



**Détermination de la dose performante
combinant les engrais organo-minéraux
« FOMI IMBURA et FOMI TOTHAZA »
pour la culture de maïs au Burundi**



Hicintuka Cyrille
Ntirandekura Jean Bosco
Nkurunziza Gélase
Ndikumana Jonas
Hatungimana Sylvestre
Bayubahe Jackson
Niyongabo Elias
Bizimana Syldie
Prof. Kaboneka Salvator

Novembre 2025

Détermination de la dose performante combinant les engrais organo-minéraux « FOMI IMBURA et FOMI TOTHAZA » pour la culture du maïs au Burundi

Hicintuka Cyrille (Ir)¹

Ntirandekura Jean Bosco (Msc)¹

Nkurunziza Gélase (Msc)¹

Ndikumana Jonas (Msc)¹

Hatungimana Sylvestre (Ir)¹

Bayubahe Jackson (Ir)²

Niyongabo Elias (Msc)²

Bizimana Syldie (PhD)²

Prof. Kaboneka Salvator (PhD)³

¹ **Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU)**

² **Fertilisants Organo-minéraux Industries (FOMI)**

³ **Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie/UB (FABI/UB)**

Remerciements

De prime abord, permettez-nous d'avertir nos lecteurs et utilisateurs que le présent rapport a été rédigé post-ante après transmission officielle par l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) d'un rapport synthèse des résultats de recherche sur la dose de fertilisation du maïs par les engrais FOMI auprès du Ministère de tutelle et la communication des résultats aux usagers finaux par divers canaux de communication et de vulgarisation. Il se veut assez clair autant que possible afin de montrer sans faux fuyant l'origine des informations présentées dans le rapport de synthèse et les différents outils de communication.

Le présent rapport de recherche est le fruit des efforts incommensurables de l'ISABU à travers ses chercheurs de la composante maïs, appuyés par les chercheurs des pôles « Fertilité des sols » et « Socio-économie » en collaboration avec différents cadres et agents de la Direction de la Recherche et Innovation de la Société FOMI. A toutes ces personnes, nous prenons cette précieuse occasion pour leur adresser nos vifs remerciements.

Nos remerciements vont également à la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie (FABI) de l'Université du Burundi et à la Société des Fertilisants Organo-Minéraux Industries (FOMI) pour leur accompagnement scientifique et technique. La société FOMI est particulièrement remerciée pour avoir financièrement supporté tous les coûts associés à ce travail.

Nos vifs remerciements sont particulièrement adressés au comité de relecture pour les améliorations importantes et pertinentes apportées au document par rapport aux informations initiales lui transmises.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à tout un chacun qui, d'une manière ou d'une autre, a apporté sa pierre à l'édifice pour faire aboutir ce travail.

A toutes ces personnes, nous disons encore une fois grand merci.

Directeur Général de l'ISABU

**Administrateur Directeur Général
de la Société FOMI**

Samson MUSONERIMANA (PhD)

Simon NTIRAMPEBA



Tables des Matières

Remerciements	i
Liste des sigles et abréviations	v
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	ix
Résumé Exécutif	x
Executive summary	xii
1. INTRODUCTION	1
2. MATERIEL ET METHODES	3
2.1 Sites expérimentaux	3
2.2 Matériel végétal	9
2.3 Intrants utilisés	11
2.4 Dispositif expérimental	11
2.5 Application des fertilisants.....	13
2.5.1 Fumure de fond.....	13
2.5.2 Fumure de couverture.....	13
2.6 Collecte de données	13
2.7 Traitement et analyse des résultats.....	14
3. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	15
3.1 Résultats d'analyse des sols	15
3.2 Rendement en grains de maïs en fonction des saisons et des sites	17
3.2.1 Saison 2020A.....	17
3.2.1.1 Basse altitude (Bukemba, variété Longe 4)	17
3.2.1.2 Moyenne altitude (Karusi et Zege, variété ZM 605).....	21
3.2.1.3 Haute altitude (Gisozi, variété Mugamba).....	23

3.2.1.4	Effet du mode d'application de l'engrais de couverture ...	26
3.2.2	Saison 2021A.....	28
3.2.2.1	Basse altitude (Bukemba et Mparambo, variétés Longe 4 et MM3).....	28
3.2.2.2	Moyenne altitude (Karusi et Zege, variété ZM 605).....	30
3.2.2.3	Haute altitude (Gisozi ; variété Mugamba).....	33
3.2.2.4	Effet du mode d'application de l'engrais de couverture ...	35
3.2.3	Saison 2022A.....	36
3.2.3.1	Basse altitude (Bukemba non chaulé, variété Longe 4)....	36
3.2.3.2	Moyenne altitude (Karusi, variété ZM 605).....	39
3.2.3.3	Haute altitude (Gisozi et Mahwa, variété Mugamba)	41
3.2.3.4	Effet du mode d'application de l'engrais de couverture ...	43
3.3	Effet des différents facteurs sur le rendement en grains de maïs : analyse sur les données combinées par site.....	44
3.3.1	Rendement en grains de maïs en basse altitude (Bukemba, variété Longe 4)	44
3.3.1.1	Bukemba non chaulé.....	45
3.3.1.2	Bukemba chaulé.....	47
3.3.2	Rendement en grains de maïs en moyenne altitude (Karusi et Zege, variété ZM 605)	49
3.3.3	Rendement en grains de maïs en haute altitude (Gisozi, variété Mugamba).....	56
4.	CONCLUSION	59
	Bibliographie.....	61

Liste des sigles et abréviations

Ca	Calcium
Ca _{éch}	Calcium échangeable
CEC	Capacité d'Echange Cationique
CI	Centre d'Innovation
C _{org}	Carbone organique
CV	Coefficient de Variation
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (Centre international d'amélioration du maïs et du blé)
DAP	Diammonium Phosphate
FAO	Food and Agriculture Organization
g	Gramme
ha	Hectare
IFDC	International Fertilizer Development Center
IGEBU	Institut Géographique du Burundi
K	Potassium
KCl	Chlorure de Potassium
K _{éch}	Potassium échangeable
kg	Kilogramme
méq	Milliéquivalent
Mg	Magnésium
Mg _{éch}	Magnésium échangeable
Min	Minimum
MAE	Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage
MEEATU	Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme
MINEAGRIE	Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage
N	Azote
NARO	National Research Organization
ONCCS	Office National de Contrôle et de Certification des Semences
P	Phosphore
SNRZ	Station Nationale de Recherche Zootechnique
SRR	Station Régionale de Recherche
t	Tonne
UB	Université du Burundi

Liste des tableaux

Tableau 1. Précipitations totales enregistrées au cours du cycle végétatif du maïs selon les sites et les saisons.....	5
Tableau 2. Températures maximales (TM), minimales (Tm), moyennes [(TM + Tm) /2] enregistrées au cours de la saison 2020A de maïs	6
Tableau 3. Températures maximales (TM), minimales (Tm), moyennes [(TM + Tm) /2] enregistrées au cours de la saison 2021A de maïs	7
Tableau 4. Températures maximales (TM), minimales (Tm), moyennes [(TM + Tm) /2] enregistrées au cours de la saison 2022A de maïs	8
Tableau 5. Quelques caractéristiques générales des variétés utilisées dans les essais en station.....	10
Tableau 6. Description des traitements utilisés.....	12
Tableau 7. Caractéristiques chimiques des sols des sites expérimentaux : Saison 2020A	15
Tableau 8. Caractéristiques chimiques des sols des sites expérimentaux : Saison 2022A	16
Tableau 9. Analyse de la variance pour le rendement en grains dans deux essais séparés incluant respectivement le chaulage et le non chaulage à Bukemba, saison 2020A	17
Tableau 10. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans les sites de Karusi et de Zege, saison 2020A	22
Tableau 11. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans le site de Gisozi, saison 2020A	24
Tableau 12. Moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements en haute altitude (Gisozi), saison 2020A.....	25
Tableau 13. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans les sites de Bukemba chaulé, Bukemba non chaulé et Mparambo, saison 2021A.....	28
Tableau 14. Moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements dans les sites de basse altitude (Bukemba et Mparambo), saison 2021A.....	29

Tableau 15. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans les sites de Karusi et Zege, saison 2021A	31
Tableau 16. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans le site de Gisozi, saison 2021A	33
Tableau 17. Moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements dans les sites de haute altitude (Gisozi), saison 2021A	34
Tableau 18. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans le site de Bukemba, saison 2022A	37
Tableau 19. Moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements, saison 2022A	38
Tableau 20. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans le site de Karusi, saison 2022A	39
Tableau 21. Comparaison des moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements dans le site de Karusi, saison 2022A.....	40
Tableau 22. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans les sites de Mahwa et Gisozi, saison 2022A.....	41
Tableau 23. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec des données combinées de trois saisons culturales 2020A, 2021A et 2022A au site de Bukemba non chaulé	45
Tableau 24. Rendement moyen en grains de maïs (t/ha) en fonction des saisons dans le site de Bukemba non chaulé	47
Tableau 25. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec des données combinées de deux saisons culturales 2020A et 2021A au site de Bukemba chaulé	48
Tableau 26. Rendement moyen en grains de maïs (t/ha) en fonction des saisons dans le site de Bukemba chaulé	49
Tableau 27. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec des données combinées de trois saisons culturales 2020A, 2021A et 2022A au site de Karusi	50

Tableau 28. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec les données combinées de deux saisons culturales 2020A et 2021A au site de Zege	51
Tableau 29. Comparaison des moyennes de rendement obtenu dans les sites du plateau central en fonction des traitements avec les données des saisons 2020A et 2021A en moyenne altitude	54
Tableau 30. Rendement moyen en grains de maïs (t/ha) en fonction des saisons dans le site de Zege	55
Tableau 31. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec des données combinées de trois saisons culturales 2020A, 2021A et 2022A au site de Gisozi	56
Tableau 32 .Comparaison des moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements avec des données de 3 saisons culturales au site de Gisozi	57
Tableau 33. Comparaison des moyennes de rendement en fonction des saisons dans le site de Gisozi.....	58

Liste des figures

Figure 1. Rendement en grains de maïs de la variété Longe 4 sous différents traitements à Bukemba (basse altitude), saison 2020A	19
Figure 2. Effet de la combinaison doses d'engrais FOMI et chaux sur le rendement en grains de maïs, variété Longe 4 à Bukemba (basse altitude), saison 2020A	21
Figure 3. Rendement en grains de maïs en fonction des traitements dans les sites de Karusi et Zege (moyenne altitude), saison 2020A.....	23
Figure 4. Moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture FOMI Totahaza, saison 2020A.....	27
Figure 5. Moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction des traitements en moyenne altitude (Karusi et Zege), saison 2021A	32
Figure 6. Comparaison des moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture FOMI Totahaza, saison 2021A	36
Figure 7. Moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction des traitements en haute altitude (Gisozi et Mahwa), saison 2022A	42
Figure 8. Comparaison des moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture FOMI Totahaza, saison 2022A	44
Figure 9. Moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) sur l'ensemble des saisons en fonction des traitements en moyenne altitude (Karusi et Zege)	52

Résumé Exécutif

Afin de réduire la dépendance de l'extérieur pour les importations des engrais minéraux et réduire les effets néfastes sur la qualité du sol par ces derniers, le Gouvernement du Burundi a entrepris la mission de soutenir la promotion d'entreprises locales de production de fertilisants. C'est ainsi que l'entreprise FOMI (Fertilisants Organo-Minéraux Industries) a vu le jour. Dans ce cadre, une étude sur la fertilisation avec les engrais FOMI Imbura et FOMI Totahaza sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) a été menée au Burundi durant trois saisons successives (2020A, 2021A et 2022A), par l'ISABU, la société FOMI, avec l'appui de la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie de l'Université du Burundi (FABI/UB).

L'objet de l'étude était de déterminer la dose performante combinant les engrais FOMI Imbura et FOMI Totahaza sur la culture du maïs au Burundi. Au cours des deux premières saisons culturales 2020A et 2021A, les champs d'essais ont été installés dans six sites, à savoir : Mparambo (Cibitoke) et Bukemba (Rutana) en basse altitude ; Zege (Gitega) et Karusi (Karusi) en moyenne altitude et Gisozi (Mwaro) et Mahwa (Gitega) en haute altitude. A la troisième saison culturale 2022A, les sites de Mparambo et de Zege ont été abandonnés pour des raisons diverses. Les variétés utilisées étaient MM3 à Mparambo, Mugamba à Gisozi et à Mahwa, Longe 4 à Bukemba et ZM 605 à Karusi et à Zege. Au total, 11 doses d'engrais FOMI ont été expérimentées dans un dispositif en blocs aléatoires complets T0=pratique paysanne ; T1=45-60-30 (formule actuellement vulgarisée) ; T2=270 kg FOMI Imbura ; T3= 270 kg FOMI Imbura+ 100 kg FOMI Totahaza ; T4=270 kg FOMI Imbura+ (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza ; T5= 180 kg FOMI Imbura + 67 kg FOMI Totahaza ; T6=180 kg FOMI Imbura + (33 kg + 34 kg) FOMI Totahaza ; T7= 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza ; T8=150 kg FOMI Imbura

+ (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza ; T9= 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza ; T10=90 kg FOMI Imbura + (16 kg+17 kg) FOMI Totahaza. A chaque traitement, une dose unique de 750 kg/ha de dolomie a été appliquée.

A l'issue des différentes expérimentations et à travers les trois saisons culturales, les résultats obtenus ont révélé : la supériorité du traitement T5 [180 kg FOMI Imbura + 67 kg FOMI Totahaza] en haute altitude (Gisozi et Mahwa), celle du traitement T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza] en moyenne altitude (Zege et Karusi) et du traitement T9 [T9= 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza] en basse altitude (Mparambo et Bukemba). Eu égard à ces résultats, il est recommandé d'appliquer des doses de fertilisation spécifiques à chaque aire de culture pour le maïs, c'est -à -dire :

- ① 180 kg FOMI Imbura + 67 kg FOMI Totahaza en zone de haute altitude ;
- ② 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza en zone de moyenne altitude ;
- ③ 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza en zone de basse altitude.

Executive summary

In order to reduce the dependency on imports of chemical fertilizers and reduce their effects on soil quality, the Government of Burundi took the viable option to promote local enterprises involved in fertilizers production. To this end, the Organo-Mineral Fertilizers Industries (FOMI) was created through a private initiative. In that contextual framework, a fertilizer experimental study was conducted with FOMI Imbura and FOMI Totahaza on a maize (*Zea mays* L.) crop during three growing seasons (2020A, 2021A et 2022A), by ISABU, FOMI company, in collaboration with the Faculty of Agronomy and Bio-Engineering of the University of Burundi (FABI/UB).

