précipitations durant l'année entre autres au mois d'avril et au mois de novembre (courbe de couleur rouge à gauche de la figure 2). La période partant de la deuxième moitié du mois de mai jusqu'à la fin du mois d'août est réputée sèche où les précipitations moyennes journalières oscillent autour de 0 mm de pluie (figure 2). Ces précipitations sont aussi faibles vers la fin du mois de

janvier et durant le mois de février (les moyennes journalières sont comprises entre 1 à 3 mm de lame pluviométrique). L'évapotranspiration potentielle annuelle est constante et est autour d'une moyenne journalière de 3 mm. Les températures moyennes journalières à Mvuazi sont peu variables. Elles sont plus basses entre le mois de mai et le mois d'août correspondant à la saison sèche sur le site. Ces températures sont plus élevées en mars et en avril (figure 2).

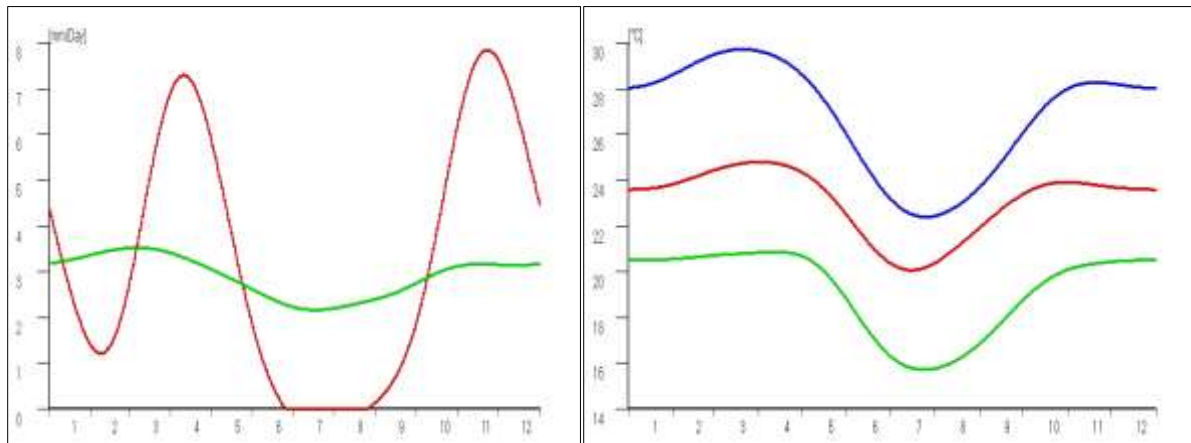


Figure 2 : Courbe ombrothermique de précipitations et d'évapotranspiration Potentielle ETP en mm/jour (à gauche) et de températures journalières en °C (à droite) à Mvuazi

Source : Logiciel New Loc_Clim estimator

Légende : PET : Evapotranspiration potentielle

1-12 dans l'abscisse représente le mois de l'année (1 = janvier 12 = décembre)

c) Saisons : Suivant le rythme des précipitations, on distingue 3 saisons culturelles dans le site de Mvuazi notamment la grande saison de pluie dite saison A partant de la première semaine du mois d'octobre pour prendre fin en mi-janvier. Ensuite une courte période sèche prend la seconde moitié du mois de janvier et se poursuit parfois jusqu'aux premières semaines du mois de mars. Cette période sèche devient plus marquée sur une bonne partie du mois de février. Les températures sont élevées et permettent de préparer le sol pour la saison B qui part dès les premières semaines du mois

de mars et s'étend jusqu'à la limite du mois de mai. La grande saison sèche (Saison C) relativement longue prend un peu plus de 4 mois. Elle part de la dernière semaine du mois de mai jusqu'à la première semaine du mois d'octobre. Elle est plus marquée entre juin et mi-septembre où on obtient des lames mensuelles de précipitations de l'ordre de 0 mm. Dans ce site, c'est pendant cette saison que se pratiquent les cultures maraîchères et la culture de haricot dans les bas-fonds humides ou jonchés des cours d'eau intarissables.

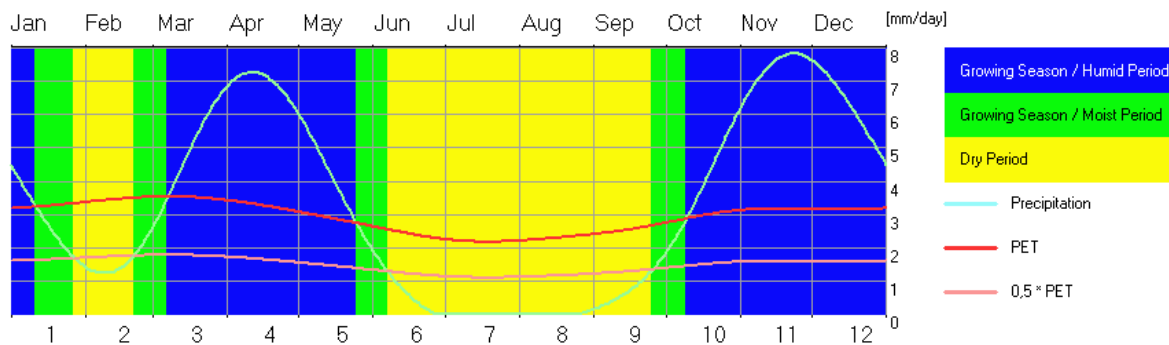


Figure 3: Saisons de culture à Mvuazi

Installé en Avril 2023 (Saison B), l'essai avait porté 3 variétés de manioc notamment la variété Ilona (MVZ 2007/126), la variété Kansakako (MVZ 2007/102) et la variété Mayombe (MM 96/7752). Les caractéristiques de ces variétés sont présentées dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Caractéristiques majeures des variétés utilisées dans l'essai Neptune's

