

Effets des divers types de matières organiques en comparaison avec une fertilisation minérale sur les propriétés et la productivité d'un sol acide au Rwanda

Résumé :

Une étude des effets de l'apport des matières organiques sur la fertilité d'un sol acide en comparaison avec une fertilisation minérale (NPK) a été réalisée à la station expérimentale de Tonga.

L'analyse de sol au laboratoire avant l'application de différents types de fertilisants a révélé que le sol de Tonga est acide, sableux, perméable avec une C.E.C. faible et que les niveaux des éléments nutritifs sont bas. Quatre plantes-test ont été utilisées (maïs « *Zea mays* », haricot « *Phaseolus vulgaris* », carotte « *Daucus carota* », et chou « *Brassica oleracea* »).

Après la récolte des cultures, le niveau des éléments nutritifs a été déterminé. Celui-ci a légèrement augmenté excepté dans les parcelles témoins. L'analyse de la variance montre que, parmi les fertilisants appliqués et pour tous les paramètres du sol analysés, le fumier de vache a significativement amélioré la fertilité du sol car il a affiché une moyenne plus élevée à plus de 70 % des cas ; il est suivi du compost puis de l'engrais minéral. Cette supériorité du fumier est également constatée pour les paramètres agronomiques des cultures.

Abstract:

A study about the effects of organic matter in comparison with mineral fertilisers (NPK) on acidic soils fertility was carried out at Tonga station.

Laboratory soil analysis before the application of the different types of fertilisers indicated that soils in Tonga are acid, sandy, permeable, with a low CEC and low levels of nutrients. Four test plants have been used (maize "*Zea mays*", bean "*Phaseolus vulgaris*", cabbage "*Brassica oleracea*" and carrot "*Daucus carota*").

The study showed that after harvest the level of nutrients was lightly up in all experimental plots except for the control. Variance analysis shows that, among the fertilisers and for all soil parameters considered, cow manure gave the highest improvement in soils fertility, followed by compost and then by mineral fertiliser. Manure superiority is also observed on other agronomic parameters of cultures.

Introduction

Les processus de déportation des éléments nutritifs par les cultures, le lessivage et l'érosion des sols prennent une importance considérable au Rwanda. Le climat et le relief influent beaucoup sur l'érosion et le lessivage qui contribuent à une acidification des sols, laquelle est à son tour responsable pour une grande part de la baisse de la fertilité des sols.

Les engrais chimiques, bien qu'ils apportent rapidement la matière nutritive aux plantes, sont reprochés de ne pas améliorer ni la vie du sol, ni sa fertilité de manière équilibrée et durable; par contre, ils détériorent la valeur du sol par l'épuisement et par la destruction des microorganismes utiles et précieux qui se trouvent au niveau de la couche supérieure (1). D'autre part, la fertilisation par l'amendement organique, non seulement restitue au sol les éléments indispensables pour la croissance des plantes, mais aussi elle améliore les propriétés physiques du sol et la vie biologique du sol (2, 3).

C'est dans la même optique qu'a été lancé le projet intitulé "Relance de la fertilité des sols acides du Rwanda par la matière organique" oeuvrant au sein de la Faculté d'Agronomie de l'U.N.R. C'est à travers ce projet que ce travail a été réalisé. La présente étude a consisté à l'établissement d'un plan expérimental de culture pour la comparaison de la matière organique avec des fertilisants chimiques sur l'amélioration de la fertilité du sol; l'objectif étant d'étudier le rôle des amendements organiques sur l'amélioration de la qualité des sols acides par rapport aux engrais chimiques. Comme hypothèse, la matière organique améliore les propriétés physico-chimiques, biologiques ainsi que le rendement des cultures.

1. Matériel et méthodes

1.1. Terrain, fertilisants et plantes-test

- ❖ Le terrain utilisé est une bande aménagée en terrasses depuis l'année 1991 et se trouvant au pied de la colline Tonga. Cette bande en jachère venait de passer trois ans sans aucun traitement de fertilisation.
- ❖ Le fumier de vache utilisé a été composté pendant trois ans et il avait un aspect finement décomposé à l'œil nu et même au toucher. Pour connaître son état, le rapport C/N a été déterminé. Ainsi la teneur en carbone est de 32 %, celle en azote de 1.5%; d'où le rapport C/N = 21.3. Ce rapport indique le degré de décomposition ou de minéralisation de l'amendement organique et donc sa capacité à libérer rapidement des éléments nutritifs au sol amendé.
- ❖ Le compost végétal a été obtenu à partir des résidus de parches de café, compostés pendant trois ans dans une fosse cimentée et dont les retournements étaient faits régulièrement. Ce compost provient du programme café de l'ISAR/Rubona et ses teneurs en carbone et en azote ainsi que le rapport C/N sont respectivement de 77.5 %, 3.7 % et 20.9.
- ❖ Le fertilisant minéral utilisé est un engrais composé de NPK (17-17-17) en granulés distribué par l'Union Européenne au Rwanda.
- ❖ Pour apprécier l'effet des différents fertilisants appliqués, quatre cultures variées ont été utilisées comme plantes-test. Il s'agit de: (a) maïs (*Zea mays*): variété Katumani provenant de l'ISAR, (b) haricot (*Phaseolus vulgaris*): variété SCAM-80-CM/15 diffusée également par l'ISAR, (c) chou pomme (*Brassica oleracea*) dont les jeunes plants ont été tirés de la pépinière de la Faculté d'Agronomie et (d) carotte (*Daucus carota*): une variété longue nantaise dont la semence a été obtenue à la Faculté d'Agronomie. Ce choix ayant été simplement motivé par le fait de considérer diverses cultures vivrières du Rwanda dont un graminée, une légumineuse, un légume-feuille et un légume-racine.