The study aim was to determine the most performing FOMI fertilizer application rate on maize crop in Burundi. During the first two growing seasons 2020A and 2021A, experimental fields were installed in six sites: Mparambo (Cibitoke) and Bukemba (Rutana) in low altitude agro-ecological zone; Zege (Gitega) and Karusi in middle altitude agro-ecological zone and Gisozi (Mwaro) and Mahwa (Gitega) in high altitude zone. At the third growing season 2022A, experimental sites of Mparambo and Zege were judged unfit and were left behind for different reasons. Tested varieties were MM3 in Mparambo, Mugamba in Gisozi and Mahwa, Longe 4 in Bukemba, together with ZM 605 in Karusi and Zege. In total, 11 application rates of FOMI fertilizers were evaluated : T0=traditional practice (control) ; T1=45-60-30 (recommended application fertilizer rate) ; T2=270 kg FOMI Imbura ; T3= 270 kg FOMI Imbura+ 100 kg Totahaza ; T4=270 kg FOMI Imbura+ (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza ; T5= 180 kg FOMI Imbura + 67 kg FOMI Totahaza ; T6=180 kg FOMI Imbura + (33 kg + 34 kg) FOMI Totahaza ; T7= 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza ; T8=150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza ; T9= 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza ; T10=90 kg FOMI Imbura

+ (16 kg+17 kg) FOMI Totahaza. In all treatments, lime was applied at 750 kg/ha two weeks before sowing.

At the conclusion of the experiments, and across the three growing seasons, obtained results indicated the following findings : highest performance of T5 [180 kg FOMI Imbura + 67 kg FOMI Totahaza] in high altitude agro-ecological zone (Gisozi and Mahwa), best yields for treatment T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza] in middle altitude agro-ecological zone (Zege et Karusi), while treatment T9 [T9= 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza] has given better yield than the other treatments in low altitude agro-ecological zone (Mparambo and Bukemba). In light of these findings, it is recommended to apply area-specific fertilizer rates for maize in Burundi, i.e.:

- ① 180 kg FOMI Imbura+ 67 kg FOMI Totahaza in high altitude agro-ecological zone;
- ② 150 kg FOMI Imbura + (75 kg) FOMI Totahaza in middle altitude agro-ecological zone;
- ③ 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza in low altitude agro-ecological zone.

1. INTRODUCTION

La perte de la fertilité des sols est une évidence au Burundi avec une réduction drastique des rendements agricoles dans un contexte d'accroissement démographique élevé. Cette perte de fertilité des sols et des rendements ayant pour origine différents phénomènes de dégradation physique, chimique et biologique (**Hicintuka et Bararwandika, 2016**) est due à plusieurs facteurs dont : i) le faible niveau de recyclage des biomasses produites au niveau de l'exploitation, ii) les techniques de lutte contre l'érosion qui ne sont pas appliquées conduisant à la perte de la couche superficielle du sol qui est la plus fertile, et iii) la faible capacité technique des agriculteurs à produire de la fumure organique (**IFDC et ISABU, 2022**), ainsi que les pratiques agricoles inadéquates pour assurer le recyclage des nutriments et une bonne nutrition des plantes (**Bizimana, 2018**), notamment en termes d'utilisation correcte des engrais par le respect des doses recommandées (**Chianu et al., 2012 ; Kihara et al., 2023**).

Une étude datant d'il y a 10 ans (**Nduwimana et al., 2013**), qui a porté sur 1039 échantillons de sols, a montré que la majorité des sols du Burundi sont déficients en phosphore (85%), en bore (90%), en soufre (71%) et en zinc (62%). La même étude a montré que la moitié des sols (50%) présentent des carences en magnésium. Les sols carencés en potassium représentaient 30% des échantillons. La carence en cuivre s'observait sur 13% des échantillons.

De ce fait, le plus grand défi pour la sécurité alimentaire est de faire face à l'augmentation de la croissance de la population rurale dans un contexte environnemental de perte de fertilité croissante des sols arables. Il est en effet reconnu que la faible fertilité limite les rendements agricoles. L'un des moyens d'y parvenir est de chercher à augmenter la productivité des sols par l'utilisation adéquate des engrais qui jouent un rôle clé dans l'augmentation de la production agricole. En

effet, différentes études rapportent le rôle des engrais dans ce sens. Par exemple, une augmentation de rendements de l'ordre de 24 à 38% a été observée sur le blé en Ethiopie (**Liben et al., 2022**) et des augmentations du rendement du maïs de 11 % et 18 %, respectivement, ont également été observées ailleurs par rapport aux recommandations générales (**Chivenge et al., 2022 ; Maertens et al., 2023**).

Jusqu'en 2019, la fertilisation des sols au Burundi était basée sur l'utilisation des engrais minéraux principalement le DAP, l'Urée, le KCl et les engrais ternaires NPK. Ces engrais coûtaient cher au pays et aux agriculteurs en termes de devises, sans être disponibles en temps opportun. D'autre part, leur utilisation non raisonnée débouche à d'autres conséquences néfastes sur les sols et l'environnement (**Bossy, 2013**). En effet, ce dernier auteur avance que bien que les engrais minéraux stimulent la croissance des plantes, ils modifient la stabilité des sols. Les éléments non absorbés sont néfastes à tout l'écosystème entourant la plante, amoindrissant la quantité de la faune (vers de terre, insectes, crustacés, ...) et de micro-organismes (bactéries, champignons, algues, nématodes, ...) du sol. Cette destruction entraîne alors une dépendance aux engrais : plus le sol est pauvre en matière organique, plus les cultures ont besoin d'apports externes. En cas de lessivage dans les champs agricoles, l'eau de pluie emporte les nitrates qui polluent les réserves en eau, la rendant impropre à la consommation (**Soulard, 2005; Gowariker et al., 2009**).

Pour inverser cette tendance, le Burundi s'est engagé depuis 2019 à utiliser des engrais organo-minéraux et une société FOMI (Fertilisants Organo-Minéraux Industries) qui les fabrique a vu le jour. L'application d'engrais organo-minéraux est l'une des options pour fournir les éléments fertilisants (N, P, K, Ca, Mg) et d'autres éléments mineurs qu'on pourra trouver dans la portion organique. L'engrais organo-minéral constitue également un moyen d'explorer implicitement et simultanément les avantages de la combinaison engrais-matière

organique (Soltner, 2003). Devant cette situation évolutive de la fertilisation des sols au Burundi, la recherche a dû s'adapter et s'est désormais orientée vers la mise en place de meilleures formules de fertilisation organo-minérale applicable en priorité à des cultures de grande importance alimentaire et apportant un revenu net intéressant pour l'agriculteur dont le maïs.

Le présent rapport de recherche présente les résultats d'évaluation de la performance et l'efficacité des engrais FOMI Imbura et FOMI Totahaza sur la culture de maïs dans quelques sites représentatifs des zones de production de cette culture au Burundi. Ainsi, l'objectif spécifique de cette expérimentation était de déterminer la dose agronomiquement efficace et économiquement rentable des engrais FOMI sur la culture de maïs dans les conditions agro écologiques du Burundi, en comparaison avec la formule minérale jusqu'ici vulgarisée dans le pays. En effet, traditionnellement, les engrais minéraux comme le DAP, l'urée, le KCl ou encore le NPK de composition variable étaient ceux utilisés au Burundi. Avec la production des engrais FOMI depuis 2019, il s'est avéré indispensable de penser à ce changement de source d'éléments nutritifs (type d'engrais) pour appliquer les taux et les doses corrects tenant compte du changement des types d'engrais. C'est dans ce cadre que l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU), l'Université du Burundi/FABI et l'entreprise FOMI ont conduit des travaux de recherche pour la mise au point d'un niveau d'application des engrais organo-minéraux agronomiquement productif et économiquement rentable.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Sites expérimentaux

Les essais ont été conduits durant deux à trois saisons successives (2020A, 2021A et 2022 A) dans six sites correspondant à 3 zones agroécologiques du Burundi. Il s'agit de :

- CI Mparambo dans l'ancienne province de Cibitoke (zone de basse altitude) ;
- SRR Gisozi dans l'ancienne province de Mwaro (zone de haute altitude) ;
- SNRZ Mahwa en province Gitega (zone de haute altitude) ;
- SRR Bukemba dans l'ancienne province de Rutana (zone de basse altitude) ;
- Campus Zege/UB en province Gitega (zone de moyenne altitude) ;
- SRR Karusi dans l'ancienne province de Karusi (zone de moyenne altitude).

Pour la troisième saison (2022A), le site de Zege a été disqualifié en raison d'un suivi défaillant sur terrain ayant entraîné une interférence énorme des mauvaises herbes. Etant donné que le site de Karusi se trouve dans la même zone que le site de Zege, l'omission de ce dernier site ne va pas causer de préjudices quant à la représentativité des zones agroécologiques et aux conclusions à tirer. L'autre site qui a été retiré est celui de Mparambo (Cibitoke) à la suite des perturbations climatiques qui se sont succédées dans la province de Cibitoke au cours de l'année 2022. En effet, après le semis dans le site de Mparambo, les pluies ne sont pas tombées pendant une longue période ; ce qui a provoqué un mauvais taux de levée dans ce site. En conséquence, pour éviter le biais évident, les données de ce site ont été disqualifiées.

Avant la mise en place des essais, les caractéristiques chimiques des sols (pH_{eau}, C org, N total, P assimilable, Ca, Mg et K échangeables et la CEC) ont été analysés. Les caractéristiques climatiques (précipitations et températures) durant la période de croissance et développement de la culture en fonction des saisons et des sites sont indiquées dans les tableaux 1 à 4 suivants.

Tableau 1. Précipitations totales enregistrées au cours du cycle végétatif du maïs selon les sites et les saisons

Saison	Site	Date de semis	Date de récolte	Durée du cycle	Cumul des pluies (mm)	Moyenne générale de pluies par saison (mm)
2020A	Bukemba	30/10/2019	17/04/2020	170	877,7	1106,3
	Gisozi	22/10/2019	28/04/2020	189	1482,8	
	Karusi	24/10/2019	22/04/2020	181	ND	
	Mparambo	18/11/2019	23/04/2020	157	967,3	
	Zege	23/10/2019	18/04/2020	178	1097,5	
2021A	Bukemba	04/11/2020	26/04/2021	173	1036,7	983,5
	Gisozi	28/10/2020	28/04/2021	182	1167,9	
	Karusi	29/10/2020	17/04/2021	170	ND	
	Mparambo	28/11/2020	19/04/2021	142	693,6	
	Zege	30/10/2020	15/04/2021	167	840,1	
2022A	Mahwa	04/11/2020	25/04/2021	172	1178,9	876,6
	Bukemba	11/11/2021	07/04/2022	147	89 316,0	
	Gisozi	26/10/2021	21/04/2022	177	979,8	
	Karusi	28/10/2021	10/04/2022	164	ND	
	Mparambo	04/12/2021	12/04/2022	129	401,9	
	Mahwa	27/10/2021	23/04/2022	178	1231,4	

ND : pas de données

Source : Adaptation des données de l'IGEBU

Tableau 2. Températures maximales (TM), minimales (Tm), moyennes [(TM + Tm) / 2] enregistrées au cours de la saison 2020A de maïs

Température (° C)		Oct-19	Nov-19	Déc-19	Janv-20	Févr-20	Mars-20	Avr-20	Moyenne (° C)
Site									
Bukemba	TM	29,8	28,9	27,9	28,5	29,5	29,5	28,5	28,9
	Tm	16,5	16,3	16,6	17,4	17,1	18,0	17,6	17,1
	Moyenne	23,1	22,6	22,2	22,9	23,3	23,8	23,0	23,0
Gisozi	TM	21,4	21,8	21,8	22,0	22,7	22,7	21,7	22,0
	Tm	11,8	12,0	12,7	13,5	12,7	13,2	13,3	12,8
	Moyenne	16,6	16,9	17,2	17,8	17,7	18,0	17,5	17,4
Zege	TM	25,1	25,5	25,5	25,8	26,6	26,7	25,9	25,9
	Tm	15,0	14,8	15,5	16,4	15,6	16,0	15,9	15,6
	Moyenne	20,0	20,2	20,5	21,1	21,1	21,4	20,9	20,7
Karusi	TM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Moyenne	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : pas de données

Source : Adaptation des données de l'IGEBU

Tableau 3. Températures maximales (TM), minimales (Tm), moyennes [(TM + Tm) /2] enregistrées au cours de la saison 2021A de maïs

Température (° C)		Oct-19	Nov-19	Déc-19	Janv-20	Févr-20	Mars-20	Avr-20	Moyenne (° C)
Site									
Bukemba	TM	ND	29,0	28,4	28,0	28,3	28,8	28,1	28,4
	Tm	ND	17,0	16,5	16,3	16,6	15,7	16,3	16,4
	Moyenne	ND	23,0	22,4	22,1	22,4	22,2	22,2	22,4
Gisozi	TM	22,8	22,2	22,3	21,8	22,7	22,4	21,6	22,3
	Tm	11,5	12,3	12,4	12,2	12,5	11,5	12,1	12,1
	Moyenne	17,2	17,3	17,4	17,0	17,6	17,0	16,8	17,2
Zege	TM	26,8	25,7	25,8	25,4	26,2	26,0	25,0	25,9
	Tm	15,3	15,3	15,2	15,4	15,7	14,7	15,1	15,2
	Moyenne	21,1	20,5	20,5	20,4	20,9	20,4	20,1	20,5
Karusi	TM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Moyenne	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : pas de données

Source : Adaptation des données de l'IGEBU

Tableau 4. Températures maximales (TM), minimales (Tm), moyennes [(TM + Tm) /2] enregistrées au cours de la saison 2022A de maïs

Site	Température (°C)	Oct-19	Nov-19	Déc-19	Janv-20	Févr-20	Mars-20	Avr-20	Moyenne (°C)
		Bukemba	TM	ND	29,9	28,3	28,2	28,4	29,4
	Tm	ND	15,2	15,9	16,4		16,2	16,5	16,0
	Moyenne	ND	22,5	22,1	22,3	28,4	22,8	22,7	23,5
Gisozi	TM	23,0	22,7	21,5	22,3	21,9	23,0	21,9	22,3
	Tm	11,5	11,8	12,8	12,1	12,6	11,3	11,6	12,0
	Moyenne	17,2	17,2	17,2	17,2	17,3	17,1	16,7	17,1
Mparambo	TM	ND	ND	ND	ND	30,7	32,3	32,2	31,7
	Tm	ND	ND	ND	ND	19,0	19,4	19,2	19,2
	Moyenne	ND	ND	ND	ND	24,8	25,8	25,7	25,5
Mahwa	TM	24,8	24,6	23,8	24,0	24,0	25,1	24,2	24,4
	Tm	11,7	11,5	13,2	13,0	13,4	12,2	12,5	12,5
	Moyenne	18,2	18,0	18,5	18,5	18,7	18,6	18,4	18,4
Karusi	TM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Moyenne	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : pas de données Source : Adaptation des données de l'IGEBU

2.2 Matériel végétal

Le matériel végétal qui a été utilisé est constitué par des variétés différentes, choisies en fonction de leur adaptation aux différentes zones agroécologiques :

1. Variété MM 3 pour le site de Mparambo ;
2. Variété Mugamba pour les sites de Gisozi et Mahwa ;
3. Variété Longe 4 pour le site de Bukemba ;
4. Variété ZM 605 pour les sites de Karusi et Zege.

Quelques caractéristiques générales des variétés utilisées dans les essais en station sont indiquées dans le [tableau 5](#) ci-dessous.

