



UNIVERSITÉ DU BURUNDI

GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI

Dépôt institutionnel officiel

<https://repository.ub.edu.bi>

Optimisation de la fertilisation phosphatée et effet d'un tricompost sur le rendement de la pomme de terre (solanum tuberosm) sur sol acide au Burundi

Nkurunziza, Emery; Sous la direction de : Dr Ir Ndikumana Déo; Ntahimpera, Domine, MSc

2026-07

UB, EANSI

<https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2412>

UNIVERSITE DU BURUNDI

EAST AFRICAN NUTRITIONAL SCIENCES INSTITUTE

MASTER EN SCIENCES DES ALIMENTS ET NUTRITION



**OPTIMISATION DE LA FERTILISATION PHOSPHATEE ET EFFET D'UN
TRICOMPOST SUR LE RENDEMENT DE LA POMME DE TERRE (*Solanum
tuberosm*) SUR SOL ACIDE AU BURUNDI**

Par :

NKURUNZIZA Emery

Mémoire présenté et défendu publiquement pour l'obtention d'un diplôme de Master en
Sciences des Aliments et Nutrition

Option : Sécurité Alimentaire et Changement Climatique

Sous la direction de :

Dr Ir NDIKUMANA Déo

NTAHIMPERA Domine, MSc.

Bujumbura, Juillet 2026

MEMBRES DU JURY

Président : Prof NIJIMBERE Séverin

Secrétaire : Dr Ir NKESHIMANA Fulgence, PhD

Directeur : Dr Ir NDIKUMANA Déo

Co-Directeur : NTAHIMPERA Domine, MSc.

DEDICACE

Par la puissance de Dieu, nous dédions ce travail de mémoire :

A nos chers parents et oncles pour leurs sacrifices et affection ;

A nos frères et sœurs pour leur soutien moral et matériel ;

A tous qui ont prié et continué à prier pour nous ;

A tous les chercheurs de tous les horizons.

Y ;g

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail de recherche, nous adressons nos sincères remerciements à toutes les personnes et institutions qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre directeur de mémoire, Dr Ir. Déo NDIKUMANA, pour son encadrement rigoureux, ses conseils éclairés, sa disponibilité constante et son accompagnement tout au long de cette étude. Ses orientations scientifiques et ses remarques pertinentes ont été d'une importance capitale pour la qualité de ce travail.

Nous adressons également nos vifs remerciements à Madame Domine NTAHIMPERA pour son appui technique, sa collaboration précieuse et son expertise, qui ont largement contribué à la bonne conduite des expérimentations et à l'aboutissement de cette recherche.

Nos remerciements s'étendent à la coordination de l'EANSI ainsi qu'à la Banque Africaine de Développement (BAD) pour leur soutien matériel et financier, notamment à travers la prise en charge des frais de déplacement et de subsistance, facilitant ainsi la réalisation des activités de terrain.

Nous tenons également à remercier l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) pour avoir mis à notre disposition le site expérimental nécessaire à la conduite de nos essais. Cette collaboration a constitué un apport essentiel à la réussite de notre étude.

Nous exprimons notre reconnaissance au personnel de la Station Régionale de Recherche(SRR) Karusi pour son accueil chaleureux, sa disponibilité et son soutien logistique tout au long de notre séjour sur le terrain. Leur contribution a grandement facilité la mise en œuvre des différentes activités de recherche.

Enfin, nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui, par leurs encouragements, leurs conseils ou leur soutien multiforme, ont participé à la réussite de ce travail.

À toutes et à tous, nous exprimons notre profonde gratitude.

RESUME

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) constitue l'une des principales cultures vivrières du Burundi en raison de sa forte valeur nutritionnelle, de son cycle de production relativement court et de son rôle important dans la sécurité alimentaire et l'amélioration des revenus des ménages agricoles. Cependant, malgré son potentiel productif élevé, les rendements obtenus dans les exploitations paysannes demeurent faibles en raison de plusieurs contraintes, notamment la dégradation progressive de la fertilité des sols, l'utilisation insuffisante ou déséquilibrée des fertilisants, les aléas climatiques ainsi que les pressions exercées par les maladies et les ravageurs. Dans ce contexte, la présente étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de différents niveaux de fertilisation phosphatée, associés à l'application d'un tricompost, sur la croissance et le rendement de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) cultivée sur un sol acide au Burundi, afin d'identifier la combinaison optimale permettant d'améliorer durablement la productivité de cette culture.