Variétés de manioc	Durée de maturité (mois)	Période de récolte (mois)	Type variétal	Rendement en station/milieu paysan (t.ha ⁻¹)	Résistance		Hauteur (dépend de l'environnement)			Aires de culture (Provinces/ Zones agroécologiques)
					Maladies	Ravageurs	Hauteur (cm)	Hauteur de la première ramification (cm)	Teneur en acide cyanhydrique (CN potentiels)	
Mayombe	12-15	12-18	Doux	30-40/ 12-15	CMD, CBSD, CAD, CBB	CGM, CMB	150-250	65	Moyenne	Zones d'altitude jusqu'à 1750 m
Kansakako	15	12-15	Amer	35-40/ 15-25	CAD/C MD	CGM, CMB	137	40	Faible	Sols argilo-sablonneux
Ilona	10-12	12	Amer	35-40/15-30	CMD, CBB, CAD	CGM, CMB	140-230	60-150	Faible	Sols Sablo-argileux et argilo-sablonneux

Source : Bidiaka *et al.* in Livre, Le Manioc en RD Congo, 2022

Légende :

Maladies :

CMD : Mosaïque du manioc, CBSD : Striure brune du manioc, CAD: Anthracnose du manioc, CBB: Bactériose du manioc,

Ravageurs :

CGM : Acarien vert du manioc, CMB : Cochenille farineuse du manioc

Les engrais Neptune's Harvest™ utilisés dans cette étude sont :

1. Kelp Meal 1-0-2 (Farine de varech 1-0-2 Unités NPK) :



Figure 4: Une présentation de l'emballage du biofertilisant Kelp Meal 1-0-2

Source photo : <https://www.amazon.ca/Neptunes-Harvest-Multi-Purpose-Plant-1-0-2/dp/B0063YSYZK>

Constitué d'un ensemble d'algues laissées après le retrait de la marée. Il est un traitement naturel et efficace pour l'agriculture moderne. Il répond à toutes les cultures et peut être combiné avec tous les autres fertilisants. Il contient des minéraux, des hydrates de carbone et des acides aminés. Ce

fertilisant améliore la croissance des racines. Appliqué au sol, il y apporte en plus des éléments minéraux, la matière organique. Il y a amélioration de la structure du sol et de la capacité de rétention d'eau. Les feuilles de cultures restent vertes et turgescentes même pendant la période sèche.

2. Fish Fertilizer 2-4-1 (Fertilisant du Poisson 2-4-1 Unités NPK) :



Figure 5: Une présentation de l'emballage du biofertilisant Fish Fertilizer 2-4-1

Source photo : <https://mysmithland.com/neptunes-harvest-fish-fertilizer-2-4-1-gallon/>

Engrais organique à base de poissons frais de l'Atlantique Nord. Il est fabriqué par l'hydrolyse qui permet de protéger les vitamines, les acides aminés, les enzymes et les hormones de croissance. Cet engrais contient entre autres tous les micros et macros éléments nutritifs naturellement présents dans les poissons. L'azote ainsi que d'autres nutriments sont chélatés de sorte qu'ils sont directement disponibles pour leur utilisation

par les plantes. Contrairement aux émulsions de poissons, l'engrais Neptune's Harvest™ préserve les protéines et les huiles des poissons. Il ne dégage pas d'odeur désagréable. Il a été prouvé que cet engrais développe la robustesse des plantes ainsi que leur résistance aux conditions défavorables à l'environnement, telles que le gel et la chaleur externe.

3. Seaweed Plant food 0-0-1 (Fertilisant d'Algues 0-0-1 Unités NPK):



Figure 6: Une présentation de l'emballage du biofertilisant Seaweed Plant food 0-0-1
Source photo: <https://www.kroger.com/p/neptune-s-harvest-0-0-1-multipurpose-organic-liquid-seaweed-plant-food-1-gallon/0008143514009>

Fertilisant organique regroupant une soixantaine d'algues marines. Il est composé d'éléments nutritifs essentiels et d'acides aminés. Ses substances (auxine, cytokine, gibbérelline) nutritives renforcent le développement, la couleur et la robustesse des plantes. Les algues augmentent la rusticité des plantes ainsi que la résistance aux conditions environnementales

défavorables, tels que le gel, la chaleur extrême et le stress hydrique. Lorsqu'on l'utilise comme inoculant des semences, l'engrais d'algues augmente et accélère la germination et favorise le développement rapide des racines. Il constitue un excellent complément pour tout programme de fertilisation.

4. Turf formula 2-0-2 (Unités NPK):



Figure 7: Une présentation de l'emballage du biofertilisant Turf formula 2-0-2

Source photo :

<https://essexcountycoop.com/neptunes-harvest-turf-form-gal/>

Engrais conçu pour les pelouses, les dernières réparations de gazon et le réensemencement. Il peut également être utilisé pour les fleurs et les légumes, les arbres et les arbrisseaux. Cet engrais a pour rôle de fournir les éléments nutritifs nécessaires afin de supporter les conditions difficiles de l'environnement telles que la température excessive ainsi que la sécheresse. Il fournit beaucoup de macro et micro-éléments nutritifs susceptibles d'accroître la vitalité, la couleur et la densité de racines.

a) Dispositif expérimental

Pour permettre une évaluation des fertilisants Neptune's Harvest™, un essai était conduit suivant un dispositif expérimental factoriel 3 x 10 étalé sur terrain en split plot de 3 répétitions. Le facteur 1 pris à 3 niveaux comprenait 3 variétés de manioc désignées

suivant le type de leur port. Ainsi, on avait la variété Mayombe à port dressé, la variété Ilona à ramification moyenne et la variété Kansakako à ramification basse.