1.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est celui en Blocs Complets Aléatoires (BCA) où un seul facteur (fertilisants) entre en jeu avec quatre niveaux ou traitements : compost de fumier de vache (F), compost végétal (C), engrais minéral NPK (E) et le témoin (T). Les blocs ou répétitions sont au nombre de quatre et les traitements sont répartis aléatoirement dans les parcelles.

Les doses appliquées sont de 2,5 Kg/are et 150 Kg/are respectivement pour l'engrais NPK et les diverses matières organiques.

1.3. Échantillonnage du sol et techniques culturales

L'échantillonnage du sol a été effectué avant l'application des fertilisants et après la récolte des cultures. Dans les deux cas, les échantillons ont été prélevés à la tarière jusqu'à 30 cm à cinq endroits différents (quatre coins de la parcelle ainsi que la partie centrale) de chaque parcelle, puis ils ont été mélangés pour constituer un échantillon homogène. Cinq échantillons ou prélèvements étaient donc pris dans chaque parcelle et ensuite mélangés pour avoir un seul représentatif de la parcelle.

Chaque parcelle étant semée des quatre cultures à raison de 2 lignes chacune avec comme espacements (entre lignes et sur lignes) de 50 x 30 cm, 40 x 5 cm, 30 x 40 cm et 30 cm entre lignes respectivement pour le maïs, le haricot, le chou et la carotte (un graminée, une légumineuse, un légume-feuille et un légume-racine).

1.4. Analyses du sol

Après la préparation des échantillons, les méthodes suivantes ont été utilisées:

- (a) la granulométrie a été déterminée selon la méthode de Bouyoucos, (b) la perméabilité du sol a été déterminée à l'aide de la loi de Darcy par la méthode de charge constante, (c) le pH-eau et KCl a été mesuré au pH-mètre dans un rapport sol/solution 1/2.5, (d) le phosphore disponible a été extrait par la méthode Bray1, (e) le carbone organique a été dosé selon la méthode colorimétrique, (f) l'azote total Kjeldahl a été déterminé par la méthode Kjeldahl, (g) l'extraction des bases échangeables a été faite à l'acétate d'ammonium (NH₄OAc) à pH 7 et le dosage a été fait par spectrophotométrie à absorption atomique, (h) la capacité d'échange cationique (C.E.C) a été déterminée après déplacement des cations par NH₄OAc, (i) l'azote ammoniacal (NH₄⁺) du sol a été déterminé par la méthode titrimétrique, (j) les nitrates NO₃⁻ ont été dosés par la méthode d'acide disulphonique, (k) les nitrites NO₂⁻ ont été dosés par la méthode colorimétrique.

1.5. Récolte et mesures post-récoltes

La récolte a eu lieu après que toutes les cultures aient atteint leur maturité. Dans chaque parcelle, deux plants de chaque culture ont été choisis aléatoirement. Pour ce faire, une ligne médiane dans la parcelle était tracée perpendiculairement aux lignes des cultures, et les individus rencontrés sur cette ligne ont été prélevés comme échantillons. Les paramètres considérés pour chaque culture sont: (a) maïs: longueur des plants, nombre d'épis par plant et poids sec total; (b) haricot: nombre de gousses par plant, longueur des plants et

pois sec total ; (c) choux; diamètre de la pomme, longueur des racines et poids sec total; (d) carotte: longueur des tubercules, diamètre des tubercules et poids sec total.

1.6. Analyse statistique

L'analyse statistique de la variance a été faite au logiciel MSTAT-C. Elle a concerné les données agronomiques des cultures. La séparation des moyennes a été faite au moyen du Test de Duncan pour les facteurs qui se sont avérés significatifs au seuil de 5 %.

2. Résultats et discussion

2.1. Résultats d'analyses physico-chimiques du sol

2.1.1. Granulométrie

La teneur en sable varie de 46 à 64 % avec une moyenne de 55 %, celle de limon de 6 à 11 % avec une moyenne de 8 % et celle d'argile de 30 à 43 % avec une moyenne de 36 %. Le report des valeurs moyennes sur le triangle textural de la Soil Taxonomy (1975) a permis de déterminer la classe texturale comme étant argile-sableuse. Ces résultats s'expliquent par la nature du matériel parental. En effet, les sols du plateau central dont le site fait partie dérivent d'une roche quartzique /4/.

2.1.2. Perméabilité

Les valeurs de la perméabilité dans les quatre parcelles échantillonnées avant application des fertilisants et après récolte des cultures, comme présentées respectivement dans les tableaux 1 et 2, montrent que, dans le 1^{er} cas, elle varie de 13 à 46 cm.h⁻¹ avec une moyenne de 27 cm.h⁻¹ et de 8 à 30 cm.h⁻¹ avec une moyenne de 19 cm.h⁻¹ dans le 2^e cas. Ces valeurs classent notre site dans les sols à perméabilité très rapide avant traitement et rapide à très rapide après récolte /5/. Dans les deux cas, la perméabilité élevée s'explique par la nature granulométrique du terrain dominé par le sable. Cependant, la légère diminution de la perméabilité après récolte est dû certainement aux apports de la matière organique et au tassement du sol occasionné par les cultures.