Tableau 5. Quelques caractéristiques générales des variétés utilisées dans les essais en station

Critère UPOV	Variété		
	ZM 605	Mugamba-1	Longe 4
Nom botanique	<i>Zea mays L.</i>	<i>Zea mays L.</i>	<i>Zea mays L.</i>
Nom commun	Maïs	Maïs	Maïs
Nom de la variété	ZM 605-24	Mugamba	LONGE 4
Type variétal	Synthétique	Synthétique	Composite
Nom en Kirundi	-	Mugamba	-
Code d'origine	ZM 605-24	POOL 9A	LONGE 4
Centre d'origine	CIMMYT Zimbabwe	CIMMYT Zimbabwe	NARO (OUGANDA)
Obtenteur	ISABU	ISABU	NARO
Mainteneur	ISABU	ISABU	ISABU
Zone de culture	1200 à 1800 m d'altitude	1200 à 2200 m d'altitude	800 à 1800 m d'altitude
Rendement potentiel	3,5 à 4,5 t/ ha	2 à 3 t/ha	6,8 à 9,34 t/ha
Cycle végétatif	144 jours	161 jours	100 à 137 jours

Source : MINEAGRIE-ONCCS, 2020

2.3 Intrants utilisés

Les semences de maïs utilisées qui étaient de la catégorie des prébases ont été obtenues de l'ISABU.

Pour ces essais, différents types de fertilisants et amendements à savoir les engrais organo-minéraux, les engrais minéraux, la chaux et la matière organique ont été utilisés.

Les engrais organo-minéraux et la dolomie (à raison de 0,75 t/ha) utilisés ont été fournis par l'entreprise de fertilisants organo minéraux FOMI. La matière organique constituée du fumier de vache (à raison de 15 t/ha) était fournie localement par les agriculteurs du site. Le labour a été fait à la houe. Le sarclage a été effectué trois fois ; le premier sarclage est intervenu 3 semaines après le semis, le deuxième sarclage ou binage, 6 semaines après le semis et le troisième sarclage (buttage) au début de l'épiaison.

Le traitement contre les maladies et ravageurs surtout la nouvelle chenille légionnaire d'automne (*Spodopetera frugiperda* Smith) a été effectué à chaque fois que de besoin. Pour la chenille ci-haut mentionnée, l'Orthene 75 SP, à la dose de 2 g/litre d'eau ou le Dudu Fenos à la dose de 1cc/litre d'eau étaient utilisés préventivement pour lutter contre ce ravageur.

2.4 Dispositif expérimental

Les essais ont mis à contribution la comparaison de 11 doses différentes d'engrais considérées ici comme traitements (tableau 6).

Dans chaque site, le dispositif expérimental consistait en bloc aléatoire complet, avec 4 répétitions. Le semis a été fait aux écartements de 75 x 50 cm recommandés par la fiche technique pour la culture du maïs (ISABU, 2016). Trois grains par poquet ont été semés. Par la suite, un

démariage à deux plants a été effectué après la levée. L'application de la dolomie s'est également référée à la fiche technique précitée. Les traitements utilisés dans cette étude sont résumés dans le [tableau 6](#).

Tableau 6. Description des traitements utilisés

Désignation des traitements	Description (Quantité d'engrais par ha)
T0	Pratique paysanne (Pas d'engrais)
T1	130 kg DAP + 50 kg Urée + 50 kg KCl (NPK :45-60-30)
T2	270 kg FOMI Imbura
T3	270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza
T4	270 kg FOMI Imbura + (50 kg+50 kg) FOMI Totahaza
T5	180 kg FOMI Imbura + 67 kg FOMI Totahaza
T6	180 kg FOMI Imbura + (33 kg+34 kg) FOMI Totahaza
T7	150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza
T8	150 kg FOMI Imbura + (37 kg+38 kg) FOMI Totahaza
T9	90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza
T10	90 kg FOMI IMBURA + (16 kg+17 kg) FOMI Totahaza

NB : Tous les traitements comprennent l'application du fumier à raison de 15 t/ha et de la dolomie à une dose de 0,75 t/ha.

Un essai « parallèle » sans chaulage a été également conduit à Bukemba pendant deux saisons afin d'évaluer l'éventuelle pertinence de cette pratique agricole dans ce site.

2.5 Application des fertilisants

2.5.1 Fumure de fond

La fumure de fond constituée de fumier de vache, de FOMI Imbura, du DAP et du KCl a été appliquée au moment du semis en fonction des traitements. Le chaulage a été fait à raison de 750 kg/ha. Les quantités d'engrais appliquées par poquet ont été calculées sur base de la densité recommandée par la fiche technique du maïs (**ISABU, 2016**). La parcelle élémentaire était de 26,25 m² et la parcelle utile était de 15 m² correspondant à 80 plants.

2.5.2 Fumure de couverture

En vue d'évaluer à la fois l'efficacité agronomique et économique du mode d'application des engrais, les engrais de couverture ont été appliqués en une ou deux phases en fonction des traitements concernés. Certains traitements (T0 et T2) n'ont même pas reçu d'engrais de couverture.

La couverture en une phase se rapportait aux traitements T1, T3, T5, T7 et T9 tandis que pour les traitements T4, T6, T8 et T10, les engrais de couverture ont été appliqués en deux phases. La phase 1 coïncide avec le premier sarclage, soit trois semaines après le semis. La phase 2 correspondait avec le buttage, soit au début de la période de l'épiaison.

2.6 Collecte de données

Au cours du cycle végétatif, un certain nombre de données a été collecté sur une quinzaine de paramètres de croissance et développement du maïs selon les recommandations du CIMMYT. Les variables suivantes ont été relevées :

1. Taux de levée : Ce paramètre est indicateur de la viabilité des semences utilisées ;
2. Nombre de plants récoltés ;
3. Nombre d'épis par plant ;

4. Hauteur de la tige à maturité (cm) ;
5. Niveau d'insertion des épis (cm) ;
6. Nombre d'épis par parcelle ;
7. Diamètre moyen de l'épi (cm) ;
8. Poids de 100 grains ou de 1000 grains ;
9. Aspect des épis : se mesure comme la vigueur du maïs à la récolte ;
10. Poids au champ de la parcelle élémentaire : cela se pèse pendant la récolte (même frais) ;
11. Teneur en eau à la récolte : elle est mesurée grâce à l'humidimètre ;
12. Rendement en grains secs (t/ha) à 12,5% de teneur en eau.

Le rendement se calcule comme suit :

$$\text{Rendement en grain (t / ha)} = [P.C. \times 10.000 \text{ m}^2 \times (100 - TE) / (1000 \text{ kg} \times \text{sup. parcelle} \times (100 - 12,5))] \times \text{taux d'égrenage}$$

Avec :

P.C. : Poids au champ de la parcelle en kg

TE : Teneur en eau en %

Taux d'égrenage : 80%

Sup. parcelle : superficie de la parcelle

2.7 Traitement et analyse des résultats

Les données ont été enregistrées à l'aide de Microsoft Excel ®. L'analyse des données a été effectuée à l'aide du logiciel R après élimination des valeurs atypiques (valeurs aberrantes) et vérification de la normalité des données par le test de Shapiro-Wilk et ainsi que l'homogénéité de la variance en utilisant le test de Levène. Dans toutes les analyses, le niveau de signification (p-value) a été fixé à 5%. La comparaison des moyennes a été réalisée par la méthode de comparaison de moyenne de Tukey. Un effet du mode d'application des engrais a été évalué à l'aide de comparaison entre deux échantillons par le test de Student (T-test) pour échantillons indépendants.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Résultats d'analyse des sols

L'analyse de sols effectuée en saison 2020A relève des pH acides (Zege, Gisozi, Mahwa) à faiblement acides (Karusi, Bukemba). Parallèlement, les sols sont pauvres (Zege, Gisozi, Mahwa) à riches (Karusi, Bukemba) en K échangeable. Ils sont moyennement riches (Zege, Bukemba, Gisozi, Mahwa) à riches (Karusi) en C organique mais tous sont carencés en P disponible ($P < 20$ ppm) (tableau 7).

Tableau 7. Caractéristiques chimiques des sols des sites expérimentaux : Saison 2020A

Site \ Paramètre	Gisozi	Karusi	Mahwa	Bukemba	Zege
pH _{eau}	4,75	5,98	5,33	6,18	4,56
pH _{KCl}	-	-	-	-	-
% C	2,27	4,55	2,53	1,77	1,33
% N total	0,18	0,44	0,27	0,19	0,16
P disponible (ppm)	4,11	10,36	5,42	2,99	3,28
K _{éch.} (cmol+/kg de sol)	0,35	0,89	0,58	1,10	0,31
Ca _{éch.} (cmol+/kg de sol)	-	-	-	-	-
Mg _{éch.} (cmol+/kg de sol)	-	-	-	-	-

En saison 2022A, les mêmes analyses complétées par celles du Ca et du Mg échangeables montrent des pH acides (Gisozi, Karusi, Mahwa) à faiblement acides (Bukemba). D'autre part, ils sont fortement carencés en P assimilable (Zege, Gisozi, Mahwa) à riches (Karusi, Bukemba) en K échangeable (tableau 8).

Tableau 8. Caractéristiques chimiques des sols des sites expérimentaux : Saison 2022A

Paramètre \ Site	Gisozi	Karusi	Mahwa	Bukemba	Zege
pH _{eau}	4,99	5,16	5,26	5,78	6,21
pH _{KCl}	4,12	4,22	4,16	4,62	-
% C	2,85	3,35	2,28	1,82	1,36
% N total	0,308	0,371	0,206	0,209	0,181
P disponible (ppm)	0,815	1,70	0,264	1,01	23,5
K _{éch.} (cmol+/kg de sol)	0,089	0,223	0,055	0,69	0,736
Ca _{éch.} (cmol+/kg de sol)	0,97	1,44	0,729	7,07	3,94
Mg _{éch.} (cmol+/kg de sol)	0,752	0,851	3,93	8,99	3,23

Selon les normes proposées par **Tessens et Gourdin (1993)**, les sols caractéristiques des sites expérimentaux sont pauvres en P disponible. D'un autre côté, les sols de moyenne et haute altitude sont pauvres en K, Ca et en Mg échangeables. Les sols de basse altitude ont des pH moins acides et des contenus en Ca et Mg échangeables adéquats même si les rapports entre les cations ne sont pas optimaux et leur teneur en N total est faible d'après **Landon (1991)** présageant une réponse positive à une fertilisation azotée conséquente. Les amendements à y apporter seraient de nature plutôt calcique afin de corriger ce déséquilibre Ca/Mg. En effet, dans ses recherches, **Bizimana (2018)** a trouvé que la teneur en Ca échangeable était supérieure à celle de Mg échangeable dans le site expérimental de Mparambo. Cette tendance semble aussi s'observer dans le site de Bukemba (voir [tableau 8](#)).

3.2 Rendement en grains de maïs en fonction des saisons et des sites

3.2.1 Saison 2020A

3.2.1.1 Basse altitude (Bukemba, variété Longe 4)

L'analyse de la variance montre un effet non significatif du facteur traitement ($p > 0,05$) que ce soit pour les parcelles chaulées ou non chaulées (tableau 9) avec des coefficients de variations de 22% et 19%, respectivement. **Hicintuka et al. (2020)** indiquent qu'un coefficient de variation de 25% est pris comme acceptable tandis que **Jayaraman (1999)** indique que les résultats d'expériences donnant un CV supérieur à 30% sont sujets à caution. Partant, la valeur limite 30% est prise comme coefficient de variation de référence dans le cas d'espèce. Les coefficients de variation sont donc considérés comme petits ($< 30\%$) dans ce site et présagent une faible dispersion des rendements en fonction des traitements et statistiquement parlant, une absence de différence significative.

Tableau 9. Analyse de la variance pour le rendement en grains dans deux essais séparés incluant respectivement le chaulage et le non chaulage à Bukemba, saison 2020A

Site	SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr(>F)
Bukemba chaulé	Traitement	10	1,928	0,193	0,928	0,521
	Résiduel	33	6,646	0,201		
Bukemba non chaulé	Traitement	10	5,001	0,500	1,871	0,086
	Résiduel	33	8,823	0,267		

DL : degré de liberté
 SC : somme des carrés
 CM : carrés moyens
 SV : source de variation

Les niveaux de rendement en grains de maïs dans les deux situations (chaulage et non chaulage) sont montrés dans la [figure 1](#).

Malgré l'absence de différence entre les traitements dans les deux cas ($p > 0,05$), on observe dans ce site qu'en valeur absolue, le traitement T7 dans les parcelles non chaulées sans fractionnement des engrais et le traitement T8 dans les parcelles chaulées avec fractionnement des engrais donnent des rendements comparables et relativement plus élevés par rapport aux autres traitements ([figure 1](#)). Etant donné que la quantité d'engrais appliquée est la même pour les deux traitements qui ne diffèrent qu'en termes de mode d'application (application unique ou fractionnée), il en découle qu'il faut veiller aux bonnes pratiques culturales afin ne pas perturber les équilibres entre éléments notamment le rapport Ca/Mg optimal. En effet, du fait que les engrais FOMI contiennent ces éléments, l'application de la chaux couplée avec l'apport de la totalité de FOMI Totahaza (T7, [figure 1b](#)) semble avoir un effet négatif sur le rendement qui est relativement élevé dans le cas de non chaulage (T7, [figure 1a](#)). De même, ce qui s'observe pour le traitement T8 ne fait que renforcer l'observation faite avec le traitement T7 mais suggère en outre que ce rapport Ca/Mg doit être optimal dès le départ et être maintenu. Les quantités sont insuffisantes dans le cas de T8-[figure 1a](#) et suffisantes dans le cas de T8-[figure 1b](#).