L'expérimentation a été conduite à la station régionale de recherche de Karusi suivant un dispositif en blocs complètement randomisés comprenant huit traitements et trois répétitions. Les traitements combinaient différentes doses de fumier de vache, de compost organique COEJEBU (Coopérative d'Excellence des Jeunes Entrepreneur du Burundi), d'engrais minéraux NPK et de dolomie. Les paramètres étudiés portaient sur la croissance végétative (hauteur des plants et nombre de tiges par plant) ainsi que sur les composantes du rendement (nombre total de tubercules, nombre de gros tubercules et rendement en tubercules).

Les résultats ont révélé que la fertilisation intégrée a significativement amélioré les performances agronomiques de la culture comparativement aux traitements témoins. Les meilleures performances ont été obtenues avec les traitements FV + NPK 60-90-60 + dolomie (T3) et FV + NPK 60-75-60 + dolomie (T4), qui ont respectivement produit 6 291,04 kg/ha et 6 202,43 kg/ha. Ces traitements ont également enregistré les valeurs les plus élevées de hauteur des plants, de nombre de tiges et de production de gros tubercules. Le traitement COEJEBU + NPK 60-90-60 + dolomie (T8) a présenté des résultats intermédiaires avec un rendement de 5 526,88 kg/ha, démontrant ainsi le potentiel du compost COEJEBU comme alternative durable pour l'amélioration de la fertilité des sols.

L'étude confirme que l'intégration des fertilisants organiques et minéraux favorise une meilleure disponibilité des éléments nutritifs, améliore la croissance végétative et augmente significativement le rendement de la pomme de terre. Toutefois, les rendements observés demeurent inférieurs au potentiel variétal estimé à environ 30 t/ha, ce qui suggère l'existence d'autres facteurs limitants liés notamment aux conditions climatiques, à la gestion de l'eau, à la pression parasitaire et à la qualité des semences. En conclusion, la fertilisation intégrée apparaît comme une stratégie efficace et durable pour accroître la productivité de la pomme de terre dans l'ex-province de Karusi et contribuer au renforcement de la sécurité alimentaire et des revenus des producteurs au Burundi.

Mots-clés : *Solanum tuberosum* L., fertilisation intégrée, fumier de vache, compost COEJEBU, engrais minéraux, rendement, Karusi, Burundi.

ABSTRACT

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the most important food crops in Burundi due to its high nutritional value, short production cycle, and significant contribution to food security and household income. Nevertheless, potato yields achieved by smallholder farmers remain far below the crop's production potential because of declining soil fertility, inadequate nutrient management, climatic variability, and increasing pressure from pests and diseases. In this context, the present study aimed to evaluate the effect of different levels of phosphate fertilization, combined with the application of a tricompost, on the growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown on acidic soil in Burundi, in order to identify the optimal combination to sustainably improve the productivity of this crop.

The experiment was conducted at the Karusi Regional Research Station using a randomized complete block design with eight treatments and three replications. The treatments consisted of different combinations of cattle manure, COEJEBU compost, mineral NPK fertilizers, and dolomite. Agronomic parameters assessed included plant height, number of stems per plant, total number of tubers, number of marketable large tubers, and tuber yield.

The results showed that integrated fertilization significantly improved potato growth and productivity compared with the control treatments. The highest performances were obtained with cattle manure combined with NPK 60-90-60 plus dolomite (T3) and cattle manure combined with NPK 60-75-60 plus dolomite (T4), which produced yields of 6,291.04 kg ha⁻¹ and 6,202.43 kg ha⁻¹, respectively. These treatments also recorded the highest values for plant height, stem number, and production of large tubers. The treatment consisting of COEJEBU compost combined with NPK 60-90-60 and dolomite (T8) achieved an intermediate yield of 5,526.88 kg ha⁻¹, highlighting the potential of locally produced compost as a sustainable alternative for improving soil fertility and crop productivity.

The findings demonstrate that integrated nutrient management enhances nutrient availability, stimulates vegetative growth, and significantly increases potato yield. However, the yields obtained remained considerably lower than the varietal potential estimated at approximately 30 t ha⁻¹, indicating the influence of additional limiting factors such as rainfall deficits, pest and disease incidence, inadequate water management, and seed quality constraints. Overall, integrated fertilization represents an effective and sustainable strategy for improving potato production in former Karusi Province and offers promising opportunities for strengthening food security and farmers' livelihoods in Burundi.

Keywords: Potato, integrated nutrient management, cattle manure, COEJEBU compost, mineral fertilizers, yield, Karusi, Burundi.