Le deuxième facteur pris à 10 niveaux était étalé en parcelles divisées (split plot) dans les différentes variétés et avait comparé les apports de fertilisation suivante T0 : Témoin, sans apport des fertilisants, T1 : NPK 17-17-17 seul, 300kg/ha appliqués à 1 MAP, T2 : Kelp Meal 1-0-2 unités NPK, T3 : Fish Fertilizer 2-4-1 unités NPK, T4 : Seaweed Plant food 0-0-1 unités NPK, T5 : Turf formula 2-0-2 unités NPK, T6 : T2 + NPK, T7 : T3 + NPK, T8 : T4 +NPK et T9 : T5+NPK. La disposition de ces 10 traitements était faite suivant un modèle aléatoire en blocs complets randomisés dans chaque variété de manioc.

b) Usage de Neptune's Harvest™ et recommandations

Suivant les recommandations du fabricant, il faut longuement agiter le produit avant de l'utiliser. Les recommandations sont : (i) pour les pelouses et les plantes à graines (maïs, riz, arachide, soja, niébé, haricot, etc.), on utilise ½ litre de concentré pour 93 m² toutes les 2 ou 3 semaines et (ii) pour les fleurs, les légumes, les arbres et arbustes, on utilise 1/8 d'une tasse dans 3.78 litres d'eau chaque 2 ou 3 semaines. Dans ce groupe, doivent aussi être incluses les plantes à racines et tubercules dont le manioc. Une fois dilué, le produit devra être utilisé et ne plus réutiliser ultérieurement après la dilution. Les doses de fertilisants utilisées sont de 300 kg. ha⁻¹ de l'engrais NPK₁₇₋₁₇₋₁₇ à raison de 30 g par pied de manioc. Les biofertilisants Neptune's Harvest™ étaient apportés à raison de 67 ml de fertilisant dilués dans 1 litre pour couvrir 20 m². Le bio fertilisant solide était apporté à raison de 7 g (cuillerée à soupe) par pied représentant 70 kg de biofertilisants par ha. Les apports de biofertilisants étaient faits à deux reprises à 3 et à 6 mois après plantation (MAP).

c) Analyse des sols : Des échantillons des sols étaient prélevés dans l'essai suivant la méthode des diagonales. Un total de 180 échantillons était prélevé suivant les répétitions, les variétés et les traitements.

Dans les sous parcelles, on prélevait l'échantillon à 3 emplacements (pit) à deux profondeurs (0-30 cm et 30 à 45 cm). Pour les 3 répétitions, on avait un total de 90 pit x 2 profondeurs pour donner 180 échantillons qui ensuite étaient mélangés suivant les traitements et suivant les 2 profondeurs pour avoir en définitive 20 échantillons. Les échantillons ainsi prélevés étaient séchés à l'ombre à la température ambiante puis soumis au laboratoire pour les analyses de l'acidité (pH à l'eau et au KCl), de la granulométrie à 3 fractions, de la matière organique, de l'azote ammoniacal, du phosphore assimilable, de l'aluminium échangeable et des bases échangeables : Ca, Mg, K.

d) Analyses statistiques, données climatiques et teneur des racines en matières sèches et en amidon : Les analyses statistiques ont été réalisées entre autres les analyses de variances (ANOVA) à 1 et 2 critères de classification, les comparaisons multiples de moyennes (Least significant difference = LSD) et le calcul du coefficient de variation (CV%) grâce à GenStat Discovery Edition 4. Quelques analyses multi variées (régression linéaire, corrélation) ont été réalisées pour élucider les interdépendances entre les variables. Les logiciels (GenStat, PaST) et l'utilitaire d'analyse sur Excel exe ont été utilisés à cette fin.

Les données climatiques (température, pluviométrie, évapotranspiration potentielle) ont été obtenues grâce à New Loc_Clim estimator nouvelle édition. Les mensurations lors des opérations de prises de poids ont été faites à partir d'un peson à échelle digitale, le manioc était entièrement débarrassé de mottes de terre. Pour la détermination de la

teneur en matière sèche et en amidon, la méthode densimétrique proposée par Fukuda et al. 2006 a été utilisée. Elle consiste à peser 3 à 5 kg de carottes fraîches de manioc

simultanément à l'air libre puis immergées dans l'eau. La méthode consiste à déterminer le poids spécifique suivant la formule :

$$Poids\ spécifique\ (PS) = \frac{Poids_{air}}{Poids_{air} - Poids_{eau}}$$

Les valeurs de la matière sèche et de l'amidon sont obtenues par les formules respectives suivantes :

Matière sèche (en %) = 158.3 x PS – 142 et
Amidon (en %) = 112.1 x PS – 106.4

RESULTATS

Des analyses étaient réalisées et ont permis de dégager les inférences statistiques entre les paramètres observés.