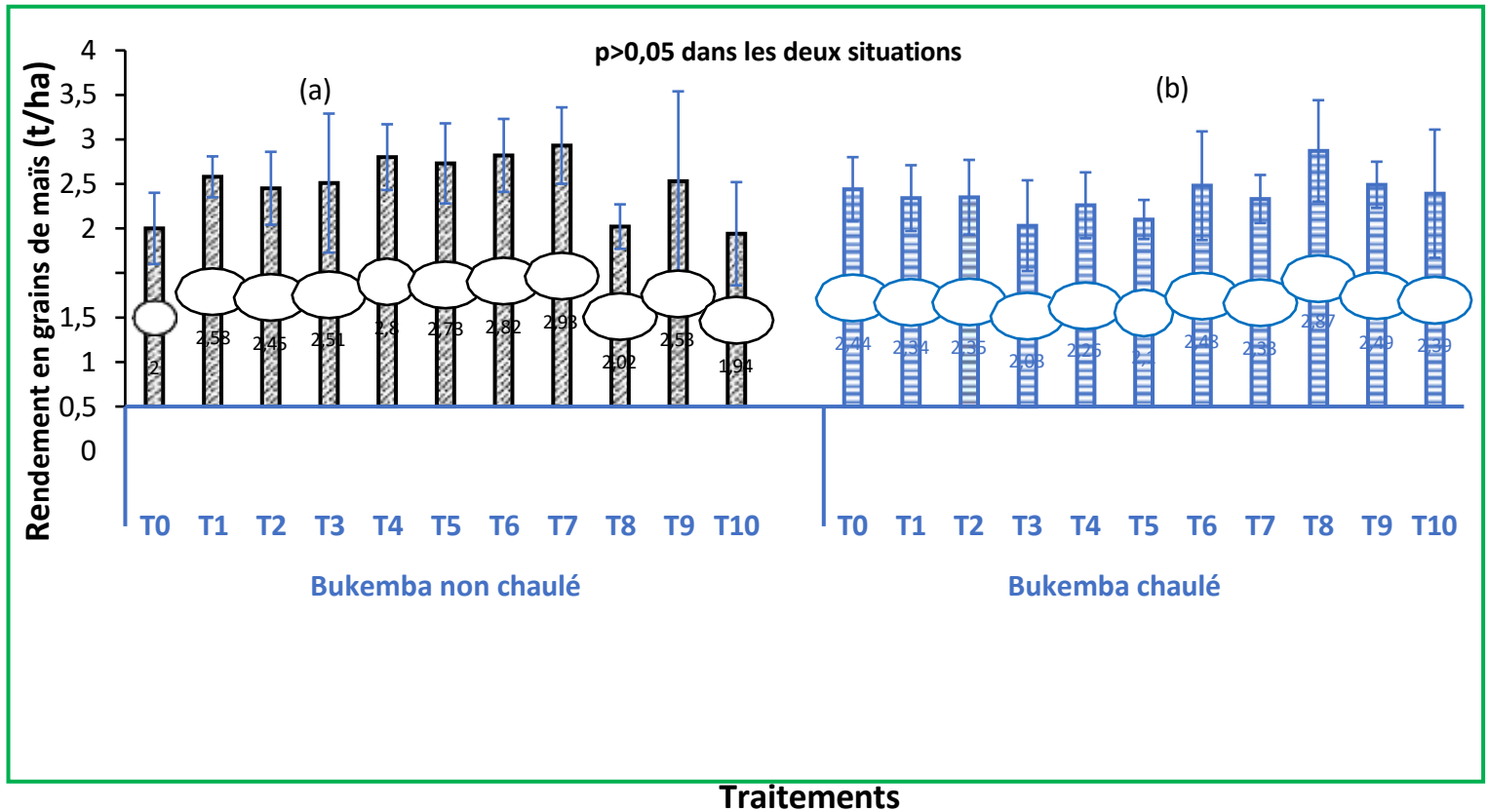


Figure 1. Rendement en grains de maïs de la variété Longe 4 sous différents traitements à Bukemba (basse altitude), saison 2020A

Même s'il semble trivial de ne pas observer un effet améliorant de la dolomie vu le pH élevé du site (pH=5,8) indiquant qu'il ne faut pas apporter de la chaux selon les suggestions de **Yamoah et al. (1991)**, cela appelle à la prudence. En effet, ce qui s'observe dans le cas des traitements T0 et T8 constitue un exemple éloquent pour prouver le contraire de la suggestion de ces auteurs.

Les observations faites pour ces deux traitements montrent clairement que l'effet positif du chaulage dépend des pratiques culturales en l'occurrence la dose d'engrais et le mode d'application de ces engrais selon que l'on applique ou non la dolomie ([figure 2](#)) et dans tous les cas, c'est le rapport Ca/Mg qui semble déterminant. La chute de rendement dans d'autres traitements (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 et T9) s'expliquerait donc par un chaulage qui n'a pas pour but de corriger le déséquilibre Ca/Mg observé dans ce site et ne fait que le renforcer et faire chuter davantage le rendement. En effet, le rendement est systématiquement inférieur dans l'ensemble des parcelles chaulées par rapport aux parcelles non chaulées dans ces huit traitements ci-haut indiqués.

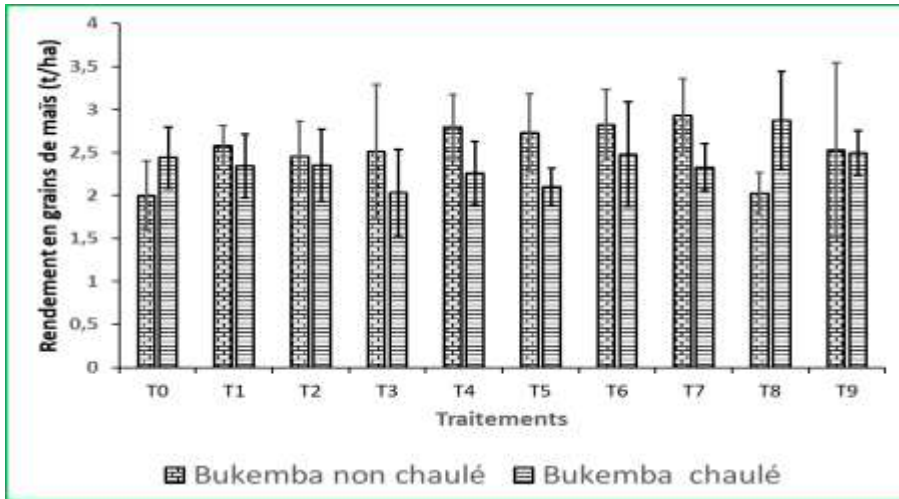


Figure 2. Effet de la combinaison doses d'engrais FOMI et chaux sur le rendement en grains de maïs, variété Longe 4 à Bukemba (basse altitude), saison 2020A

D'une manière globale, le rendement général moyen d'environ 2,5 t/ha dans les deux situations (chaulage et non chaulage) est inférieur à la valeur de référence de 3 à 4 t/ha (ONCCS, 2020).

Les traitements T7 et T8 avec des valeurs de 2,93 t/ha et 2,87 t/ha respectivement, donnent des rendements assez proches de ce potentiel. De ce fait, ils constituent des traitements recommandables dans cette zone et particulièrement le traitement T7 sans chaulage, étant donné que le chaulage ne fait que vraisemblablement augmenter le coût de production.

3.2.1.2 Moyenne altitude (Karusi et Zege, variété ZM 605)

L'analyse de la variance montre un effet simplement significatif du facteur traitement ($p < 0,05$; *) dans le site de Zege et une absence d'effet ($p > 0,05$) dans le site de Karusi (tableau 10). Les coefficients de variation sont respectivement de 22% et 38% à Karusi et Zege. Le coefficient de variation est jugé faible pour Karusi et très élevé pour

Zege si l'on tient compte de la valeur de référence indiquée précédemment (voir point 3.2.1.1). Ainsi la dispersion des valeurs de rendement en fonction des traitements est importante dans le cas du site de Zege.

Tableau 10. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans les sites de Karusi et de Zege, saison 2020A

Site	SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr(>F)
Karusi	Traitement	10	8,662	0,866	0,809	0,622
	Résiduel	33	31,051	0,941		
Zege	Traitement	10	1,340	0,13397	2,295	0,037*
	Résiduel	33	1,868	0,0566		

DL : degré de liberté
SC : somme des carrés
CM : carrés moyens
SV : source de variation

La comparaison des moyennes de rendements pour chaque site en fonction des traitements est indiquée à la figure 3.

On note des rendements marginaux dans le site de Zege quel que soit le traitement (≤ 1 t/ha) comparables aux rendements des exploitations paysannes. Toutefois, le traitement T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza) affiche des valeurs de rendements relativement plus élevées. Les plus faibles rendements sont observés dans les parcelles témoins (T0) et le traitement T2 (270 kg de FOMI Imbura) indiquant la valeur ajoutée de l'apport d'azote en couverture à travers l'engrais FOMI Totahaza surtout lorsque la teneur initiale du sol est faible par rapport à la valeur critique. Dans ce site, la teneur en N de 0,16% (tableau 7) est de loin inférieure à la valeur critique de 1% proposée par Landon (1991).

Dans le site de Karusi, les rendements ne sont pas statistiquement différents mais le traitement T8 (150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza en deux fractions) donne le rendement le plus élevé en valeur absolue tandis que le témoin (T0) donne le plus faible rendement. Même si ces deux sites sont situés dans la même zone agroécologique, les rendements obtenus à Karusi sont environ 7 fois plus élevés que ceux de Zege indiquant un site marginal du site de Zege et un bon potentiel du site de Karusi dont la moyenne générale est 4,4 t/ha équivalente à la valeur de référence (3,5-4,5 t/ha) avancée par la recherche pour la variété utilisée (ISABU, 2021).

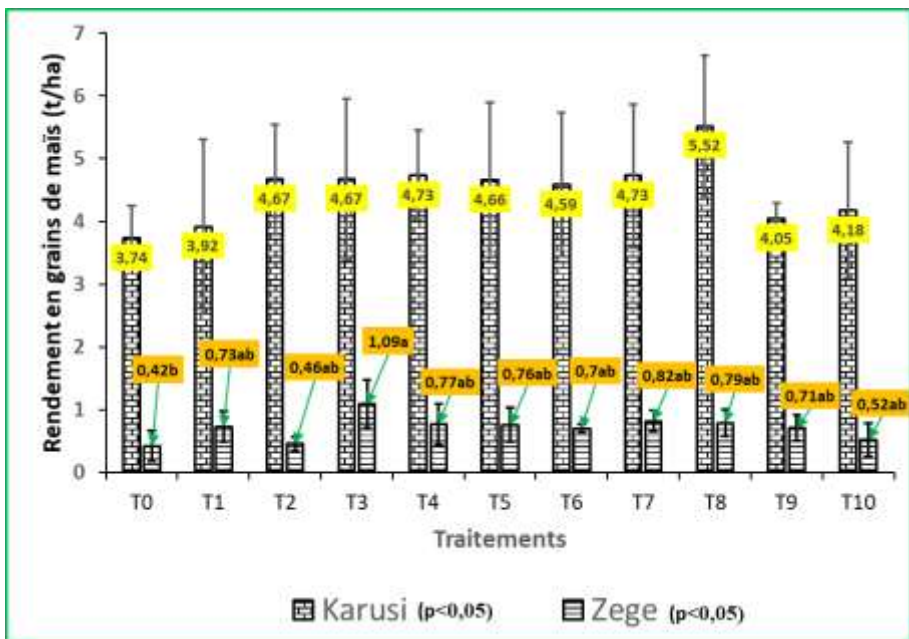


Figure 3. Rendement en grains de maïs en fonction des traitements dans les sites de Karusi et Zege (moyenne altitude), saison 2020A

3.2.1.3 Haute altitude (Gisozi, variété Mugamba)

L'analyse de la variance montre un effet non significatif du facteur traitement ($p > 0,05$) (tableau 11). Le coefficient de variation est de 28% (tableau 12), valeur inférieure à celle de référence de 30% (Jayaraman,

1999) et indique que la dispersion des valeurs moyennes de rendement en fonction des traitements est faible. Il est conséquemment attendu que les moyennes soient statistiquement identiques et cela est confirmé par les résultats de l'analyse de la variance.

Tableau 11. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans le site de Gisozi, saison 2020A

SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr(>F)
Traitement	10	5,450	0,545	1,845	0,091
Résiduel	33	9,747	0,2954		

DL : degré de liberté

SC : somme des carrés

CM : carrés moyens

SV : source de variation

La moyenne des rendements en grains de maïs en fonction des traitements est montrée dans le [tableau 12](#).

Tableau 12. Moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements en haute altitude (Gisozi), saison 2020A

Traitements	Rendement en t/ha (moyenne ± écart-type)
T0	1,53±0,41a
T1	2,34±0,83a
T2	1,60±0,30a
T3	2,62±0,71a
T4	2,42±0,68a
T5	2,37±0,73a
T6	2,28±0,51a
T7	1,85±0,32a
T8	2,20±0,54a
T9	1,68±0,27a
T10	2,05±0,26a
CV	28%

T0 = Pratique paysanne (Pas d'engrais), T1 = 130 kg DAP+ 50 kg Urée +50 kg KCl (45-60-30), T2 = 270 kg FOMI Imbura, T3 = 270 kg FOMI Imbura+ 100 kg FOMI Totahaza, T4 =270 kg FOMI Imbura+ (50 kg+50 kg) FOMI Totahaza, T5 = 180 kg FOMI Imbura + 67 kg, T6 = 180 kg FOMI Imbura + (33 kg+34 kg) FOMI Totahaza, T7 = 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza, T8 = 150 kg FOMI Imbura + (37 kg+38 kg) FOMI Totahaza, T9 = 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza, T10 = 90 kg FOMI Imbura + (16 kg+17 kg) FOMI Totahaza.

Tous ces traitements comprennent de la fumure organique (15 t/ha) et la dolomie (750 kg/ha).

Dans le site de Gisozi, les rendements ne sont pas statistiquement différents mais le traitement T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza en une seule application) donne le rendement le plus élevé en valeur absolue tandis que le témoin (T0) donne le plus faible rendement. Il sied de noter que les rendements des traitements T0, T2 (270 kg FOMI Imbura et T9 (90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza) sont presque similaires, indiquant que la fertilisation des céréales requiert un

apport minimal en fertilisants azotés en dessous duquel aucune réponse n'est observée. En conséquence, aller en dessous de ce minimum constitue un investissement à perte (augmentation du coût de production sans générer de bénéfices).

3.2.1.4 Effet du mode d'application de l'engrais de couverture

L'analyse de la variance pour le mode d'application de l'engrais de couverture FOMI Totahaza montre une absence de différence entre les deux modes d'application (application en une fois et application en deux temps) au seuil de 5% pour le rendement pour tous les 5 sites (tableaux non montrés).

Les moyennes de rendement en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture (application unique et application en deux fractions) sont indiquées à la [figure 4](#).

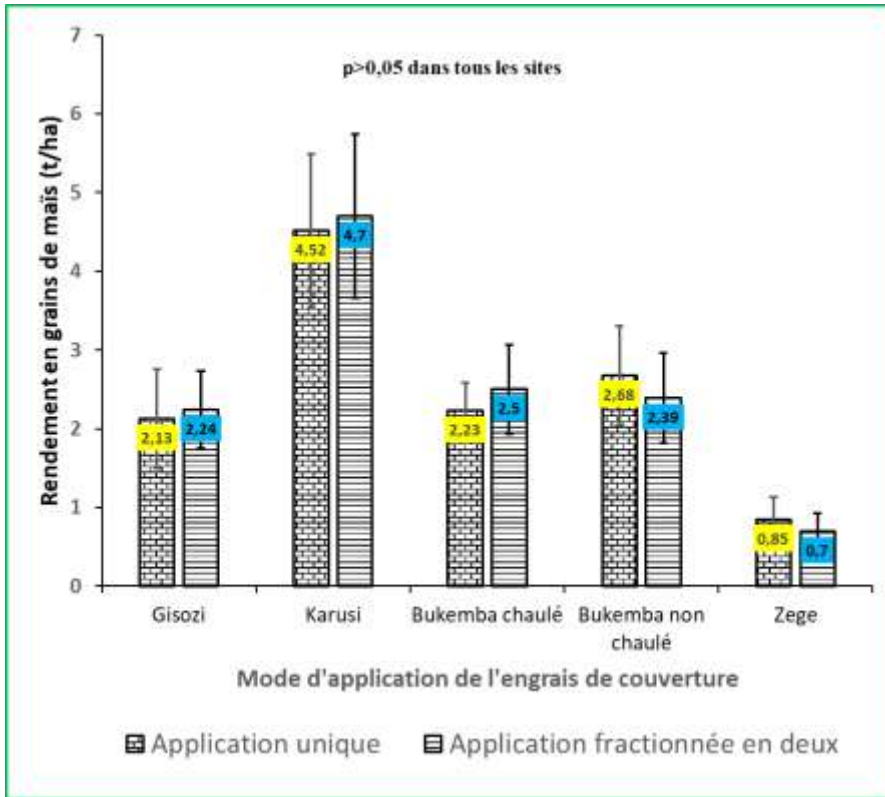


Figure 4. Moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture FOMI Totahaza, saison 2020A

De l'analyse de ces résultats obtenus de différentes variétés selon les sites (voir point 2.2.), il semble d'emblée plus économique d'appliquer l'engrais de couverture en une seule fois car cela épargne à l'agriculteur des dépenses de main d'œuvre pour l'application de la deuxième fraction d'engrais et les frais de transport y afférents même si le risque de lessivage si petit soit-il, étant donné la nature de ces engrais, est à prendre en compte.