2.1.3. pH du sol

Comme on l'observe au tableau 1, le pH du sol avant traitement est très acide pour l'eau et fortement acide à très acide pour le KCl /6/.

Tableau 1: Valeurs analytiques des sols avant application des fertilisants

| Par celle | Granulo métrie | | | Perm. cm h ⁻¹ | pH | | Carbone et azote | | | | | | | | Pdis mg kg ⁻¹ | Complexe absorbant cmol (+)/kg | | | | |
|--------------|-------------------|-----|--------|-----------------------------|------------------|------|------------------|---------|----------|--|--|--|-----------|-----|--------------------------------|-----------------------------------|------------------|----------------|-----------------|------|
| | S% | L% | A % | | H ₂ O | KCl | C% | MO % | NK T% | NH ₄ x 10 ⁻⁵ % | NO ₂ x 10 ⁻⁶ % | NO ₃ x 10 ⁻⁵ % | Ntot % | C/N | | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | CEC |
| 1 | 64 | 6 | 30 | 13 | 4,57 | 4,02 | 4,15 | 7,14 | 0,08 | 5,6 | 4,70 | 1,9 | 0,08 | 52 | 0,62 | 0,48 | 0,13 | 0,11 | 0,03 | 8,5 |
| 2 | 63 | 6 | 31 | 22 | 4,55 | 4,00 | 3,72 | 6,39 | 0,10 | 22,4 | 1,10 | 2,7 | 0,1 | 37 | 0,55 | 0,71 | 0,2 | 0,07 | 0,1 | 8,7 |
| 3 | 62 | 6 | 31 | 46 | 4,92 | 4,03 | 4,31 | 7,41 | 0,07 | 17,5 | 8,20 | 2,0 | 0,07 | 62 | 1,06 | 0,58 | 0,27 | 0,13 | 0,52 | 8,4 |
| 4 | 61 | 6 | 32 | 18 | 4,80 | 3,98 | 3,86 | 6,63 | 0,06 | 4,90 | 4,00 | 1,7 | 0,06 | 64 | 0,69 | 0,6 | 0,23 | 0,06 | 0,26 | 10,0 |
| 5 | 58 | 8 | 34 | | 4,62 | 3,95 | 4,46 | 7,68 | 0,11 | 10,5 | 4,00 | 2,2 | 0,11 | 41 | 0,88 | 0,82 | 0,23 | 0,05 | 0,07 | 7,2 |
| 6 | 58 | 8 | 34 | | 4,92 | 3,93 | 4,17 | 7,18 | 0,08 | 11,9 | 13,5 | 2,8 | 0,08 | 52 | 0,55 | 0,5 | 0,18 | 0,06 | 0,02 | 11,5 |
| 7 | 58 | 8 | 34 | | 4,78 | 3,94 | 4,08 | 7,03 | 0,07 | 4,2 | 3,70 | 2,1 | 0,07 | 48 | 0,41 | 0,57 | 0,29 | 0,11 | 0,06 | 11,3 |
| 8 | 58 | 8 | 34 | | 5,04 | 3,95 | 4,72 | 8,12 | 0,09 | 23,8 | 23,8 | 13,5 | 0,09 | 52 | 0,48 | 0,39 | 0,21 | 0,05 | 0,02 | 7,2 |
| 9 | 50 | 9 | 41 | | 4,57 | 3,92 | 5,68 | 9,78 | 0,13 | 13,3 | 13,3 | 2,2 | 0,13 | 44 | 0,97 | 0,65 | 0,21 | 0,06 | 0,22 | 11,9 |
| 10 | 52 | 11 | 37 | | 4,68 | 3,89 | 5,03 | 8,65 | 0,12 | 9,80 | 14,1 | 2,7 | 0,12 | 42 | 0,26 | 0,7 | 0,17 | 0,03 | 0,04 | 11,5 |
| 11 | 49 | 9 | 42 | | 4,82 | 3,94 | 5,49 | 9,45 | 0,09 | 0,70 | 4,60 | 2,2 | 0,09 | 61 | 0,49 | 0,35 | 0,13 | 0,03 | 0,06 | 11,5 |
| 12 | 48 | 9 | 42 | | 4,67 | 3,91 | 5,29 | 9,09 | 0,10 | 18,9 | 3,70 | 2,2 | 0,1 | 53 | 0,97 | 0,48 | 0,13 | 0,02 | 0,07 | 7,9 |
| 13 | 46 | 11 | 43 | | 5,10 | 3,98 | 5,32 | 9,16 | 0,01 | 2,8 | 19,8 | 1,8 | 0,01 | 53 | 0,68 | 1,71 | 0,78 | 0,08 | 0,27 | 11,2 |
| 14 | 54 | 10 | 36 | | 4,91 | 4,03 | 5,41 | 9,31 | 0,12 | 12,6 | 19,5 | 0,6 | 0,12 | 45 | 0,41 | 1,55 | 0,7 | 0,07 | 0,19 | 12,4 |
| 15 | 49 | 10 | 41 | | 4,83 | 4,13 | 5,31 | 9,14 | 0,09 | 4,20 | 48,9 | 2,2 | 0,09 | 59 | 0,75 | 0,84 | 0,37 | 0,21 | 0,22 | 8,13 |
| 16 | 52 | 10 | 38 | | 4,95 | 4,01 | 5,72 | 9,83 | 0,13 | 4,20 | 16,4 | 1,6 | 0,13 | 44 | 0,41 | 0,68 | 0,44 | 0,09 | 0,24 | 11,3 |
| Min. | 46 | 6 | 30 | | 4,54 | 3,89 | 3,72 | 6,39 | 0,01 | 0,70 | 1,10 | 0,6 | 0,01 | 37 | 0,26 | 0,35 | 0,13 | 0,02 | 0,02 | 7,2 |
| Max. | 64 | 11 | 43 | | 5,10 | 4,13 | 5,72 | 9,83 | 0,13 | 23,8 | 48,9 | 13,5 | 0,13 | 64 | 1,41 | 1,71 | 0,78 | 0,21 | 0,52 | 12,4 |
| Moy. | 55,1 | 8,4 | 36 | | 4,79 | 3,98 | 4,78 | 8,13 | 0,08 | 10,6 | 14,1 | 3,25 | 0,08 | 51 | 0,71 | 0,76 | 0,31 | 0,08 | 0,16 | 9,90 |