a) Rendement frais et sec du manioc suivant les apports en fertilisants

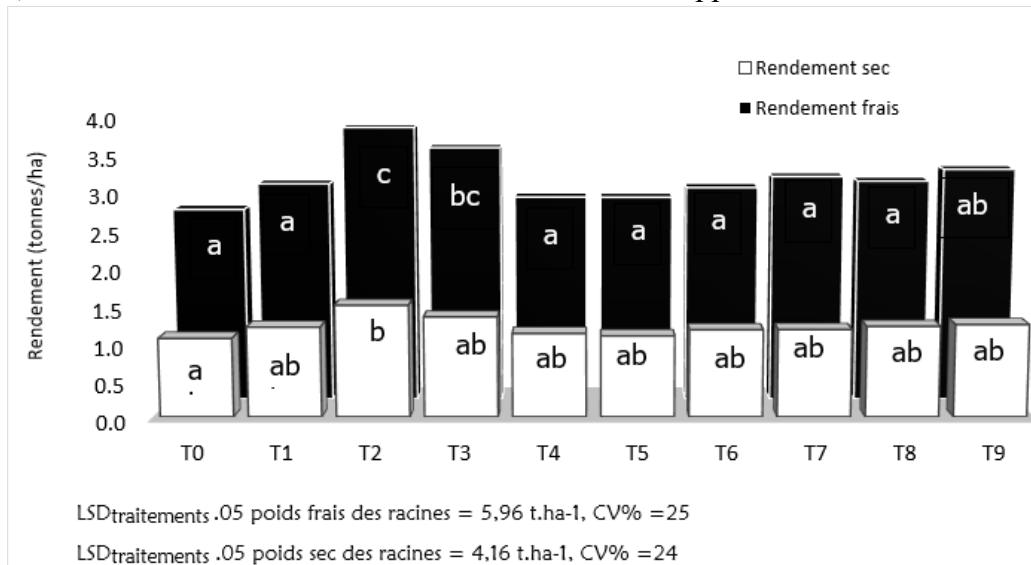


Figure 8 : Rendement du manioc (en poids frais et poids sec) suivant les fertilisants apportés
Légende

a, b et c : Test de la plus petite différence significative à .05

T0 : Témoin, sans apport des fertilisants

T1 : NPK 17-17-17 seul, 300kg/ha appliqués à 1 MAP

T2 : = Kelp Meal 1-0-2 unités NPK

T3 : Fish Fertilizer 2-4-1 unités NPK

T4 : Seaweed Plant food 0-0-1 unités NPK

T5 : Turf formula 2-0-2 unités NPK

T6 : T2 + NPK

T7 : T3 + NPK

T8 : T4 +NPK

T9 : T5+NPK

Les moyennes respectives sont de 26,6 t.ha⁻¹ de manioc frais pour le témoin, 30,1 t.ha⁻¹ pour l'engrais NPK 17-17-17 ; 37,9 t.ha⁻¹ pour la fertilisation avec Kelp Meal 1-0-2 apporté seul (LSD.05 = 5,96 t.ha⁻¹, p<.001), 35,1 t.ha⁻¹ pour la fertilisation avec Fish Fertilizer 2-4-1 (LSD.05 = 5,96 t.ha⁻¹, p<.001), 28,3 t.ha⁻¹ respectivement pour Seaweed Plant food et

Turf formula 2-0-2, 29,6 t.ha⁻¹, 31,1 t.ha⁻¹ et 30,5 t.ha⁻¹ respectivement pour les fertilisations avec Kelp Meal, Fish Fertilizer et Seaweed combinés à l'engrais minéral NPK 17-17-17. Un rendement différent du témoin est obtenu avec Turf formula combiné au NPK 17-17-17 avec 32,4 t.ha⁻¹ (p<.05). Il ressort donc que les fertilisants Kelp Meal et

Fish Fertilizer sont intéressants pour la culture du manioc ($p < .0001$) et relativement la combinaison du turf formula avec l'engrais NPK 17-17-17. Kelp Meal a permis un accroissement du rendement de racines du manioc de l'ordre de 42,5 % par rapport au témoin sans application des fertilisants. Cet accroissement est de l'ordre de 32% lorsqu'on compare Fish Fertilizer au témoin. Les autres traitements n'ont pas donné des rendements différents significativement par rapport au témoin (sans apport). Les mêmes tendances sont observées en prenant le rendement en poids sec. Les moyennes respectives sont de 15,01 t.ha⁻¹ pour Kelp Meal ($p < .05$), 13,42 t.ha⁻¹ pour Fish Fertilizer, 12,51 t.ha⁻¹ pour la combinaison Turf formula, 12,12 t.ha⁻¹ pour Seaweed plant food + NPK, 12,07 t.ha⁻¹ pour l'apport de

l'engrais NPK seul, 11,87 t.ha⁻¹ pour la combinaison Fish Fertilizer + NPK, 11,77 t.ha⁻¹ pour la combinaison Kelp Meal + NPK, 11,25 t.ha⁻¹ pour Seaweed plant food apporté seul, 11,02 t.ha⁻¹ pour turf formula apporté seul et 10,42 t.ha⁻¹ pour le témoin.

b) Rendement frais et sec du manioc suivant les variétés de manioc :

S'agissant des variétés de manioc, des différences très significatives sont observées entre Ilona avec une moyenne de 42,2 t.ha⁻¹, Kansakako avec 28,6 t.ha⁻¹ et Mayombe avec 22 t.ha⁻¹ (LSD.05 = 5,98 t.ha⁻¹, CV% = 25,6 et $p < .001$) (figure 9). Les mêmes tendances sont obtenues avec le rendement en poids sec où on a eu 16,77 t.ha⁻¹ pour la variété Ilona, 11,27 t.ha⁻¹ pour la variété Kansakako et 8,40 t.ha⁻¹ pour la variété Mayombe (LSD.05 = 2,278 t.ha⁻¹, CV% = 37,3).