3.2.2 Saison 2021A

3.2.2.1 Basse altitude (Bukemba et Mparambo, variétés Longe 4 et MM3)

L'analyse de la variance montre un effet non significatif du facteur traitement ($p > 0,05$) que ce soit pour les parcelles à Bukemba (chaulées ou non chaulées) et à Mparambo (tableau 13). Dans les trois cas, on note une faible dispersion des valeurs de rendements étant donné que les coefficients de variation sont tous inférieurs à 30% (tableau 14). Cela présume une absence de différence entre les valeurs moyennes et cela est confirmé par les résultats de l'analyse de la variance.

Tableau 13. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans les sites de Bukemba chaulé, Bukemba non chaulé et Mparambo, saison 2021A

Site	SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr(>F)
Bukemba chaulé	Traitement	10	7,11	0,711	0,434	0,92
	Résiduel	33	54,11	1,164		
Bukemba non chaulé	Traitement	10	14,230	1,423	1,649	0,14
	Résiduel	33	28,490	0,863		
Mparambo	Traitement	10	1,326	0,133	0,43	0,92
	Résiduel	33	10,165	0,308		

DL : degré de liberté

SC : somme des carrés

CM : carrés moyens

SV : source de variation

Les valeurs moyennes absolues de rendement en grains de maïs en fonction des traitements et des sites sont fournies dans le tableau 14.

Tableau 14. Moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements dans les sites de basse altitude (Bukemba et Mparambo), saison 2021A

Traitement	Bukemba non chaulé	Bukemba chaulé	Mparambo
	Variété Longe 4		Variété MM 3
	Rendement en grains en t/ha (moyenne ± écart-type)		
T0	3,87±0,36a	4,36±0,50a	2,10±0,71a
T1	4,68±0,06a	5,46±1,40a	1,95±0,39a
T2	4,59±0,78a	4,92±0,77a	2,03±0,60a
T3	5,68±1,34a	5,17±1,56a	2,22±0,56a
T4	5,57±1,42a	5,02±0,93a	2,29±0,36a
T5	3,91±0,74a	5,65±1,61a	2,01±0,27a
T6	4,35±0,76a	4,67±1,68a	2,07±0,84a
T7	4,27±0,78a	4,50±1,01a	2,24±0,75a
T8	5,02±1,40a	5,28±1,87a	2,37±0,43a
T9	4,35±0,88a	4,48±0,82a	2,36±0,46a
T10	4,73±0,69a	5,03±1,16a	2,53±0,43a
CV	21%	24%	23%

T0 = Pratique paysanne (Pas d'engrais), T1 = 130 kg DAP + 50 kg Urée + 50 kg KCl (45-60-30), T2 = 270 kg FOMI Imbura, T3 = 270 kg FOMI Imbura+ 100 kg FOMI Totahaza, T4 = 270 kg FOMI Imbura+ (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza, T5 = 180 kg FOMI Imbura + 67 kg, T6 = 180 kg FOMI Imbura + (33 kg + 34 kg) FOMI Totahaza, T7 = 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza, T8 = 150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza, T9 = 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza, T10 = 90 kg FOMI Imbura + (16 kg + 17 kg) FOMI Totahaza.

Tous ces traitements comprennent de la fumure organique (15 t/ha) et la dolomie (750 kg/ha).

Sur base de l'analyse chimique rapportée par différentes recherches (Bizimana, 2018 ; tableau 8), le site de Mparambo montre un contenu en P disponible plus élevé. De ce fait, le rendement le plus élevé est obtenu avec la plus faible dose de fertilisants organo-minéraux (T10) apportant moins de Ca et de Mg et donc perturbant le moins l'équilibre

cationique en l'occurrence le Ca/Mg d'une part. Cette dose apporte une faible contribution dans la mobilisation du P qui ne semble même pas indispensable, étant donné que la teneur en cet élément suffit dans ce site, d'autre part. Cette observation est même justifiée dans le cas du site de Bukemba, il faut apporter peu d'engrais dans les parcelles chaulées (T5= 180 kg FOMI Imbura + 67 kg FOMI Totahaza) et un peu plus de quantité d'engrais dans les parcelles non chaulées (T3=270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza) (tableau 14) pour avoir un effet de désorption du P en affectant le moins l'équilibre Ca/Mg et donc les rendements maximaux.

D'une manière globale, le rendement général moyen au site de Bukemba est supérieur à la valeur de référence de 3 à 4 t/ha (ONCCS, 2020). Par contre, le rendement général moyen d'environ 2 t/ha au site de Mparambo est 50% moindre que le rendement de référence malgré l'apport de fertilisants, ce qui indique qu'un autre facteur est plus limitant dans ce site. On pourrait penser au déficit hydrique régulièrement observé dans les zones de basse altitude du Burundi que sont la plaine de l'Imbo et la dépression du Moso. Dans ces conditions, toute valorisation des fertilisants de quelle que nature que ce soit est conditionnée par un apport de l'eau par irrigation.

3.2.2.2 Moyenne altitude (Karusi et Zege, variété ZM 605)

L'analyse de la variance à un seul critère montre un effet non significatif du facteur traitement ($p > 0,05$) sur le rendement du maïs, variété ZM 605 au site de Karusi. Au contraire, la même analyse effectuée pour le cas du site de Zege montre un effet simplement significatif ($p < 0,05$; *) du facteur traitement sur le rendement de la même variété de maïs (tableau 15). Les coefficients de variation sont de 15 et 25% pour Karusi et Zege indiquant une faible dispersion des valeurs moyennes des traitements dans les deux sites par rapport à la moyenne générale.

Tableau 15. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans les sites de Karusi et Zege, saison 2021A

Site	SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr(>F)
Karusi	Traitement	10	7,782	0,778	2,055	0,059
	Résiduel	33	12,497	0,379		
Zege	Traitement	10	13,44	1,3442	2,785	0,013*
	Résiduel	33	15,93	0,4827		

DL : degré de liberté

SC : somme des carrés

CM : carrés moyens

SV : source de variation

Les moyennes de rendement en fonction des traitements sont indiquées à la [figure 5](#) ci-dessous.

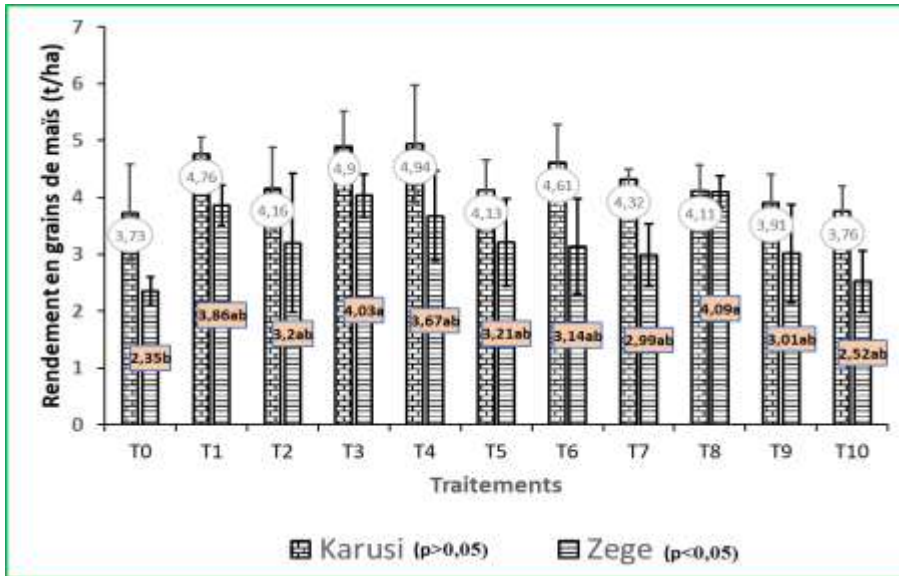


Figure 5. Moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction des traitements en moyenne altitude (Karusi et Zege), saison 2021A

Malgré l'absence de différences statistiquement significatives entre les rendements en grains de maïs obtenus au site de Karusi avec les traitements testés, deux traitements, à savoir le traitement T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza en une seule application et T4 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza en deux applications égales de 50 kg chacune), donnent les plus grands rendements en valeurs absolues. Les deux traitements n'ayant pas été départagés par l'analyse statistique, leur démarcation, en faveur du traitement T3 se base sur une simple analyse des avantages comparatifs en termes de coûts de main d'œuvre et de transport. Ces coûts sont logiquement plus élevés pour le traitement (T4) du fait de la duplication de l'application de l'engrais de couverture Totahaza.

S'agissant du site de Zege, qui appartient à la même zone agroécologique que le site de Karusi, l'analyse de la variance montre deux groupes de moyennes qui se chevauchent. A la tête du classement

se retrouvent les traitements T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza] et T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza en une seule application). Autrement dit, le traitement T8, qui demande 40 % moins d'investissements en fertilisants organo-minéraux que le traitement T3 qui lui est comparable en termes de rendements, est le traitement de choix dans la zone de moyenne altitude à laquelle appartient le site de Zege. Cette situation de fait indiquerait que la recherche et la vulgarisation devrait travailler pour un ajustement des formules de fertilisation organo-minérale en fonction des zones agroécologiques pour le cas du maïs et éventuellement d'autres céréales.

3.2.2.3 Haute altitude (Gisozi ; variété Mugamba)

L'analyse de la variance montre un effet non significatif du facteur traitement ($p > 0,05$) sur le rendement en grains de maïs de la variété Mugamba (tableau 16). Le coefficient de variation est de 28% (tableau 17) et donc une dispersion faible des valeurs moyennes.

Tableau 16. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans le site de Gisozi, saison 2021A

SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr(>F)
Traitement	10	18,72	1,872	0,606	0,798
Résiduel	33	102,01	3,091		

DL : degré de liberté
SC : somme des carrés
CM : carrés moyens
SV : source de variation

La moyenne des rendements en grains de maïs en fonction des traitements est montrée dans le [tableau 17](#) ci-dessous.

Tableau 17. Moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements dans les sites de haute altitude (Gisozi), saison 2021A

Traitements	Rendement en t/ha (moyenne \pm écart-type)
T0	4,70 \pm 2,16a
T1	5,64 \pm 2,14a
T2	6,84 \pm 0,81a
T3	6,64 \pm 1,18a
T4	6,23 \pm 1,81a
T5	5,96 \pm 2,21a
T6	6,60 \pm 1,39a
T7	6,31 \pm 1,79a
T8	5,22 \pm 2,10a
T9	5,18 \pm 1,32a
T10	6,02 \pm 1,80a
CV	28%

T0 = Pratique paysanne (Pas d'engrais), T1 = 130 kg DAP + 50 kg Urée + 50 kg KCl (45-60-30), T2 = 270 kg FOMI Imbura, T3 = 270 kg FOMI Imbura+ 100 kg FOMI Totahaza, T4 = 270 kg FOMI Imbura+ (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza, T5 = 180 kg FOMI Imbura + 67 kg, T6 = 180 kg FOMI Imbura + (33 kg + 34 kg) FOMI Totahaza, T7 = 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza, T8 = 150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza, T9 = 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza, T10 = 90 kg FOMI Imbura + (16 kg + 17 kg) FOMI Totahaza.

Tous ces traitements comprennent de la fumure organique (15 t/ha) et la dolomie (750 kg/ha).

On remarque une supériorité en valeur absolue des traitements T2 (270 kg FOMI Imbura) et T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza) qui ne se détache pas du traitement T6 [180 kg FOMI Imbura+ (34 kg + 33 kg) FOMI Totahaza]. Cela veut dire que la seule

application de FOMI Imbura pourrait suffire et un ajout de FOMI Totahaza semble avoir un effet délétère sur le rendement. Il est hypothétisé que l'ajout supplémentaire de FOMI Totahaza apporte du Ca et Mg supplémentaires de même que des micronutriments qui pourraient avoir négativement affecté le rendement dans ce site particulier. Ces résultats ne semblent pas être reproductibles dans d'autres sites faisant de ce site de Gisozi un cas marginal.

3.2.2.4 Effet du mode d'application de l'engrais de couverture

L'analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture (application unique et application en deux fractions) montre une absence de différence entre les deux modes d'application au seuil de 5% pour le rendement pour tous les 5 sites (tableaux non montrés).

Les moyennes de rendement en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture (application unique et application en deux fractions) sont indiquées à la [figure 6](#).

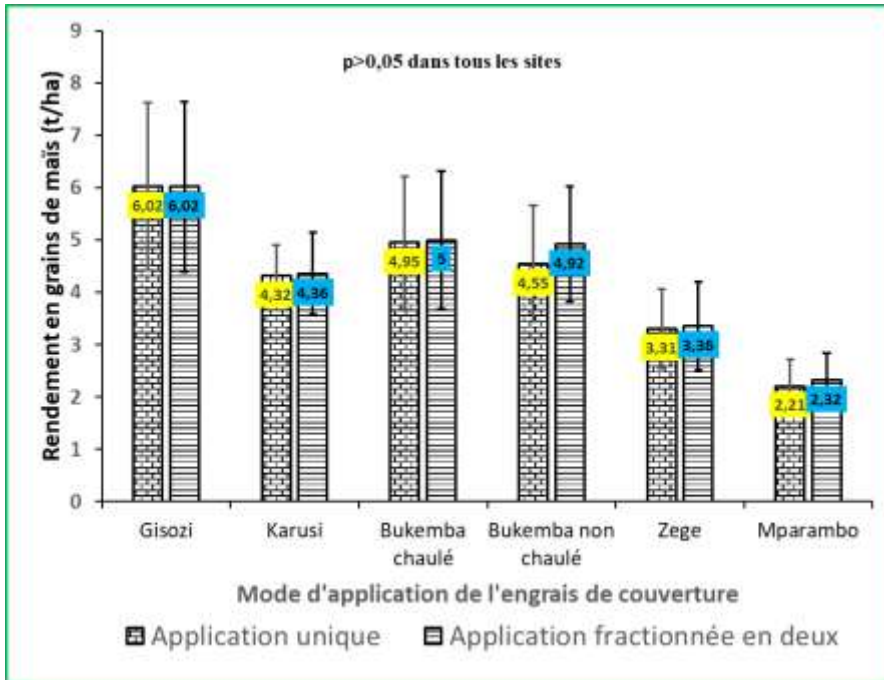


Figure 6. Comparaison des moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture FOMI Totahaza, saison 2021A

De l'analyse de ces résultats (figure 6), on observe une même tendance que pour la saison 2020A (figure 4) : il n'y a pas d'intérêt de dupliquer l'application de l'engrais de couverture FOMI Totahaza au risque d'engager des frais supplémentaires liés au transport et à la main d'œuvre.