Tableau 2 : Valeurs analytiques des sols après récolte des cultures

| Parcelle | Traitem. | Per m. cm. h ⁻¹ | pH | | Carbone et azote | | | | | | | Pdis mg/kg | Complexe absorbant cmol(+)/kg | | | | | |
|----------|----------|----------------------------|------------------|------|------------------|------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|------|
| | | | H ₂ O | KCl | C% | MO % | NKT % | NH ₄ x10 ⁻⁵ % | NO ₂ x10 ⁻⁸ % | NO ₃ x10 ⁻³ % | Ntot% | | C/N | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | CEC |
| 1 | F | 8 | 5,45 | 4,13 | 1,45 | 2,5 | 0,15 | 2,5 | 3,1 | 10,2 | 0,15 | 10 | 40,24 | 1,12 | 0,82 | 0,89 | - | 10,8 |
| 2 | C | 17 | 4,64 | 3,8 | 1,55 | 2,67 | 0,15 | 6,9 | 3,6 | 34,5 | 0,15 | 10 | 16,62 | 0,88 | 0,36 | 0,5 | - | 12,4 |
| 3 | E | 19 | 4,44 | 3,72 | 1,45 | 2,5 | 0,14 | 7,8 | 3,7 | 101 | 0,14 | 10 | 24,06 | 0,26 | 0,18 | 0,52 | - | 12,4 |
| 4 | T | 30 | 4,49 | 3,73 | 2,79 | 4,81 | 0,11 | 3,1 | 3,6 | 33,3 | 0,11 | 25 | 8,31 | 0,08 | 0,00 | 0,15 | - | 10 |
| 5 | E | | 4,24 | 3,65 | 1,51 | 2,6 | 0,13 | 6,7 | 0 | 57,5 | 0,13 | 11 | 10,06 | 0,14 | 0,01 | 0,17 | - | 10,8 |
| 6 | T | | 4,4 | 3,65 | 3,15 | 5,43 | 0,07 | 0,5 | 2,3 | 47,1 | 0,07 | 45 | 7,78 | 0,28 | 0,05 | 0,14 | - | 11,6 |
| 7 | F | | 5,06 | 3,87 | 1,3 | 2,24 | 0,09 | 2,1 | 2,4 | 14,5 | 0,09 | 14 | 30,06 | 0,95 | 0,74 | 0,7 | - | 14 |
| 8 | C | | 4,78 | 3,72 | 1,45 | 2,5 | 0,09 | 0,7 | 3,9 | 35,1 | 0,09 | 16 | 11,37 | 0,56 | 0,23 | 0,33 | - | 11,6 |
| 9 | T | | 4,25 | 3,61 | 3,91 | 2,74 | 0,11 | 0,7 | 1,1 | 68,4 | 0,11 | 36 | 8,31 | 0,41 | 0,08 | 0,15 | - | 11,6 |
| 10 | F | | 4,86 | 3,76 | 1,5 | 2,58 | 0,15 | 6,2 | 1,1 | 50,9 | 0,15 | 10 | 31,43 | 1,05 | 0,67 | 0,75 | - | 14 |
| 11 | C | | 4,66 | 3,66 | 1,72 | 2,96 | 0,15 | 2,1 | 5,6 | 15,4 | 0,15 | 11 | 11,81 | 0,75 | 0,28 | 0,31 | - | 13,2 |
| 12 | E | | 4,55 | 3,62 | 1,3 | 2,24 | 0,15 | 5,3 | 1,9 | 91,5 | 0,15 | 9 | 8,31 | 0,42 | 0,08 | 0,16 | - | 15,6 |
| 13 | C | | 4,94 | 3,69 | 1,21 | 2,08 | 0,15 | 16,2 | 3,9 | 36,8 | 0,15 | 8 | 7,0 | 1,33 | 0,62 | 0,33 | - | 11,6 |
| 14 | E | | 4,6 | 3,6 | 1,16 | 2 | 0,11 | 13,9 | 4,9 | 74,7 | 0,11 | 10 | 8,75 | 1,05 | 0,54 | 0,16 | - | 13,2 |
| 15 | T | | 4,43 | 3,66 | 4,07 | 7,02 | 0,1 | 1,5 | 3,9 | 68,4 | 0,1 | 41 | 6,12 | 0,44 | 0,19 | 0,26 | - | 13,2 |
| 16 | F | | 5,8 | 4,55 | 1,59 | 2,74 | 0,15 | 6,4 | 0,9 | 10,5 | 0,15 | 11 | 42,43 | 2,02 | 1,57 | 1,62 | - | 13,2 |