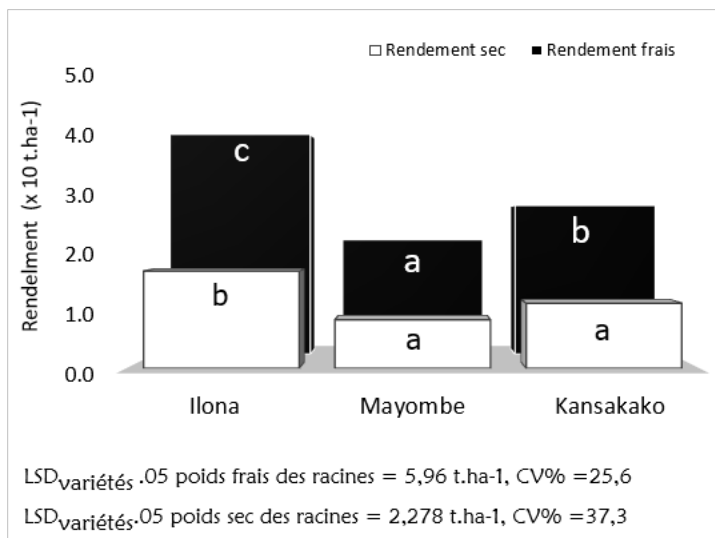


Figure 9 : Rendement frais et sec suivant les variétés de manioc (a et b représentent la plus petite différence significative à .05)

c) La combinaison Fertilisants x variétés de manioc

Le comportement des fertilisants n'a pas été influencé par les variétés de manioc et vice-versa. Aucune interaction n'était donc

observée entre ces variétés et les fertilisants apportés. Les réponses de chaque variété vis-à-vis des fertilisants sont restés indépendantes.

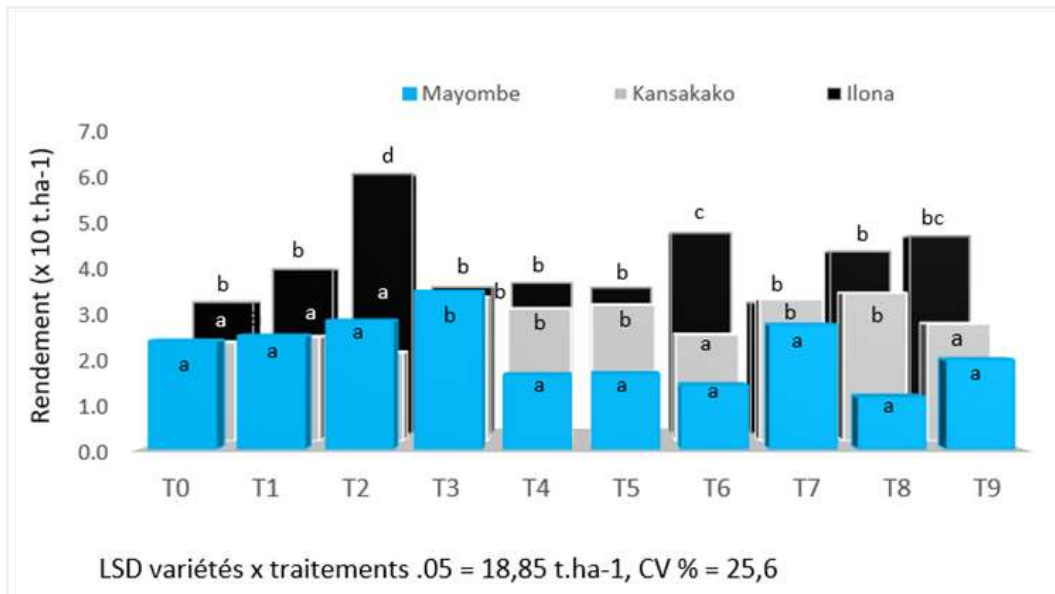


Figure 10: Rendements du manioc en poids frais suivant les fertilisants appliqués et suivant les variétés de manioc

Le rendement est plus stable lorsqu'on apporte Fish Fertilizer comme fertilisant. Les variations sont non significatives statistiquement quel que la variété de manioc utilisée. Les moyennes sont de 36,2 t.ha⁻¹, 33,8 t.ha⁻¹ et 35,2 t.ha⁻¹ respectivement pour les variétés Ilona, Kansakako et Mayombe. Les rendements varient plus avec l'apport de Kelp Meal où les moyennes sont de 64,2 t.ha⁻¹ avec la variété Ilona et 20,7 à 28,7 t.ha⁻¹ respectivement pour Kansakako et Mayombe (LSD.05 = 18,85 t.ha⁻¹). Les mêmes variations sont aussi observées chez tous les autres traitements appliqués.

d) Effet de la combinaison fertilisant minéral (NPK) aux fertilisants Neptune's Harvest™

De manière générale, les apports des fertilisants du type Neptune's Harvest™ ne nécessitent pas un supplément en NPK. Il ressort que ces engrais organiques sont pourvus des unités NPK et suffisent pour amender correctement le sol et fertiliser les cultures y installées. Le graphique ci-dessous (figure 7) illustre clairement les rendements de manioc obtenus avec ou sans supplément du NPK 17-17-17.