3.2.3 Saison 2022A

3.2.3.1 Basse altitude (Bukemba non chaulé, variété Longe 4)

L'analyse de la variance montre un effet non significatif du facteur traitement ($p > 0,05$) pour les parcelles non chaulées à Bukemba (tableau 18). Le coefficient de variation de 14% (tableau 19) indique une dispersion faible des valeurs.

Tableau 18. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans le site de Bukemba, saison 2022A

SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr(>F)
Traitement	10	5,169	0,5169	0,643	0,767
Résiduel	33	26,533	0,8040		

DL : degré de liberté

SC : somme des carrés

CM : carrés moyens

SV : source de variation

Les moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements est montrée dans le [tableau 19](#).

Tableau 19. Moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements, saison 2022A

Traitements	Rendement en t/ha (moyenne ± écart-type)
T0	6,02±0,89a
T1	5,95±0,98a
T2	6,22±0,42a
T3	6,93±0,89a
T4	6,17±0,54a
T5	6,39±0,63a
T6	5,93±1,42a
T7	5,74±1,37a
T8	6,56±0,86a
T9	6,54±0,42a
T10	6,62±0,80a
CV	14%

T0 = Pratique paysanne (Pas d'engrais), T1 = 130 kg DAP + 50 kg Urée + 50 kg KCl (45-60-30), T2 = 270 kg FOMI Imbura, T3 = 270 kg FOMI Imbura+ 100 kg FOMI Totahaza, T4 =270 kg FOMI Imbura+ (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza, T5 = 180 kg FOMI Imbura + 67 kg, T6 = 180 kg FOMI Imbura + (33 kg + 34 kg) FOMI Totahaza, T7 = 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza, T8 = 150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza, T9 = 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza, T10 = 90 kg FOMI Imbura + (16 kg + 17 kg) FOMI Totahaza.

Tous ces traitements comprennent de la fumure organique (15 t/ha) et la dolomie (750 kg/ha).

Il ressort de ce [tableau 19](#) qu'en valeur absolue, le traitement T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza), donne le rendement le plus élevé, suivi de près et dans l'ordre décroissant par les traitements T10 [90 kg FOMI Imbura + (16 kg + 17 kg) FOMI Totahaza], T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza] et T9 (90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza). Ces résultats montrent que les plus faibles doses donnent autant que la dose la plus élevée de fertilisants

organo-minéraux (T3) suggérant que le sol est suffisamment fertile ne nécessite pas des applications élevées de fertilisants ; et rappelle encore une fois qu'il faudrait que la recherche et la vulgarisation travaillent pour un ajustement des formules de fertilisation organo-minérale en fonction des zones agroécologiques.

3.2.3.2 Moyenne altitude (Karusi, variété ZM 605)

L'analyse de la variance à un seul critère montre un effet significatif du facteur traitement ($p < 0,05$; *) sur le rendement du maïs (tableau 20). Le coefficient de variation est de 18% (tableau 21) et est faible. Cela constitue une indication d'une faible dispersion des valeurs moyennes des traitements individuels par rapport à la moyenne générale, suggérant que la plupart des moyennes des traitements sont étroitement regroupés autour de la moyenne générale.

Tableau 20. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans le site de Karusi, saison 2022A

SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr(>F)
Traitement	10	11,56	1,156	2,321	0,034*
Résiduel	33	16,43	0,498		

DL : degré de liberté
SC : somme des carrés
CM : carrés moyens
SV : source de variation

La comparaison des moyennes en fonction des traitements est montrée dans le tableau 21 ci-dessous.

Tableau 21. Comparaison des moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements dans le site de Karusi, saison 2022A

Traitements	Rendement en t/ha (moyenne ± écart-type)
T0	3,82 ± 0,64c
T1	4,60 ± 0,62abc
T2	3,70 ± 0,61c
T3	4,58 ± 0,58abc
T4	4,99 ± 0,33ab
T5	4,21 ± 0,32bc
T6	4,61 ± 1,27abc
T7	4,28 ± 0,79 abc
T8	5,43 ± 0,52a
T9	4,56 ± 0,94abc
T10	5,24 ± 0,58ab
CV	18%

T0 = Pratique paysanne (Pas d'engrais), T1 = 130 kg DAP + 50 kg Urée + 50 kg KCl (45-60-30), T2 = 270 kg FOMI Imbura, T3 = 270 kg FOMI Imbura+ 100 kg FOMI Totahaza, T4 =270 kg FOMI Imbura+ (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza, T5 = 180 kg FOMI Imbura + 67 kg, T6 = 180 kg FOMI Imbura + (33 kg + 34 kg) FOMI Totahaza, T7 = 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza, T8 = 150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza, T9 = 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza, T10 = 90 kg FOMI Imbura + (16 kg + 17 kg) FOMI Totahaza.

Tous ces traitements comprennent de la fumure organique (15 t/ha) et la dolomie (750 kg/ha).

L'analyse du [tableau 21](#) place le traitement T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza] en tête du classement de moyenne de rendement en grains de maïs suivi dans l'ordre décroissant par les traitements T10 [90kg FOMI Imbura + (16 kg + 17 kg) FOMI Totahaza] et T4 [270 kg FOMI Imbura+ (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza]. Cette tendance est similaire à celle observée dans le site de Bukemba où les faibles doses donnent mieux que les fortes doses (T3 et T4) en raison

probablement des interactions négatives entre éléments nutritifs apportés par les doses de fertilisants les plus élevés (équilibre Ca-Mg et/ou microéléments) en plus de la dolomie.

3.2.3.3 Haute altitude (Gisozi et Mahwa, variété Mugamba)

L'analyse de la variance à un seul critère montre un effet non significatif du facteur traitement ($p > 0,05$) sur le rendement du maïs, variété Mugamba au site de Mahwa (tableau 22). Au contraire, la même analyse effectuée pour le cas du site de Gisozi montre un effet simplement significatif ($p < 0,05$; *) du facteur traitement sur le rendement de la même variété de maïs (tableau 22). Les coefficients de variation sont respectivement de 43% et 20% pour Mahwa et Gisozi indiquant une forte et une faible dispersion des valeurs moyennes autour de la moyenne générale respectivement pour Mahwa et Gisozi et par conséquent une certaine plus grande cohérence et stabilité des données de Gisozi par rapport à celles de Mahwa

Tableau 22. Analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs dans les sites de Mahwa et Gisozi, saison 2022A

Site	SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr(>F)
Mahwa	Traitement	10	37,61	3,761	1,559	0,163
	Résiduel	33	79,58	2,412		
Gisozi	Traitement	10	14,49	1,449	2,750	0,014*
	Résiduel	33	17,39	0,527		

DL : degré de liberté

SC : somme des carrés

CM : carrés moyens

SV : source de variation

La comparaison des moyennes de rendement en fonction des traitements est indiquée à la figure 7.

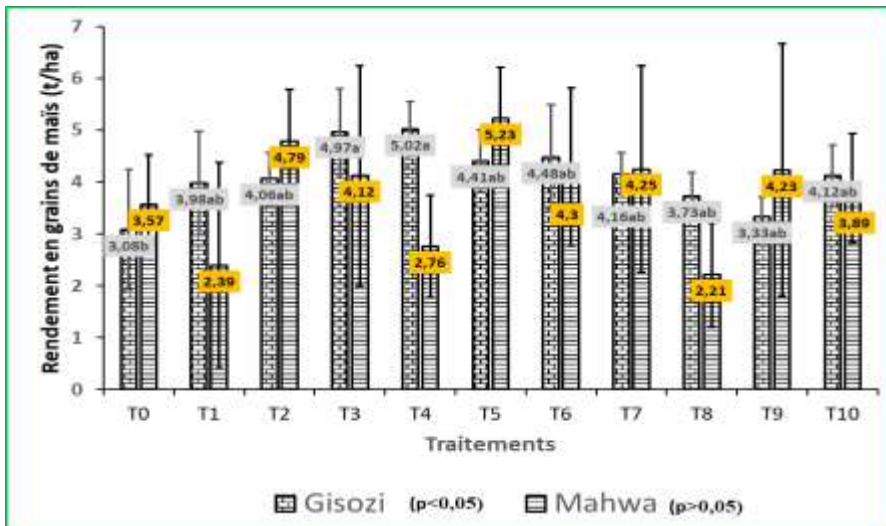


Figure 7. Moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction des traitements en haute altitude (Gisozi et Mahwa), saison 2022A

Contrairement aux observations relevées au cours de la saison 2021A au site de Gisozi, ce sont les traitements à forte dose qui donnent les rendements plus élevés en grains de maïs. Ces traitements sont T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza) et T4 [270 kg FOMI Imbura + (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza]. Les deux traitements formant un même groupe de moyennes homogènes (figure 7), ce qui veut dire qu'il n'y a ni intérêt agronomique ni économique de dupliquer l'engrais de couverture FOMI Totahaza. Le fait que ce soit les traitements à forte dose de FOMI qui donnent les meilleurs rendements s'expliquerait par les niveaux de fertilité intrinsèque des sols, le site utilisé en saison 2021A était plus fertile que celui utilisé en saison 2022A (tableau 8). Les besoins en nutriments pour les plantes sont plus élevés dans les sols peu fertiles générant des réponses à l'application des fertilisants qui doivent être conséquemment apportés en grande quantité par rapport au sol riche. Ce qui renforce l'importance des

analyses du sol comme préalable à une fertilisation adaptée aux spécificités du sol.

Dans le site de Mahwa, on a observé un taux de levée fortement hétérogène (nombre de plants récoltés variant entre 19 et 60 en fonction des traitements) et donc, il est difficile de commenter et conclure sur les résultats obtenus biaisés et sans portée scientifique valable. Cela est même mis en évidence par la valeur élevée du coefficient de variation (43%) dans ce site qui suggère des données moins cohérentes et on ne peut s'attendre qu'à cela vu la variation du nombre de plants récoltés.

3.2.3.4 Effet du mode d'application de l'engrais de couverture

L'analyse de la variance pour le rendement en grains de maïs en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture (application unique et application en deux fractions) montre une absence de différence entre les deux modes d'application au seuil de 5% pour le rendement pour 2 des 3 sites (tableaux non montrés).

La comparaison des moyennes de rendements en grains de maïs en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture FOMI Totahaza est indiquée à la [figure 8](#).

D'une manière générale, l'application fractionnée de l'engrais de couverture n'apporte pas de gain supplémentaire en termes de rendement par rapport à l'apport unique malgré la présence d'effet à Karusi pour une seule saison.

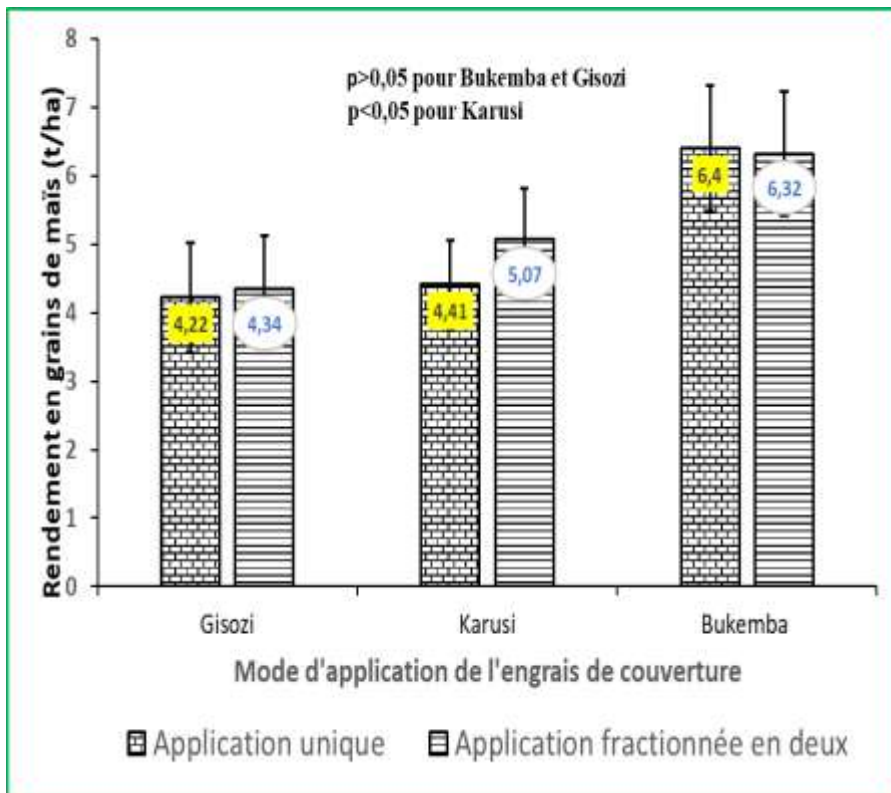


Figure 8. Comparaison des moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) en fonction du mode d'application de l'engrais de couverture FOMI Totahaza, saison 2022A

3.3 Effet des différents facteurs sur le rendement en grains de maïs : analyse sur les données combinées par site

Deux facteurs sont analysés à savoir le traitement et la saison.

3.3.1 Rendement en grains de maïs en basse altitude (Bukemba, variété Longe 4)

Dans ce site, deux types d'essai ont été conduits à savoir des expérimentations sur des parcelles chaulées (Bukemba chaulé) et d'autres sur des parcelles non chaulées (Bukemba non chaulé).

3.3.1.1 Bukemba non chaulé

Les données combinées portent sur les saisons 2020A, 2021A et 2022A. L'analyse de la variance effectuée sur les données de rendements de maïs sur trois saisons successives au site de Bukemba non chaulé indique un effet très hautement significatif ($p < 0,001$; ***) du facteur saison. Ni l'effet du facteur traitement ni l'effet interactif entre les deux traitements ne sont statistiquement significatifs ($p > 0,05$) (tableau 23). Le coefficient de variation est de 39% (tableau 24) et indique une forte variation des valeurs moyennes entre les saisons.