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY	i
DEDICACE	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
TABLE DES MATIERES	vi
SIGLES, SYMBOLES ET ABREVIATIONS.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES	x
AVANT-PROPOS.....	xi
INTRODUCTION GENERALE	1
1. Contexte et justification de l'étude	1
2. Problématique de la recherche	4
3. Questions de la recherche	5
4. Hypothèses de la recherche.....	6
5. Objectifs de la recherche.....	6
5.1. Objectif général.....	6
5.2. Objectifs spécifiques.....	6
6. Intérêt du travail.....	7
7. Subdivision du travail	7
CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE SUR LA CULTURE ET LA FERTILISATON DE LA POMME DE TERRE	8
I.1. Considérations générales sur la culture de la pomme de terre.....	8
I.1.1. Contexte général de la pomme de terre	8
I.1.2. Quelques particularités de la culture de la pomme de terre au Burundi	11
I.2. Considérations générales sur les fertilisants de la pomme de terre	19
I.2.1. Aperçu général.....	19
I.2.2. Biologie et exigences nutritionnelles de la pomme de terre	20
I.2.3. Fertilisants organiques : caractéristiques et effets	24
I.2.4. Fertilisants minéraux : rôle et impacts.....	25
I.2.5. Gestion intégrée des nutriments (INM)	26
I.2.6. Mécanismes biologiques sous-jacents à la fertilisation intégrée	27
I.2.7. Impacts économiques et durabilité de l'INM	28
I.2.8. Limites et défis de l'INM	28
I.2.9. Synthèse sur les fertilisants de la pomme de terre	29

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES.....	30
II.1. Présentation du site d'expérimentation	30
II.2. Les intrants utilisés.....	31
II.2.1. Matériel végétal.....	31
II.2.2. Engrais minéraux et organiques utilisés	32
II. 3. Méthodologie utilisée	33
II.3.1. Dispositif expérimental	33
II.3.2. Choix et préparation du terrain d'essai.....	34
II.3.3. Paramètres mesurés	37
II.4. Analyse des données	38
CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS.....	39
III.1. Evaluation comparative de l'efficacité de différents types de fertilisants sur les performances de croissance de la pomme de terre	39
III.1.1. Hauteur moyenne de la tige principale des plants aux différents stades et évolution de cette hauteur de 40 ^{ème} à 82 ^{ème} JAP	39
III.1.2. Nombre moyen de tiges par plant aux différents stades et influence des différents traitements sur le nombre de tiges par plant.....	47
III.2. Evaluation comparative de l'efficacité de différents types de fertilisants sur les performances de production de la pomme de terre.....	52
III.2.1. Nombres de tubercules par plant.....	52
III.2.2. Rendement	59
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	65
Conclusion générale.....	65
Recommandations.....	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	69

SIGLES, SYMBOLES ET ABREVIATIONS

AGVSAN	: Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition au Burundi
BAD	: Banque Africaine de Développement
CI	: Centre d'innovation
CIP	: Centre International de la Pomme de terre
COEJEBU	: Coopérative d'Excellence des Jeunes entrepreneurs du Burundi
COMIFER Raisonnée	: Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation
DAP	: Diamonium Phosphate
Dr	: Docteur
FAO	: Food and Agriculture Organisation:
FOMI	: Fertilisant Organo Minéral
IGEBU	: Institut Géographique du Burundi
INM	: Gestion Intégrée des Nutriments
ISABU	: Institut des Sciences Agronomiques du Burundi
KCl	: Chlorure de Potassium
PAM	: Programme Alimentaire Mondial
SRR	: Station Régionale de Recherche

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Besoins minéraux de la pomme de terre	21
Tableau 2: précipitations et températures moyennes mensuelles	31
Tableau 3: Caractéristiques physicochimiques des amendements organiques utilisés dans l'étude (Compost ternaire et fumier de vache).....	33
Tableau 4: Formulation des engrais	36
Tableau 5: Synthèse des résultats des paramètres de croissance sur le site du Centre d'Innovation de Karusi	40
Tableau 6: Synthèse des résultats sur le nombre de tige par plant selon les différentes périodes de croissance	48
Tableau 7: nombre de tubercule par plant.....	54
Tableau 8: Analyse de variance sur le rendement moyen par traitement.....	59

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Caractéristiques géographiques du site expérimental.....	30
Figure 2: Végétation du terrain avant la mise en place de l'expérimentation.....	31
Figure 3: Schéma du dispositif expérimental.....	34
Figure 4 : Evolution de la hauteur de la tige principale des plants aux 68 et 82 JAP par traitements testés sur le site d'expérimentation	43
Figure 5: Influence des différents traitements testés sur le nombre de tiges par plant aux stades 40 JAP, 54 JAP et 68 JAP.	50
Figure 6: Effet de fertilisation sur le nombre moyen des tubercules par plant.	57
Figure 7: Effet du type des fertilisants sur le rendement réel de la pomme de terre.....	62

AVANT-PROPOS

Le présent mémoire est réalisé dans le cadre de l'obtention du diplôme de **Master en Sciences des Aliments et Nutrition, option Sécurité Alimentaire et Changement Climatique**, à l'Université du Burundi, à travers l'East African Nutritional Sciences Institute (EANSI). Il porte sur le thème : « **Optimisation de la fertilisation phosphatée et effet d'un tricompost sur le rendement de la pomme de terre (Solanum tuberosum L.) sur sol acide au Burundi** ».