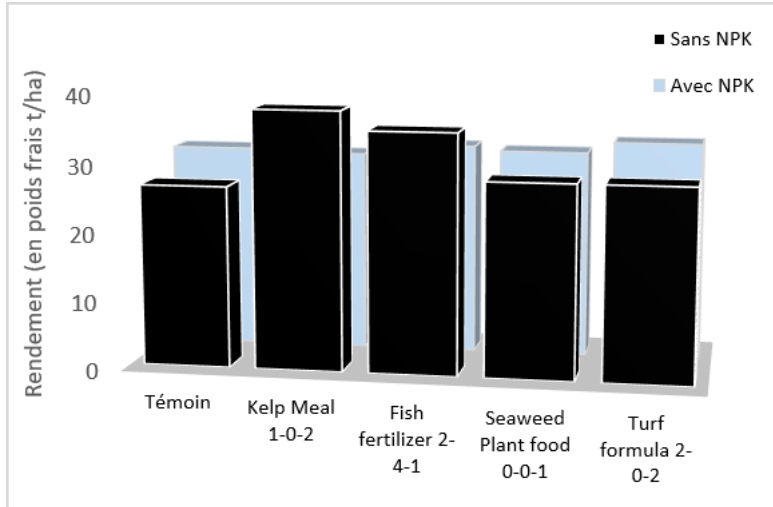


Figure 11 : Rendement du manioc dans les parcelles avec ou sans apport de l'engrais NPK 17-17

e) Effet des biofertilisants sur les conditions du sol

Les engrais organiques présentent un deuxième avantage en plus de la nutrition des plantes. Il s'agit d'un apport résiduel de la matière organique est les meilleurs apports sont obtenus avec le fertilisant Seaweed plant food avec des valeurs avoisinant 3% de matière organique après la culture. Dans les parcelles où on a apporté le fertilisant minéral, on observe une réduction importante de la matière organique allant de 2,5 % à 1%. Cette conservation de la matière organique est une résilience importante au sérieux problème de fertilité des sols tropicaux qui se caractérisent généralement par une carence chronique de la matière organique à cause des pratiques agricoles inappropriées notamment l'itinérance sur brûlis et les feux de brousse intempestifs sur les friches herbeuses. La

matière organique joue le rôle de premier ordre dans la constitution du complexe organo-minéral (complexe absorbant) du sol. Ce complexe se caractérise par l'abondance des charges électriques qui permettent de retenir les éléments minéraux dans la rhizosphère avant de les disposer pour la nutrition des plantes. Un sol dépourvu d'un complexe absorbant efficient est réputé pauvre et est sujet à des migrations effrénées des éléments minéraux par l'eau de ruissellement. On a cependant observé pour les autres éléments minéraux (N, P, K, Ca, Mg, etc.), une réaction favorable des biofertilisants où la restitution au sol est proportionnelle au rendement de manioc obtenu. Les fertilisants ont été bien utilisés par la plante à cause une fois de plus de la bonne constitution de la structure du sol.