Tableau 23. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec des données combinées de trois saisons culturales 2020A, 2021A et 2022A au site de Bukemba non chaulé

SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr (>F)
Saison	2	322,40	161,20	249,97	$< 2e-16$ ***
Traitement	10	9,47	0,95	1,47	0,16
Saison x traitement	20	14,94	0,75	1,16	0,31
Résiduel	99	63,84	0,65		

DL : degré de liberté

SC : somme des carrés

CM : carrés moyens

SV : source de variation

La comparaison des moyennes de rendements par saison culturale 2020A, 2021A et 2022A place la saison 2022A (6,3 t/ha) en tête du classement, suivie dans l'ordre décroissant par la saison 2021A (4,6 t/ha) et au bas de l'échelle la saison 2020A (2,5 t/ha) (tableau 24). Cette différence entre saisons est à chercher du côté des facteurs autres que la fertilisation et les pratiques culturales qui l'accompagnent. Toutefois, cela ne signifie nullement qu'il ne faut rien apporter en termes d'engrais dans de tels sites car une fumure de restitution (maintien) s'impose. Sont concernés, les facteurs climatiques en l'occurrence la pluviométrie

ainsi que les maladies et ravageurs qui interagissent avec les rendements de culture. En effet, la moyenne de la pluviométrie sur la durée du cycle de la culture est croissante dans l'ordre 2022A>2021A>2020A et donc en sens inverse des niveaux de rendements (voir [tableaux 1 et 24](#)), ce qui met en évidence l'importance des paramètres climatiques optimaux en particulier, la température et la pluviométrie ([tableau 24](#)). En général, le maïs donne des résultats optimaux dans les régions où les précipitations annuelles sont comprises entre 600 et 1000 mm (**Durodola et Murad, 2020**). D'autres auteurs comme **Kamara et al. (2020)**, **Casas (2014)** indiquent plutôt que sous les tropiques, les conditions optimales pour le maïs se situent entre 600 à 900 mm de pluies bien réparties sur la période de croissance. Compte tenu des informations précédentes, en supposant une répartition normale, il semble normal d'enregistrer des rendements faibles au cours de la saison 2020A du fait que les moyennes des précipitations sont très excédentaires (1106,3 mm) et éloignées de l'optimum d'une part et d'autre part, d'observer le meilleur rendement (6,3 t/ha) au cours de la saison 2022A. En effet, au cours de cette saison, les précipitations (876,6 mm) sont très proches des valeurs optimales (900 mm). Cette constatation est confirmée et justifiée par le rendement intermédiaire de la saison 2021A ([tableau 24](#)) au cours de laquelle la valeur des précipitations se trouve entre les valeurs observées en 2020 A et 2022A ([tableau 1](#)).

L'absence de l'effet traitement serait une indication de la bonne fertilité naturelle du sol et par conséquent l'apport d'engrais au-delà de la dose de restitution ou de correction (du maintien) de l'équilibre adéquat entre éléments en l'occurrence le rapport Ca/Mg, ne donne pas d'avantages agronomiques et risque plutôt d'aboutir à une perte financière chez l'agriculteur.

Tableau 24. Rendement moyen en grains de maïs (t/ha) en fonction des saisons dans le site de Bukemba non chaulé

Saison	Rendements en t/ha (moyenne ± écart-type)
2020A	2,46 ± 0,57c
2021A	4,64 ± 1,00b
2022A	6,28 ± 0,86a
CV	39%

3.3.1.2 Bukemba chaulé

L'analyse de la variance effectuée sur les données de rendements de maïs sur deux saisons successives (2020A, 2021A) au site de Bukemba chaulé indique un effet très hautement significatif ($p < 0,001$; ***) du facteur saison. Ni l'effet du facteur traitement ni l'effet interactif entre les deux traitements ne sont statistiquement significatifs ($p > 0,05$) (tableau 25). Le coefficient de variation est de 43% (tableau 26) et indique une forte dispersion des valeurs moyennes.

Tableau 25. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec des données combinées de deux saisons culturales 2020A et 2021A au site de Bukemba chaulé

SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr (>F)
Saison	149,23	1	149,23	160,97	<2e-16***
Traitement	4,08	10	0,41	0,44	0,92
Saison x traitement	4,99	10	0,50	0,54	0,86
Résiduel	61,19	66	0,93		

DL : degré de liberté
SC : somme des carrés
CM : carrés moyens
SV : source de variation

La comparaison des moyennes de rendements par saison culturale 2020A et 2021A place la saison 2021A (~5 t/ha) en tête du classement, suivie de loin par la saison 2020A, dont le rendement moyen observé est de 2,4 t/ha, soit la moitié du rendement moyen observé en saison 2021A à Bukemba, avec application de la chaux (tableau 26). Cette différence peut être expliquée par l'effet des facteurs abiotiques (pluviométrie) et biotiques (maladies et ravageurs), qui varient dans le temps. En effet, l'écart entre la moyenne de la pluviométrie sur la durée du cycle de la culture et la valeur optimale 900 mm (**Kamara et al., 2020 ; Casas, 2014**) est relativement plus grand pour la saison 2020A en comparaison à la saison 2021A.

Tableau 26. Rendement moyen en grains de maïs (t/ha) en fonction des saisons dans le site de Bukemba chaulé

Saison	Rendement en t/ha (moyenne ± écart-type)
2020A	2,35 ± 0,46 b
2021A	4,96 ± 1,19 a
CV	43%

Au regard des résultats obtenus dans les différents sites de basse altitude sur le plan agronomique, on observe que les plus fortes doses (exemple T3 :370kg d’engrais FOMI) donnent des rendements similaires statistiquement à ceux des faibles doses (exemple T9 : 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza) indiquant les sols sont encore assez fertiles et ne nécessitent pas d’apport élevé d’engrais. Il en découle que les apports d’engrais ne seraient destinés qu’à la compensation des exportations des éléments minéraux par cette culture.

A cette fin, tenant compte des enjeux financiers et dans une logique de fumure d’entretien (restitution), le choix est porté sur le traitement T9 (90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza).

3.3.2 Rendement en grains de maïs en moyenne altitude (Karusi et Zege, variété ZM 605)

L’analyse de la variance effectuée sur les données de rendement de maïs sur trois saisons successives (2020A, 2021A et 2022A) au site de Karusi indique le seul effet simplement significatif ($p < 0,05$; *) du facteur traitement (tableau 27). Le coefficient de variation est de 18% et est faible. Cela constitue une indication d’une faible dispersion des valeurs moyennes des traitements individuels par rapport à la moyenne générale, suggérant que la plupart des moyennes des traitements sont

étroitement regroupées autour de la moyenne générale d'une part. D'autre part, cela suggère une cohérence et stabilité des données observées dans ce site.

Tableau 27. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec des données combinées de trois saisons culturales 2020A, 2021A et 2022A au site de Karusi

SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr (>F)
Saison	2	1,39	0,70	1,10	0,34
Traitement	10	14,31	1,43	2,27	0,02*
Saison x traitement	20	13,70	0,69	1,08	0,38
Résiduel	95	59,98	0,63		

DL : degré de liberté

SC : somme des carrés

CM : carrés moyens

SV : source de variation

Dans le site de Zege, l'analyse de la variance du rendement en grains de maïs sur l'ensemble des deux saisons combinées (2020A, 2021A) indique un effet très hautement significatif ($p < 0,001$; ***) des deux facteurs (saison et traitement) (tableau 28). Le coefficient de variation est de 71% et est très élevé. Cela indique une très forte dispersion des valeurs.

Tableau 28. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec les données combinées de deux saisons culturales 2020A et 2021A au site de Zege

SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr (>F)
Saison	1	144,57	144,57	528,07	<2,2e-16 ***
Traitement	10	10,62	1,06	3,88	0,00037***
Saison x traitement	10	4,16	0,42	1,52	0,15
Résiduel	65	17,79	0,27		

DL : degré de liberté

SC : somme des carrés

CM : carrés moyens

SV : source de variation

La comparaison des moyennes de rendements entre traitements pour les données combinées des différentes saisons dans les deux sites de moyenne altitude est montrée à la [figure 9](#).

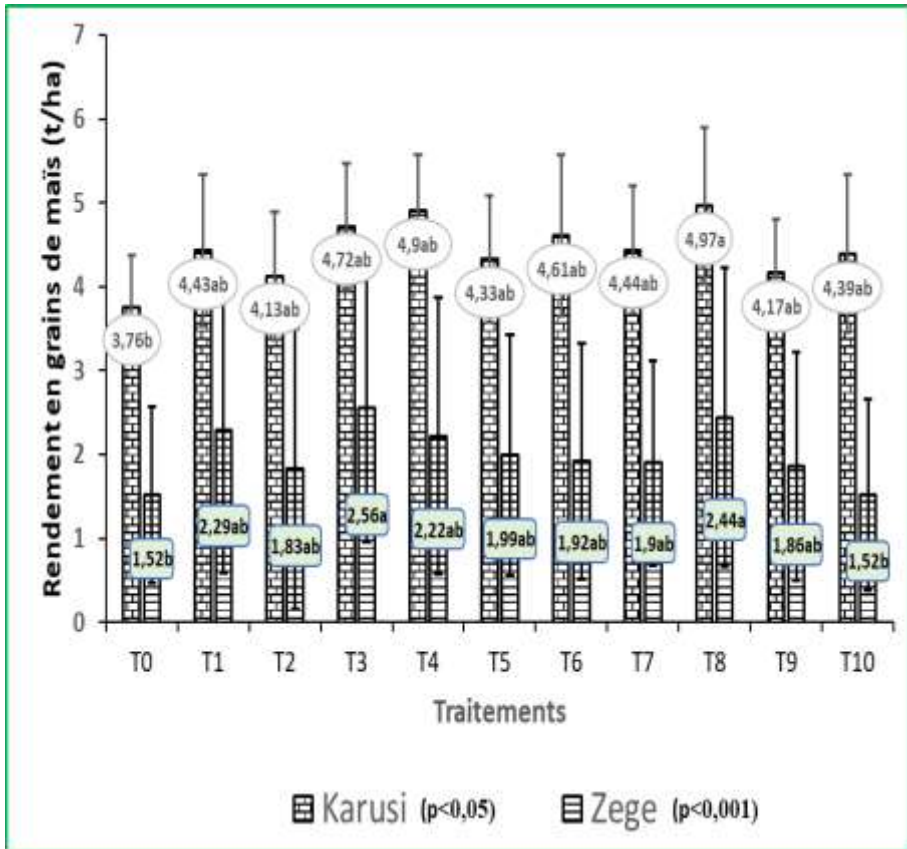


Figure 9. Moyennes de rendement en grains de maïs (t/ha) sur l'ensemble des saisons en fonction des traitements en moyenne altitude (Karusi et Zege)

L'analyse de la figure 9 indique dans chacun des deux sites, deux groupes moyennes homogènes avec en tête le traitement T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza] dans le site de Karusi et les traitements T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg de FOMI Totahaza en une seule application) et T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza] dans le site de Zege qui forment un même groupe. En bas de l'échelle se retrouve le traitement T0 dans les deux sites mais le traitement T0 partage avec le traitement T10, le même groupe de

moyenne homogène dans le site de Zege. Ceci indiquerait qu'il est inutile d'appliquer des doses insuffisantes de fertilisants car elles ne génèrent aucun supplément de rendement par rapport au témoin et que cela constitue plutôt une perte financière. Tous les autres traitements occupent une position à cheval entre les deux traitements dont ils ne sont pas significativement différents.

Dans le site de Karusi, le traitement T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza] est suivi par le traitement T4 [270 kg FOMI Imbura + (50 + 50) kg de Totahaza en deux applications], qui à son tour est suivi par le traitement T3 (270 kg Imbura + 100 kg de Totahaza en une seule application).

Dans le site de Zege, on retrouve dans l'ordre décroissant, les traitements T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza en une seule application), T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza] qui forment un même groupe. Ils sont suivis par les traitements T1 (dose minérale) et le traitement 4 [270 kg FOMI Imbura + (50 + 50) kg FOMI Totahaza en deux applications].

D'une manière globale, on observe une dualité entre les traitements T8 et T3/T4 au niveau des sites de Zege et Karusi (figure 9), ce qui indique que l'on peut choisir l'un ou l'autre traitement, étant donné qu'ils font partie d'une même zone agroécologique.

Dans un objectif de discriminer les deux traitements, il devient logique de faire une analyse sur des données combinées des deux sites afin de dégager de façon claire, la dose à recommander pour cette zone agroécologique. Avec cette approche, l'analyse de la variance effectuée sur les données combinées de rendement obtenu au cours des deux saisons communes 2020A et 2021A montre un effet non significatif du facteur traitement ($p > 0,05$). Les rendements moyens dans ces sites du

plateau central en fonction des traitements sur les données combinées des deux saisons sont indiqués dans le [tableau 29](#).

Tableau 29. Comparaison des moyennes de rendement obtenu dans les sites du plateau central en fonction des traitements avec les données des saisons 2020A et 2021A en moyenne altitude

Traitements	Rendement en t/ha (moyenne \pm écart-type)
T0	2,70 \pm 1,41a
T1	3,32 \pm 1,72a
T2	3,02 \pm 1,84a
T3	3,61 \pm 1,72a
T4	3,45 \pm 1,87a
T5	3,19 \pm 1,71a
T6	3,26 \pm 1,79a
T7	3,21 \pm 1,68a
T8	3,50 \pm 1,85a
T9	2,92 \pm 1,45a
T10	2,74 \pm 1,58a
CV	53%

T0 = Pratique paysanne (Pas d'engrais), T1 = 130 kg DAP + 50 kg Urée + 50 kg KCl (45-60-30), T2 = 270 kg FOMI Imbura, T3 = 270 kg FOMI Imbura+ 100 kg FOMI Totahaza, T4 =270 kg FOMI Imbura+ (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza, T5 = 180 kg FOMI Imbura + 67 kg, T6 = 180 kg FOMI Imbura + (33 kg + 34 kg) FOMI Totahaza, T7 = 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza, T8 = 150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza, T9 = 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza, T10 = 90 kg FOMI Imbura + (16 kg + 17 kg) FOMI Totahaza.

Tous ces traitements comprennent de la fumure organique (15 t/ha) et la dolomie (750 kg/ha).

Cependant, en valeur absolue, les traitements T3 et T8 ([tableau 29](#)) affichent la même dualité discutée ci-haut. D'autre part, il semble évident que le traitement T8 (225 kg d'engrais FOMI) qui demande

40% moins d'investissements en fertilisants organo-minéraux que les traitements T3 et T4 qui lui sont comparables en termes de rendements, est le traitement qui est à la fois agronomiquement et économiquement plus performant par rapport aux traitements T3 et T4 (370 kg d'engrais FOMI). Autrement dit, le traitement T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza], est le traitement de choix dans la zone de moyenne altitude à laquelle appartiennent les sites de Karusi et Zege mais son équivalent T7 (150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza en une seule application) semble financièrement plus performant.

De ce fait, la dose de 150 kg de FOMI Imbura + 75 kg de FOMI Totahaza est celle proposée aux aires de culture de maïs de moyenne altitude

La comparaison des moyennes en fonction des saisons dans le site de Zege, montre que la saison 2020A était la pire par rapport à la saison 2021A (tableau 30). Cette différence entre saisons est à chercher du côté des facteurs autres que la fertilisation et serait surtout due aux pratiques culturales qui n'étaient optimales pendant cette saison spécifique bien sûr sans laisser de côté des légères différences de pluviométrie.

Tableau 30. Rendement moyen en grains de maïs (t/ha) en fonction des saisons dans le site de Zege

Saison	Rendement en t/ha (moyenne ± écart-type)
2020A	0,71 ± 0,28 b
2021A	3,28 ± 0,83 a
CV	-

3.3.3 Rendement en grains de maïs en haute altitude (Gisozi, variété Mugamba)

L'analyse de la variance effectuée sur les données de rendements de maïs sur trois saisons successives au site de Gisozi indique un effet très hautement significatif ($p < 0,001$; ***) du facteur saison et un effet simplement significatif ($p < 0,05$; *) du facteur traitement. L'effet interactif entre les deux facteurs est non significatif ($p > 0,05$) (tableau 31).