- : traces

NKT : Azote Kjeldahl Total

8

En effet, les valeurs trouvées de pH à l'eau et au KCl oscillent respectivement entre 4,54 à 5,10 et entre 3,89 à 4,13 avec comme moyennes respectives de 4,79 et 3,98. Ces faibles valeurs de pH peuvent bloquer l'assimilabilité des ions nutritifs comme nombreux chercheurs l'affirment (7/), et que en dessous de pH 5, P, K, N, Ca, Mg, S et Mo sont difficilement absorbés. Par contre, ajoutent-ils, certains éléments toxiques comme l'Al et le Mn sont très solubles et très assimilables à pH faible.

Le tableau 2 montre que le pH après récolte des cultures varie de 4,24 à 5,80 et de 3,60 à 4,55 respectivement à l'eau et au KCl avec les moyennes respectives de 4,72 et de 3,78.

Les parcelles traitées au fumier montrent des valeurs élevées de pH suivies de celles traitées au compost par rapport aux parcelles de l'engrais et témoins. Cela est expliqué par le fait que la matière organique en se minéralisant libère les ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ qui remplacent les ions H⁺ sur le complexe absorbant (8/). Par contre, les parcelles à NPK et celles témoins accusent une diminution du pH après la récolte. Cela rejoint le constat que les engrais minéraux et l'exportation par les cultures contribuent à l'acidification du sol (9,10/).

L'analyse de la variance du pH-eau du sol après cultures montre une différence très significative entre les traitements avec un coefficient de variation de 4,28 %. Ce sont des parcelles ayant reçu le fumier de ferme qui montrent des valeurs de pH élevées.

Matière organique

Les teneurs en carbone organique du sol avant l'essai varient entre 3,72 et 5,72 % avec une moyenne de 4,79 (tableau 1). Cette teneur satisfaisante dépasse l'optimum des teneurs en carbone organique de 1,5 % dans les conditions tropicales mais cette matière en conditions acides est inutilisable. Quant à la matière organique, les teneurs varient de 6,39 à 9,83% avec une moyenne de 8,23 %. Les sols de ce site sont donc humifères à très humifères (6/).

D'autre part, l'analyse du sol après la récolte des cultures montre les teneurs en carbone organique variant de 1,16 à 4,07 % avec une moyenne de 1,94 %. Celles en matière organique oscillent entre 2,00 et 7,02 % avec la moyenne de 3,3% et sont considérées comme étant moyennement humifères à humifères (6/). En effet, un taux d'humus élevé dans un sol tropical acide ne traduit pas la bonne fertilité (11/), car l'acidité inhibe la vie microbienne et l'activité de la microflore dans son ensemble. Cela reste vrai car les microorganismes responsables de la minéralisation de la matière organique travaillent dans les meilleures conditions lorsque le sol est neutre ou légèrement basique (12,13/). La nette diminution de la matière organique du sol après cultures est due à l'élévation du pH par les fertilisants (sauf le sol traité au NPK)

et aussi au fait que les éléments nutritifs C et N apportés par ces amendements ont été assimilés par les microorganismes pour le besoin de leur métabolisme. Ainsi donc, toutes ces conditions de pH et de nutrition réunies ont contribué à la stimulation et à la prolifération des microorganismes pour décomposer activement la matière organique.

La séparation des moyennes pour la matière organique par le test de Duncan après récolte met en évidence la supériorité des valeurs obtenues dans les parcelles témoins.

Azote total du sol

L'azote du sol se trouve présent essentiellement sous trois formes : azote organique qui exige une minéralisation préalable pour son dosage, l'azote ammoniacal (NH_4^+) et l'azote nitrifié (nitrates et nitrites). Certaines formes minérales (NH_4^+ et NO_3^-) sont transitoires et souvent présentes en faibles concentrations, d'autres comme NO_3^- sont grandement absorbées par la plante, moins retenues par le complexe adsorbant et donc très mobiles avec l'eau du sol. De ce fait les teneurs en azote minéral du sol se retrouvent assez faibles. Cela est mis en évidence par les résultats d'analyses des sols tel que reportés dans les tableaux 1 et 2. Les faibles teneurs de l'azote dans les parcelles traitées au fumier et au compost après récolte peuvent être dues à différentes raisons: une partie a été exportée par les cultures pour couvrir leurs besoins, une autre a été perdue par lessivage (les sols du site étant très perméables) et enfin la perte par volatilisation.

La séparation des moyennes révèle un seul groupe homogène avec des valeurs du fumier et du compost légèrement supérieures à celles du NPK et du témoin. En effet, la fumure organique est dotée d'une action régulière et soutenue sur la fertilité du sol comparativement à l'engrais minéral qui lui exerce une action rapide mais non durable.