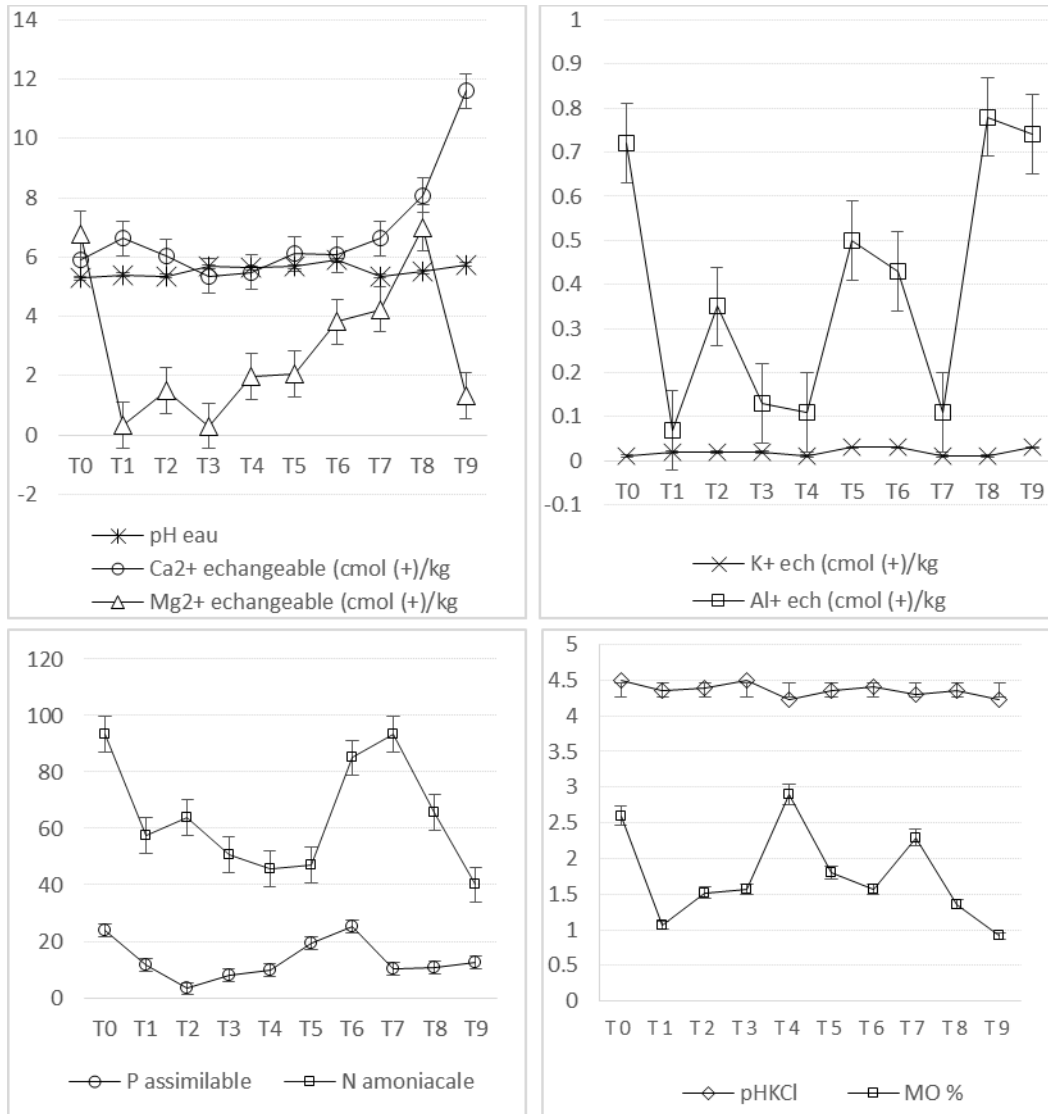


Figure 12: Les caractéristiques du sol sous traitements après la culture du manioc. Les apports de fertilisants organiques, minéraux et leur combinaison n'ont pas fait varier l'acidité du sol dont les valeurs ont oscillé entre 5,5 à 6 de pH-eau. Cependant le taux de l'aluminium échangeable avait sensiblement baissé dans les traitements T1, T3, T4 et T7.

DISCUSSION

Bakayoko *et al.*, 2009 en Côte-d'Ivoire ont observé des améliorations significatives de rendement de manioc en apportant la litière de volaille et la fumure de bovin dans des sols ferrallitiques sableux. A 15 MAP, les fumures ont entraîné des augmentations des rendements chez 4 variétés de manioc. Les moyennes qu'ils ont obtenues étaient respectivement de 40 t.ha⁻¹ pour le témoin, 63 t.ha⁻¹ pour la litière de volaille et 61 t.ha⁻¹

pour la fumure de bovin. Ils ont en outre constaté que ces rendements baissaient à 18 MAP. On suppose qu'à cette période, la fertilité résiduelle du sol se perdait de plus en plus par la réduction effective et sensible de la fraction organique du sol à cause de l'acidité de surface. Akanza *et al.*, 2011 ont étudié les effets de la fertilité organo-minérale du sol et ont constaté que dans l'ensemble, les caractéristiques chimiques

sont nettement améliorées, en particulier, le phosphore assimilable, le calcium échangeable et la somme des cations. Aussi, ils ont observé qu'un accroissement significatif de 72% du rendement du manioc imputable au fumier a été observé avec un apport de 15 t.ha⁻¹ et cette étude avait montré que le rendement du manioc était entre autres lié à la dose de chacun des trois principaux éléments nutritifs du sol (phosphore assimilable, calcium échangeable, somme des cations échangeables). Les coefficients de détermination R² définis étaient élevés et compris entre 0,64 et 0,80. En fin de cycle, les immobilisations d'une production de 25 t.ha⁻¹ de racines tubéreuses sont élevées et correspondent en moyenne à 151 unités de N, 52 unités de P₂O₅, 245 unités de K₂O, 120

unités de CaO et 48 unités de MgO (Pouzet, 1988 ; Raffaillac et Nedelec, 1984). Au cours de ces dernières années, avec l'intensification de l'installation de petites unités de transformation industrielle, la production du manioc s'est nettement accrue. Cette augmentation de la production résulte essentiellement de l'accroissement des superficies emblavées tandis que la productivité des terres diminue de manière préoccupante (Troupa et Koné, 2003). Les besoins en fertilisants efficaces est de grande recommandation dans la mesure où les ouvertures de plus d'emblavures ne peuvent constituer une alternative durable car dans la plupart de cas, elles exposent les exploitants aux multiples problèmes fonciers très récurrents dans plusieurs régions de la RDC.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Les apports des fertilisants dans la production du manioc en sols tropicaux sont peu usuels à cause des résultats faibles et non rentables généralement obtenus avec les fertilisants minéraux d'une part et aussi à cause des conditions acides de ces sols et leur pauvreté chronique en matière organique. Les biofertilisants devraient combler les deux lacunes observées dans ces sols en permettant la correction des pH bas et la reconstitution de sa structure par un complément de la matière organique réputée carentielle. Le recours aux bio-fertilisants Neptune's Harvest™ a permis le maintien de la matière organique jusqu'à la période post-récolte. Le pH du sol était resté constant (entre 5,5 et 6). Grâce à cette avantage des biofertilisants, on a assisté à une bonne fixation des éléments minéraux sur un complexe absorbant bien constitué dans le sol à cause de l'équilibre organo-minéral et par conséquent, des accroissements de rendements du manioc ont été observés chez la plupart des bio-fertilisants appliqués en comparaison au témoin.(soit 13% avec T1, 42% avec T2, 32 % avec T3, 6% avec T4 et T5, 11% avec T6,