Tableau 31. Analyse de la variance du rendement moyen en grains de maïs en fonction des facteurs saison et traitement avec des données combinées de trois saisons culturales 2020A, 2021A et 2022A au site de Gisozi

SV	DL	SC	CM	Valeur F	Pr (>F)
Saison	2	327,16	163,58	125,39	<2e-16 ***
Traitement	10	28,68	2,87	2,20	0,02*
Saison x traitement	20	9,98	0,50	0,38	0,99
Résiduel	99	129,15	1,31		

DL : degré de liberté

SC : somme des carrés

CM : carrés moyens

SV : source de variation

La comparaison des moyennes de rendement de maïs pour les différents traitements est illustrée par le [tableau 32](#) ci-après.

Tableau 32 .Comparaison des moyennes de rendement en grains de maïs en fonction des traitements avec des données de 3 saisons culturales au site de Gisozi

Traitements	Rendement en t/ha (moyenne ± écart-type)
T0	3,11 ± 1,88 b
T1	3,99 ± 1,92 ab
T2	4,17 ± 2,30 ab
T3	4,74 ± 1,92 a
T4	4,56 ± 1,96 ab
T5	4,25 ± 1,98 ab
T6	4,45 ± 2,07 ab
T7	4,11 ± 2,14 ab
T8	3,72 ± 1,73 ab
T9	3,39 ± 1,66 ab
T10	4,06 ± 1,97 ab
CV	48%

T0 = Pratique paysanne (Pas d'engrais), T1 = 130 kg DAP + 50 kg Urée + 50 kg KCl (45-60-30), T2 = 270 kg FOMI Imbura, T3 = 270 kg FOMI Imbura+ 100 kg FOMI Totahaza, T4 =270 kg FOMI Imbura+ (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza, T5 = 180 kg FOMI Imbura + 67 kg, T6 = 180 kg FOMI Imbura + (33 kg + 34 kg) FOMI Totahaza, T7 = 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza, T8 = 150 kg FOMI Imbura + (37 kg + 38 kg) FOMI Totahaza, T9 = 90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza, T10 = 90 kg FOMI Imbura + (16 kg + 17 kg) FOMI Totahaza.

Tous ces traitements comprennent de la fumure organique (15 t/ha) et la dolomie (750 kg/ha).

Le classement des moyennes de rendement en grains de maïs au site de Gisozi sur trois saisons culturales (2020A, 2021A et 2022A) montre que le traitement T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza) donne le rendement le plus élevé suivi de près par le traitement T4 [270 kg FOMI Imbura + (50 + 50) kg FOMI Totahaza] et du traitement T6 [180 kg IMBURA + (33 kg + 34 kg) Totahaza] (tableau 32).

Si l'on est amené à choisir entre les trois traitements avec le plus haut rendement et considérant les quantités de fertilisants appliqués à chaque traitement, le traitement T6 [180 kg IMBURA + (33 kg + 34 kg) Totahaza] est celui qui est, à priori, financièrement compétitif dans les aires de culture de maïs de haute altitude.

Il s'observe un effet net du facteur saison sur le rendement (tableau 33) imputable probablement aux parcelles expérimentales plutôt qu'à des différences tangibles de pluviométrie au cours des trois saisons. En effet, les valeurs de pluviométrie semblent plus favorables en 2022A car elles s'écartent moins à l'optimum de 900 mm si l'on tient compte des valeurs observées au cours des deux autres saisons (2020A et 2021A) (tableau 1). Ainsi donc, le fait que le rendement soit plus élevé en 2021A plutôt qu'en 2022A serait dû à l'emplacement des parcelles qui a varié au cours de chacune des trois saisons avec des parcelles d'une fertilité intrinsèque plus élevée en 2021A étant donné que l'hypothèse de l'influence déterminante des facteurs climatiques ne semble pas très plausible.

Tableau 33. Comparaison des moyennes de rendement en fonction des saisons dans le site de Gisozi

Saison	Rendement en t/ha (moyenne ± écart-type)
2020A	2,09 ± 0,59 c
2021A	5,94 ± 1,68 a
2022A	4,12 ± 0,86 b
CV	-

4. CONCLUSION

Les sols à faible teneur en azote (N) ne répondent qu'à une fertilisation azotée suffisante en termes d'apport. Aucun gain en termes de rendement n'est observable si la quantité suffisante permettant de tomber dans la tranche de la teneur en N suffisante n'est apportée. Autrement, rien ne sert d'apporter une dose qui ne permet pas d'arriver à ce niveau précité sinon cela correspond à une perte en termes de coût de production puisque le rendement ne diffère pas à celui du témoin. Par conséquent, l'analyse préalable du sol est primordiale pour une fertilisation adaptée aux différentes particularités agro-pédologiques.

L'absence de différence significative de rendement en cas de fractionnement et non fraction de l'apport des engrais organo-minéraux de couverture (engrais azotés) au niveau des rendements et surtout les valeurs relativement élevées de rendement (en valeur absolue) en cas de non fractionnement surtout en basse et moyenne altitude, indique qu'il faut une application unique de l'engrais de couverture FOMI Totahaza pour la culture de maïs.

On note une cohérence entre la proposition des variétés par zone agroécologique et la nécessité de recommandations des doses de fertilisation en fonction de ces zones agroécologiques.

Ainsi :

- **En basse altitude (Mparambo et Bukemba)**, les plus faibles doses donnent autant que la dose la plus élevée de fertilisants organo-minéraux (370 kg/ha) suggérant que le sol est suffisamment fertile ne nécessitant pas des applications élevées de fertilisants. **Le choix porte donc sur le traitement T9 (90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza), ceci dans une logique de fumure d'entretien (restitution).** *Cependant, il faudrait que la recherche travaille encore pour un ajustement précis de la formule de fertilisation organo-minérale dans cette zone car les piémonts*

de cette zone agroécologique se rapprochent des conditions de la zone de moyenne altitude (Zege et Karusi). Dans un premier temps, on peut se permettre de recommander la même formule de fertilisation de moyenne altitude pour les piémonts.

- **Dans les conditions de moyenne altitude**, le traitement qui apparaît comme le meilleur tant sur les plans agronomique et financier est le traitement T8 [150 kg FOMI Imbura + (37 + 38) kg FOMI Totahaza] suivi par le traitement T4 [270 kg FOMI Imbura + (50 kg + 50 kg) FOMI Totahaza en deux applications], qui à son tour est suivi par le traitement T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza en une seule application). Autrement dit, le traitement T8 qui demande 40 % moins d'investissements en fertilisants organo-minéraux que les traitements T3 et T4 qui lui sont comparables en termes de rendements, est financièrement avantageux. De ce fait, **la dose de 150 kg de FOMI Imbura + 75 kg de FOMI Totahaza qui est l'équivalent non fractionné de T8**, est celle proposée aux aires de culture de maïs de moyenne altitude.
- **En haute altitude**, si l'on est amené à choisir entre les trois traitements T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza), T4 [270 kg FOMI Imbura + (50 + 50) kg FOMI Totahaza] et T6 [180 kg FOMI Imbura + (33 kg + 34kg) FOMI Totahaza] et considérant les quantités de fertilisants appliqués à chaque traitement, le traitement T6 est celui qui est financièrement compétitif dans les aires de culture de maïs de haute altitude. En harmonie avec les résultats obtenus en rapport avec le mode application (application unique ou fractionnement), **l'équivalent non fractionné du traitement T6 c'est-à-dire le traitement T5 (180 kg IMBURA + 67 kg Totahaza) est la dose recommandée** dans les aires de culture du maïs de haute altitude.

Bibliographie

Bizimana S. 2018. L'agriculture de conservation peut-elle améliorer la fertilité des sols et la productivité des systèmes bananiers en Région des Grands Lacs ? Thèse de doctorat. Université catholique de Louvain-Belgique, 319 pages + annexes.

Bossy, 2013. Engrais : un atout pour les plantes, un fléau pour les sols. *Futura, mai 2013.*

Casas N. M. 2014. Crop Weather and Climate Vulnerability Profiles : A collection of crop temperature and water requirement profiles to help reduce the exposure of smallholder farmers to weather and climate-related shocks; Paul Wagstaff (editor), 72pages.

Chianu J.N. et Mairura F. 2012. Mineral fertilizers in the farming systems of sub-Saharan Africa. A review. *Agron. for Sust. Dev.* 32, 545-566.

Chivenge P., Zingore S., Ezui K.S., Njoroge S., Bunquin M.A., Dobermann A., Saito K. 2022. Progress in research on site-specific nutrient management for smallholder farmers in sub-Saharan Africa. *Field Crops Res.*15; 281 :108503. doi: 10.1016/j.fcr.2022.108503. PMID: 35582149; PMCID: PMC8935389.

Durodola O.S.; Mourad K.A. 2020. Modelling Maize Yield and Water Requirements under Different Climate Change Scenarios. *Climate*, 8, p 127.

Gowariker V, Krishnamurthy VN, Gowariker S, Dhanorkar M, Paranjape K. 2009. The fertilizer encyclopedia. John Wiley and Sons.

Hicintuka C. et Barwandika A. 2016. Directives et bonnes pratiques de gestion durable des terres au Burundi : Applications sur le terrain. MEEATU et MAE, 191 pages+annexes.

Hicintuka C., Bizimana S., Nduwarugira E., Kaboneka S., Manyange H., Niyongabo E., Bayubahe J. 2020. Evaluation des performances de l'engrais organo-minéral « FOMI-Imbura » sur le rendement du haricot commun au Burundi : saison 2019B, 90 pages+annexes.

IFDC et ISABU, 2022. Cartographie de la fertilité des sols du Burundi, édition 2022. Rapport MINEAGRIE, 124 pages+ annexes.

ISABU 2021. Fiche technique de la culture maïs composite.

ISABU. 2016. Fiche technique harmonisée de la culture du maïs hybride.

Jayaraman K. 1999. Manuel de statistique pour la recherche forestière. Publication FORSA-FAO, 242 pages.

Kamara A.Y., Kamai N., Omoigui L.O., Togola A., Onyibe J.E. 2020. Guide to Maize Production in Northern Nigeria: Ibadan, Nigeria. 18 pages.

Kihara J., Mkiza M., Mutambu D., Kinyua M., Mwangi O., Bolo P., Liben F., Abera W. 2023. Soil Health in SubSaharan Africa : Status and solutions, Growing Africa 2(1) :16-22.

Landon J.R. 1991. Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil Survey and Agricultural Land Evaluation in the Tropics and Subtropics. J.R. Landon (Ed.) Longman Technical Copublished in the United States with John Wiley and Sons, Inc. New York. 474 pages.

Liben F., Ebrahim M., Abera W., Erkossa T., Bogale B., Kebede F., Ayele M., Alitaseb T., Haji A., Tsegu A., Girmaw M., Ayele K., Chernet M., Tamene L. 2022. Co-developing and co-validating location-specific fertilizer and agroclimate advisory service for wheat in Ethiopia: the Digital Green Use Case. Addis Ababa (Ethiopia): Alliance of Bioversity International and CIAT 90 p.

Maertens M., Oyinbo O., Abdoulaye T., Chamberlin J. 2023. Sustainable maize intensification through site-specific nutrient management advice : Experimental evidence from Nigeria. Food Policy 121 :102546. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102546>.

Nduwimana, O., Nzohabonayo Z., Hicintuka C. & Nibasumba M., 2020. Cartographie de la fertilité des sols et des besoins des principales cultures vivrières en éléments nutritifs. PAN PNSEB, 110 pages.

Nduwimana, O., Nzohabonayo Z., Hicintuka C., Nibasumba M., 2013. Cartographie de la fertilité des sols et des besoins des principales cultures vivrières en éléments nutritifs. PAN PNSEB, 77 pages.

Office national de Contrôle et de Certification des Semences (ONCSS). 2020. Catalogue National des espèces et variétés végétales admises à la certification au Burundi. 403 pages

Soltner D. 2003. Effets de fertilisants organique et organo-minéral à base de déchets végétaux et animaux sur la croissance et le rendement du soja (*Glycine max* (L.) Merrill) en zone de savane de Côte d'Ivoire. 12 pages.

Soltner D. 2003. Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et Techniques Agricoles. 23^e Edition. 472 pages.

Soulard C.T. 2005. Les agriculteurs et la pollution des eaux. Proposition d'une géographie des pratiques. *Natures Sciences Sociétés* 13 :154-164. NSS-Dialogues, EDP Sciences 2005. DOI: 10.1051/nss:2005022.

Tessens E. et Gourdin J. 1993. Critères d'interprétation des analyses pédologiques. ISABU. Fiche Labo N° 19.

Yamoah C.F., Burleigh J.R., Malcolm M.R. 1990. Application of Experts Systems to study Acid Soils in Rwanda'. *Agric. Ecosystems Environ.* 30: 203-218.

A PROPOS DE CET OUVRAGE...

Cet ouvrage revient sur les résultats obtenus après trois saisons d'expérimentation en station de recherche en vue de la détermination des doses performantes des engrais FOMI (FOMI Imbura + FOMI Totahaza) pour la production de maïs selon les zones agroécologiques du Burundi.

On note une cohérence entre la proposition des variétés par zone agroécologique et la nécessité de recommandations des doses de fertilisation en fonction de ces zones agroécologique. Ainsi :

En basse altitude (Mparambo et Bukemba), les plus faibles doses donnent autant que la dose la plus élevée de fertilisants organo-minéraux (370 kg/ha) suggérant que le sol est suffisamment fertile ne nécessitant pas des applications élevées de fertilisants. **Le choix porte donc sur le traitement T9 (90 kg FOMI Imbura + 33 kg FOMI Totahaza)**, ceci dans une logique de fumure d'entretien (restitution). *Cependant, il faudrait que la recherche travaille encore pour un ajustement précis de la formule de fertilisation organo-minérale dans cette zone car les piémonts se rapprochent des conditions de la zone de moyenne altitude. Dans un premier temps, on peut se permettre de recommander la même formule de fertilisation de moyenne altitude pour les piémonts.*

Dans les conditions de moyenne altitude, le traitement qui apparait comme le meilleur tant sur les plans agronomique et financier est le traitement T8 suivi par le traitement T4 [270 kg FOMI Imbura + (50 kg+50 kg) FOMI Totahaza en deux applications], qui à son tour est suivi par le traitement T3 (270 kg FOMI Imbura + 100 kg FOMI Totahaza en une seule application. Autrement dit, le traitement T8, qui demande 40 % moins d'investissements en fertilisants organo-minéraux que les traitements T3 et T4 qui lui sont comparable en termes de rendements, est financièrement avantageux. De ce fait, **la dose de 150 kg FOMI Imbura + 75 kg FOMI Totahaza qui est l'équivalent non fractionné de T8, est celle proposée aux aires de culture de maïs de moyenne altitude.**

En haute altitude, si l'on est amené à choisir entre les trois traitements T3 (270 kg de FOMI Imbura + 100 kg de FOMI Totahaza), T4 [270 kg FOMI Imbura + (50 + 50) kg FOMI Totahaza] et T6 [180 kg FOMI Imbura + (33 kg +34kg) FOMI Totahaza] et considérant les quantités de fertilisants appliqués à chaque traitement, le traitement T6 est celui qui est financièrement compétitif dans les aires de culture de maïs de haute altitude. En harmonie avec les résultats obtenus en rapport avec le mode application (application unique ou fractionnement), l'équivalent non fractionné du traitement T6 c'est-à-dire **le traitement T5 (180 kg FOMI Imbura + 67 kg FOMI Totahaza) est la dose recommandée dans les aires de culture du maïs de haute altitude.**