Rapport C/N

Le rapport C/N traduit l'état de décomposition de la matière organique. Ce rapport varie de 37 à 64 avec une moyenne de 51 avant application des intrants; ce qui conduit à conclure que la matière organique des sols étudiés connaît une minéralisation très lente. En plus, la nitrification devient très faible au dessus d'une valeur C/N supérieure à 25 et s'arrête au stade ammoniacal dans les sols acides /14/.

Les valeurs du rapport C/N obtenues dans les sols après récolte varient de 8 à 45 avec une moyenne de 17,3 ; la minéralisation dans ce cas se qualifie de très rapide à très lente à cause de la stimulation de l'activité microbienne par

l'ajout des matières organiques au sol /6/. La moyenne est rehaussée par les valeurs des parcelles témoins qui affichent des rapports C/N élevés par rapport aux autres. Pour ces parcelles l'état de la matière organique dans le sol reste le même car elles n'ont rien reçu comme fertilisant.

La séparation des moyennes montre que le fumier et le compost se classent dans un même groupe de moyenne ; cela s'explique par le même degré de décomposition pour les deux ($\pm \text{C/N} = 21$). D'une manière générale, ils ont contribué de la même façon à réduire le C/N du sol. La faible moyenne du NPK est due au fait que l'azote apporté a été utilisé directement par les microorganismes en augmentant leur activité et par conséquent réduire le rapport C/N. La moyenne élevée obtenue dans les parcelles témoins se justifie par l'application des fertilisants qui modifient le rapport C/N du sol.

Phosphore disponible

Les teneurs en phosphore disponible avant traitement varient de 0,26 à 1,41 mg.kg^{-1} avec une moyenne de 0,70 mg.kg^{-1} , moyenne de loin inférieure à 3 mg.kg^{-1} considérée comme niveau acceptable de phosphore assimilable pour toutes les cultures /15,16/. Cette faible teneur en phosphore disponible s'explique par le fait que dans les sols tropicaux acides, la plupart du phosphore entre en combinaison avec les oxydes de fer et d'aluminium formant ainsi des phosphates de fer et d'alumine insolubles et non assimilables par les plantes.

Les teneurs en phosphore assimilable après la récolte varient entre 6,12 et 42,4 mg.kg^{-1} avec une moyenne de 17,3 mg.kg^{-1} . Ces teneurs sont faibles à modérées d'après les normes d'interprétation /6/. Pour cet auteur, les teneurs en phosphore assimilable comprises entre 3 et 50 ppm sont considérées comme faibles à modérées. Cependant on remarque que les teneurs d'après récolte sont élevées par rapport à celles d'avant traitements grâce aux apports des fertilisants. En plus des modifications de pH et l'action de la matière organique, l'activité de certaines espèces microbiennes peut faire participer les phosphates insolubles à la nutrition phosphorique des plantes et partant augmenter relativement leur teneur dans le sol /10/.

Calcium

Avant l'application des fertilisants, le niveau du calcium dans le sol variait de 0,35 à 1,71 cmol (+) kg^{-1} de sol avec une moyenne de 0,73 cmol (+) kg^{-1} de sol. Ces teneurs sont considérées comme étant très faibles /6/. Les très faibles teneurs en bases échangeables et notamment en calcium et en magnésium sont dues au lessivage et à la nature de la roche-mère.

Après la récolte les teneurs en calcium varient de 0,08 à 2,02 cmol (+) kg⁻¹ de sol avec une moyenne de 0,73 cmol (+) kg⁻¹ de sol. Ces valeurs demeurent très faibles à faibles également. Toutefois, elles sont élevées dans les parcelles traitées au fumier et au compost (moyennes de 1,28 et 0,88 respectivement) car leur minéralisation fournit des cations échangeables dans le sol /17/.

Magnésium

Les teneurs en magnésium avant traitement oscillent entre 0,13 et 0,78 cmol (+) kg⁻¹ du sol avec une moyenne de 0,29 cmol (+) kg⁻¹ du sol. Ces valeurs sont excessivement faibles à faibles /4/. Après la récolte les teneurs en magnésium sont comprises entre 0,00 et 1,57 cmol (+) kg⁻¹ du sol avec une moyenne de 0,42 cmol (+) kg⁻¹ et ces valeurs sont excessivement faibles à moyennes. Les très faibles valeurs sont observées dans les parcelles témoins qui n'ont reçu aucun fertilisant. Ce qui traduit qu'en plus des exportations par les cultures, le lessivage a entraîné beaucoup d'ions magnésiens, car le Mg est moins retenu par le complexe absorbant et migre facilement dans le sol /10/.

Potassium et Sodium

La teneur en potassium avant traitement est comprise entre 0,02 et 0,21 cmol (+) kg⁻¹ du sol avec une moyenne de 0,08 cmol (+) kg⁻¹. Cette teneur est très faible à faible /6,16/. Après la récolte la teneur en potassium a sensiblement monté en passant de 0,14 à 1,57 cmol (+) kg⁻¹ avec une moyenne de 0,45 cmol (+) kg⁻¹ de sol. Cependant elle reste très faible à moyenne /6/.

Avant traitement la teneur en sodium dans le sol variait entre 0,02 à 0,52 cmol (+) kg⁻¹ du sol et après la récolte elle est sous forme des traces. Cela s'explique probablement par le fait qu'en plus du NPK, le fumier et le compost ne contenaient pas tellement de sodium pour en libérer dans le sol et que le peu de sodium disponible a connu un lessivage en plus de l'exportation par les cultures.