La pomme de terre constitue une culture vivrière importante au Burundi en raison de sa valeur nutritionnelle, de son cycle relativement court, de son potentiel de rendement et de sa contribution à la sécurité alimentaire ainsi qu'aux revenus des ménages agricoles. Cependant, sa productivité reste limitée par plusieurs contraintes, notamment la dégradation de la fertilité des sols, la disponibilité insuffisante des éléments nutritifs, le coût élevé des engrais, les maladies et ravageurs ainsi que les effets de la variabilité climatique.

Dans l'ancienne province de Karusi, ces contraintes sont particulièrement importantes en raison de l'exploitation continue des terres, de l'érosion et de l'appauvrissement progressif des sols. Les données disponibles montrent également que les références scientifiques permettant de déterminer les doses et les combinaisons les plus appropriées de fertilisants organiques et minéraux dans les conditions agroécologiques locales demeurent insuffisantes.

C'est dans ce contexte que cette étude a été conduite au **Centre d'Innovation de l'ISABU-Karusi**, afin d'évaluer l'effet de différentes doses de fertilisation phosphatée associées à des fertilisants organiques sur la croissance et le rendement de la pomme de terre cultivée sur sol acide. L'expérimentation a notamment porté sur différentes combinaisons de fumier de vache, de compost COEJEBU, d'engrais minéraux NPK et de dolomie.

Ce travail vise ainsi à contribuer à la production de références scientifiques locales susceptibles d'aider à l'amélioration de la gestion de la fertilité des sols et à l'augmentation durable de la productivité de la pomme de terre. Il présente également un intérêt agronomique, économique et social, notamment par la recherche de pratiques de fertilisation adaptées aux conditions locales et aux possibilités des producteurs.

Le présent mémoire est structuré en cinq grandes parties : une **introduction générale**, une **revue de la littérature**, la présentation des **matériels et méthodes**, la **présentation, l'analyse et la discussion des résultats**, ainsi qu'une **conclusion générale accompagnée de recommandations**.

À travers ce travail, nous espérons apporter une contribution, aussi modeste soit-elle, à l'amélioration des connaissances sur la fertilisation de la pomme de terre au Burundi et à la promotion de pratiques agricoles permettant de renforcer durablement la sécurité alimentaire et les revenus des producteurs.

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte et justification de l'étude

La pomme de terre cultivée, appartenant à l'espèce *Solanum tuberosum* L., est un légume largement consommé à travers le monde. Originaire des Andes, elle a été domestiquée et cultivée depuis l'époque néolithique, notamment dans la région côtière de l'actuel Pérou (Sedkaoui, 2018). En termes de consommation, la pomme de terre se classe au deuxième rang après les céréales (Senbeta *et al.*, 2021). Reconnaisant son rôle essentiel dans l'alimentation humaine, l'Organisation des Nations Unies (ONU) a proclamé l'année 2008 comme l'Année Internationale de la Pomme de Terre.

La culture de la pomme de terre est réputée pour sa simplicité sur le terrain et son potentiel de rendement, qui varie en fonction des conditions climatiques, de la variété et des pratiques culturales. Elle peut atteindre facilement des rendements de 20 à 30 tonnes par hectare, constituant ainsi une source de revenu significative pour de nombreux agriculteurs. Sur le plan nutritionnel, la pomme de terre est classée parmi les aliments à haute valeur énergétique. Commercialement, elle est très prisée par les populations de nombreux pays (Bararyenya *et al.*, 2012).

Au Burundi, les agriculteurs produisent diverses cultures principalement pour leur propre consommation, en raison de la petite taille des terres cultivables (Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition au Burundi, 2023). Seuls 2,1 % des agriculteurs cultivent la pomme de terre. Parmi eux, 5,7 % sont des producteurs urbains, contre seulement 1,9 % dans le milieu rural.