17 % avec T7, 15% avec T8 et 21% avec T9). Les combinaisons de ces bio-fertilisants au NPK₁₇₋₁₇₋₁₇ n'a pas influencé le rendement du manioc. Cependant, la réaction des variétés de manioc était différente chez la plupart des traitements. C'est avec T4 (Fish fertilizer) que nous avons observé des rendements constants quelque soit la variété du manioc. Les apports de Neptune's Harvest™ présente un réel avantage dans l'amélioration des rendements de culture de manioc et dans le maintien des propriétés physico-chimique et biologique du sol principalement en améliorant la qualité de la matière organique du sol. Des essais d'affinage sont conduits pour confirmer ou infirmer les performances de ces biofertilisants sur le manioc et comme l'étude vise une évaluation horizontale du produit, des essais sur différentes autres cultures sont en train d'être menés. A ce stade de la recherche, il y a lieu de croire aux effets positifs de Neptune's Harvest™ (principalement Kelp Meal et Fish Fertilizer) sur le manioc. Ces engrais sont plus efficaces et rationnels lorsqu'ils sont apportés seuls. Des effets favorables et significatifs sont

aussi observés avec Turf formula lorsqu'il est combiné avec l'engrais NPK 17-17-17. Si les apports du NPK exigent environ 350 kg. ha⁻¹, l'apport de Neptune's Harvest™ se fait par

dilution dans l'eau (rapport 1/10). Cette option permet de rationaliser le coût l'application de ces biofertilisants.

REMERCIEMENTS

Particulières remerciements à Monsieur Simon Ngongi pour avoir mis à notre disposition les biofertilisants Neptune's

Harvest™ et à la société Layuka pour l'appui technique et financier sans lequel cette recherche n'allait pas aboutir aisément.

BIBLIOGRAPHIE

- Akanza Kouadjo Paul et Yao-Kouame Albert, 2011, Fertilisation organo-minérale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et diagnostic des carences du sol. Journal of Applied Biosciences 46: 3163– 3172 ISSN 1997–5902
- Alexandra Maltas, Hansrudolf Oberholzer, Raphaël Charles, Vincent Bovet et Sokrat Sinaj, Effet à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol Production végétale, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon 2 Station de recherche Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich Renseignements: Sokrat Sinaj, e-mail: sokrat.sinaj@acw.admin.ch, tél. + 41 22 363 46 58
- Bakayoko S., Nindjin C., Dao D., Tschannen A., Girardin O. Et Assa A., 2009. Fumure organique et productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en Côte d'Ivoire Agronomie Africaine ·
- Bidiaka S.M, Frangoie A, Tata H.W ., Bakelana T., Ndonda A., Binzunga M., Sumbu D. et Mahungu N.M. Système semencier du manioc .pp 81. Le manioc en RD Congo ISBN: 978-99951-69-07-7 Dépôt légal : AO 3.02108-57351. Editeurs: Mahungu N.M., Ndonda A., Kendenga T., et Bidiaka S.
- Fukuda W.W.G., Guevara. C.L., Ferguson M.E., Kawuti R., 2006. Descriptors for cassava morphological characterization, 27 p. IITA publications
- K. Kintché, S. Hauser, N.M. Mahungu, A. Ndonda, S. Lukombo, N. Nhamo, V.N.E. Uzokwe, M. Yomeni, J. Ngamitshara, B. Ekoko, M. Mbala, C. Akem, P. Pypers, K.P. Matungulu, A. Kehbila, B. Vanlauwe. Cassava yield loss in farmer fields was mainly caused by low soil fertility and suboptimal management practices in two provinces of the Democratic Republic of Congo. European Journal of Agronomy 89 (2017) 107–123
- Lele B.N., Kachaka S.C., Lejoly J., 2015. Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo Volume 4. P. 46-57,
- Ndonda A., Bidiaka S., Lema A., 2011. Amélioration et maintien de la fertilité des sols dans les systèmes de production du manioc en RDC. 11th Triennial Symposium of International Society for Tropical Root Crops : Theme – Root Crops in Africa and Challenges of Globalisation and Climate Change. Book of Abstracts. Kinshasa, R.D. Congo 4 – 8 Octobre 2010
- Pouzet D, 1988. Amélioration de la culture mécanisée du manioc en Côte d'Ivoire. Mémoires et travaux de l'IRAT n° 18. Paris, France., 58 pp
- Raffaillac JP et Nedelec G, 1984. Fertilisation du manioc (*Manihot esculenta* Crantz, var Bonoua) en basse Côte d'Ivoire. Etude de cas. Production agricole et maintien de la fertilité des sols en zone

tropicale. Séminaire IMPHOS, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 14 pp.

Tchaniley Larounga, Ayisah Kwasi Dzola , Dewa Kassa Kodjo Akonta, Effet de la combinaison des fertilisants organiques et minéraux (NPK 15-15-15 et urée) sur le rendement de la laitue (*Lactuca sativa* L.) dans le sud du Togo. 15540 Journal of Applied Biosciences 151: 15540 - 15549 ISSN 1997-5902

Troupa SGF et Koné MH, 2003, Effet de la fertilisation minérale, de l'étêtage du manioc et des légumineuses à graines sur le rendement du manioc en culture associée et sur les propriétés d'un Arénoferralsols à Kinshasa/RDC. Recensement National de l'Agriculture 2001 et sécurité alimentaire. Rapport de consultant FAO, EU Minagra, Abidjan, Côte d'Ivoire., 40 pp.