Capacité d'échange cationique

Avant traitement la C.E.C. varie de 7,2 à 12,4 cmol (+) kg⁻¹ de sol avec une moyenne de 9,91 cmol (+) kg⁻¹ de sol. Ces valeurs sont considérées comme étant faibles à moyennes /6/. Cependant, après la récolte, la C.E.C. a augmenté car elle varie de 10,0 à 15,6 cmol (+) kg⁻¹ de sol avec une moyenne de 12,4 cmol (+) kg⁻¹ de sol.

Bref, les deux formes d'amendements organiques utilisées montrent en général, par rapport à NPK et au témoin, des améliorations considérables pour

les propriétés du sol comme l'azote total, le phosphore assimilable, les bases échangeables ainsi que la capacité d'échange cationique.

2.2. Paramètres agronomiques des cultures

• Maïs

L'analyse de la variance des données brutes de la longueur des plants montre une différence hautement significative entre les fertilisants. Le test de Duncan pour la comparaison des moyennes donne les résultats repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3: Comparaison des moyennes de la longueur des plants de maïs

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Fumier | 194,4 | A |
| Compost | 158,8 | AB |
| Engrais NPK | 150,6 | AB |
| Témoin | 111,9 | B |

La comparaison des moyennes montre une valeur plus élevée pour le fumier suivi du compost et de l'engrais NPK.

Quant au nombre d'épis par plant, l'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative; par contre la différence s'est révélée significative entre les traitements pour le poids sec. La comparaison des moyennes pour ce paramètre affiche la moyenne du fumier comme étant la plus élevée contre celle du compost et du NPK, formant un même groupe homogène, ainsi que celle du témoin. L'hypothèse de départ est aussi à affirmer pour ce paramètre.

Tableau 4: Comparaison des moyennes du poids sec

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Fumier | 454,7 | A |
| Compost | 227,1 | AB |
| Engrais NPK | 189,9 | AB |
| Témoin | 78,0 | B |

• *Haricot*

L'analyse de la variance des données brutes des trois paramètres considérés du haricot a montré une différence très hautement significative entre les différents fertilisants.

Tableau 5: Comparaison des moyennes du nombre des gousses à la récolte

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Fumier | 14.75 | A |
| Compost | 5.000 | B |
| Engrais NPK | 5.000 | B |
| Témoin | 3.000 | B |

Tableau 6: Comparaison des moyennes de la longueur des plants à la récolte

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Fumier | 47.88 | A |
| Compost | 23.25 | B |
| Engrais NPK | 22.88 | B |
| Témoin | 16.38 | B |

Tableau 7: Comparaison des moyennes du poids sec total à la récolte

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Fumier | 52.65 | A |
| Compost | 27.50 | B |
| Engrais NPK | 16.83 | B |
| Témoin | 13.10 | B |

La comparaison des moyennes a permis de distinguer deux groupes homogènes pour chaque paramètre et une moyenne plus élevée a été obtenue avec le fumier toujours suivi du compost. Pour ces paramètres de rendement du haricot, l'hypothèse de départ est affirmée.

• *Carotte*

L'analyse de la variance des données brutes a permis d'observer une différence significative, très hautement significative et significative respectivement pour la longueur des tubercules, le diamètre des tubercules et le poids sec total entre les différents fertilisants.

La comparaison des moyennes montre que, pour la longueur des tubercules, la carotte a tubérisé beaucoup plus dans les parcelles traitées au compost que dans celles traitées au fumier et l'engrais NPK qui ont donné des résultats proches statistiquement.

Tableau 8: Comparaison des moyennes pour la longueur de tubercules à la récolte

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Compost | 7.400 | A |
| Fumier | 5.825 | AB |
| Engrais NPK | 4.075 | AB |
| Témoin | 1.500 | B |

Quant à la comparaison des moyennes pour le diamètre des tubercules, le fumier et le compost se sont révélés les meilleurs par rapport au NPK et au témoin.

Tableau 9: Comparaison des moyennes pour le diamètre des tubercules

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Fumier | 1.975 | A |
| Compost | 1.850 | A |
| Engrais NPK | 0.6000 | B |
| Témoin | 0.2000 | B |

Pour le poids sec, la comparaison des moyennes montre que le compost vient en premier lieu. Le fumier et le NPK, ont contribué de la même façon à la même façon à la constitution du poids de la carotte.

Pour le poids sec, la comparaison des moyennes montre que le compost vient en premier lieu. Le fumier et le NPK, ont contribué de la même façon à la constitution du poids de la carotte.

Tableau 10: Comparaison des moyennes pour le poids sec total à la récolte

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Compost | 6.520 | A |
| Fumier | 3.553 | AB |
| Engrais NPK | 1.160 | AB |
| Témoin | 0.162 | B |

Etant donné que les deux formes de matière organique (compost et fumier) affichent toujours les meilleurs résultats l'hypothèse de départ est à confirmer.

• *Chou*

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré une différence très hautement significative pour le diamètre de la pomme et la longueur des racines ainsi qu'une différence hautement significative pour le poids sec entre les différents fertilisants.

Tableau 11: Comparaison des moyennes du diamètre de la pomme

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Compost | 13.425 | A |
| Fumier | 10.125 | A |
| Engrais NPK | 2.500 | B |
| Témoin | 1.750 | B |

Tableau 12: Comparaison des moyennes de la longueur des racines

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Compost | 23.55 | A |
| Fumier | 21.68 | A |
| Engrais NPK | 8.250 | A |
| Témoin | 4.375 | A |

Tableau 13 : Comparaison des moyennes du poids sec total

| Traitements | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|----------|-------------------|
| Fumier | 240.975 | A |
| Compost | 114.475 | AB |
| Engrais NPK | 13.400 | B |
| Témoin | 1.950 | B |

La comparaison des moyennes pour les trois paramètres de chou montre que le fumier et le compost du même groupe ont influencé

significativement le diamètre de la pomme de chou que le groupe de NPK et du témoin. Pour la longueur des racines, le test de Duncan ne s'est pas révélé apte à séparer les moyennes car il n'apparaît qu'un seul groupe homogène.

Quant au poids sec, la moyenne du fumier est plus significativement importante suivi de celle du compost et enfin le NPK et le témoin, appartenant au même groupe montrent un même effet sur le poids sec du chou.

Comme pour les autres cultures les deux formes d'amendements organiques influencent plus les paramètres du chou, ce qui revient à confirmer l'hypothèse formulée au départ de cette étude.

Conclusion

De cette étude, il convient de considérer que la matière organique s'est révélée la meilleure quant à l'amélioration de la fertilité des sols acides et à l'augmentation des rendements des cultures par rapport à la fumure minérale (NPK 17-17-17). Pour des sols dégradés comme ceux de Tonga, il est donc préférable de précéder la fertilisation minérale par une fumure organique (compost et/ou fumier de ferme) pour, non seulement reconstituer la vie biologique, mais aussi rehausser la capacité de rétention de l'eau et des éléments ajoutés au sol.

Les faibles valeurs du pH dans les sols tropicaux entraînent un ralentissement de minéralisation de la matière organique existante (accumulation de l'humus non profitable aux cultures) due à l'inhibition de l'activité microbienne. Un apport suffisant de matière organique suivi éventuellement d'un chaulage est à préconiser avant toute forme d'exploitation.

J. J. Mbonigaba &
R. Bizimana

Université Nationale du Rwanda,

M. Cuiot

Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux
(Belgique)

REFERENCES

1. LU J. (1985). Production du compost, recyclage des résidus des cultures et des déchets urbains. In MINAGRI. *Premier séminaire national sur la fertilisation des sols au Rwanda*, Kigali, p. 264-270
2. WOOMER P.L. et Swift M.J. (1994). *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester: John Wiley & Sons. 243p.
3. PANKHURST C., Doube B.M. et Gupta V.V.S.R. (1997). *Biological indicators of soil health*. New York: CAB International. 451p.
4. NDOREYAHU V. (1985). Contribution de la Faculté d'Agronomie de l'UNR à la recherche sur la fertilisation au Rwanda. In MINAGRI. *Premier séminaire national sur la fertilisation des sols au Rwanda*. Kigali, p.194 - 202
5. CASTET J. et Sanglerat G. (1981). *Cours pratique de mécanisation des sols*. Paris, Bordas.
6. MUTWEWINGABO B. et Rutunga V. (1987). *Etude des sols des stations d'essai du projet d'intensification de l'agriculture de Gikongoro*. Série I n° 3. Butare.
7. FALISSE A. et Lambert J. (1994). La fertilisation minérale et organique. In Ameziame T. El Hassan et Persoons E. eds. *Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale*. Paris: HATIER-AUPELF-UREF, pp. 377-398.
8. SOLTNER D. (1985). *Les bases de la production végétale. Le sol, le climat, la plante*. Tome 1. Le sol. 13^{ème} éd. Sainte-Gemmes sur-Loire Angers: Auteur. 456 p.
9. ELIARD J. (1973). *Manuel d'agriculture générale. Bases de la production végétale*. 3^{ème} édition. Paris: Edition J-B. Baillière. 344p.
10. GROS A. (1967). *Engrais. Guide pratique de la fertilisation*. 6^{ème} édition. Paris: Maison rustique. 436p.
11. MESSIAEN C.M. (1989). *Le potager tropical*. 2^{ème} éd. Paris: A.C.C.T. Paris-PUF. 580 p.
12. ELSAS J.D., Trevors J.T. et Wellington E.M.H. (1997). *Soil microbiology*. New York: MARCEL DEKKER, INC. 683p.
13. PAUL E.A. et Clark F.E. (1996). *Soil microbiology and biochemistry*. 2^{ème} San Diego: ACADEMIC PRESS. 340p.
14. KANAMUGIRE A. (1993). *Effet du phosphore et de deux types d'aménagements anti-érosifs sur le rendement de la pomme de terre au site expérimental de Tonga*. Mémoire. Faculté d'Agronomie, UNR-Butare. 142 p.

15. KAYITERA C. (2000). *Etude des gradients de fertilité le long d'une toposéquence du plateau central: cas de la colline Uwabakinga*. Mémoire. Faculté d'Agronomie, UNR - Butare. 158 p.
16. VAN Der Zaag P. (1982). La fertilité des sols du Rwanda. In: *Bulletin agricole du Rwanda. Janvier 1982, 15^{ème} année*. Kigali: MINAGRI. P. 3-24.
17. DALZELL H.W., Biddlestone A.J., Gray K.R., Thurairajan K. (1987). *Soil management compost production and use in tropical and subtropical environments*. Rome: FAO. 177p.