Dans la région de Mugamba, la pomme de terre occupe une place prépondérante parmi les cultures vivrières. Elle représente 22 % des revenus agricoles, ce qui en fait la première culture vivrière en termes de revenus. De plus, elle est la culture de racines et tubercules la plus répandue et la plus consommée en milieu urbain, tout en se classant au quatrième rang pour sa contribution à la sécurité alimentaire (16,7 %) (Bararyenya *et al.*, 2012).

Dans l'ancienne province de Karusi, 0,6 % des agriculteurs cultivent cette culture. La majorité de la production (60 %) est destinée à la consommation domestique, 0,7 % à la vente, et 38,5 % à la vente et à la consommation (Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition au Burundi, 2023).

En effet, au Burundi, le recours aux engrais varie selon les cultures pratiquées. Ainsi, la grande majorité des agriculteurs utilisent des engrais pour la production de la pomme de terre (94,6 %) et des légumes (88,4 %). Ces deux cultures sont considérées comme commerciales et sont principalement cultivées pour la vente sur le marché (République du Burundi, 2023).

Cependant, les agriculteurs sont confrontés à une série de problèmes pour obtenir de bonnes récoltes. Selon l'Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition au Burundi (AGVSAN) menée en 2023 par la République du Burundi en collaboration avec le Programme Alimentaire Mondiale (PAM), les principaux défis rencontrés sont la non-disponibilité des intrants agricoles (54,9 %), le prix élevé de ces intrants (47,4 %), tels que les semences, les engrais et les pesticides, ainsi qu'un faible accès à ces intrants.

Par ailleurs, les études montrent que 62,3 % des agriculteurs burundais utilisent des engrais pour leurs cultures, alors qu'environ 38 % n'y recourent pas. Pour faire face à cette situation, les petits exploitants remplacent souvent les engrais minéraux par du fumier, généralement en quantités insuffisantes. De plus, la majorité d'entre eux ne pratiquent pas l'élevage du bétail afin de produire leur propre fumier à usage agricole, ce qui se traduit par des rendements agricoles relativement faibles à l'échelle du pays (AGVSAN, 2023).

La fertilisation, qu'elle soit organique ou minérale, est un facteur clé influençant la production de la pomme de terre. Une fertilisation raisonnée est essentielle pour atteindre des rendements optimaux (COMIFER, 2018 ; Giroux, 1984). La formule de fertilisation largement vulgarisée au Burundi est le 60-90-60, qui aurait été utilisée pour la première fois par le projet d'appui au secteur semencier (PASS Kajondi). Les essais de fertilisation menés à la fois dans les marais tourbeux de l'ONATOUR et sur les collines portaient sur les trois éléments majeurs (NPK). La formule d'engrais 60-90-60 s'est avérée suffisante. Augmenter la dose n'entraînait pas nécessairement une augmentation significative des rendements. D'autres essais de fertilisation ont été réalisés dans trois centres semenciers (Munanira, Nyakararo et Kajondi), avec la formule 60-90-60 utilisée comme témoin. La formule 40-60-40 s'est révélée la plus performante dans ces trois sites. Associée à une densité de plantation de 70 cm x 25 cm dans la région de Bututsi, cette formule (40-60-40) s'est avérée la plus rentable (ISABU, 2006). Un autre essai sur la fertilisation organo-minérale a montré que l'application de 15 t/ha de fumure organique bien décomposée était suffisante. Dans le cadre de permettre aux agriculteurs de choisir eux-mêmes de meilleures dose et combinaison des fertilisants organiques et minéraux selon leur disponibilité

ainsi que leur moyen financier, des chercheurs continuent des essais et comparent leurs résultats avec ceux déjà trouvés pour les autres recherches.

Dans le même ordre d'idée, l'agriculture constitue le socle de l'économie burundaise, représentant plus de 40 % du produit intérieur brut (PIB) et assurant les moyens de subsistance de plus de 80 % de la population active (MINAGRIE, 2023).

Elle joue un rôle central dans la sécurité alimentaire, la réduction de la pauvreté et le développement rural. Parmi les cultures vivrières stratégiques, la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), comme déjà souligné, occupe une place importante en raison de sa valeur nutritionnelle élevée, de son cycle de production relativement court et de son potentiel de rendement élevé lorsqu'elle est cultivée dans des conditions agronomiques appropriées (FAO, 2022).

Dans l'ancienne province de Karusi, située au centre-est du Burundi, l'agriculture est dominée par de petites exploitations familiales caractérisées par une forte pression foncière et une exploitation continue des sols. Cette région, bien que disposant d'un potentiel agroécologique favorable à plusieurs cultures vivrières, dont la pomme de terre, enregistre des rendements inférieurs aux moyennes attendues, principalement en raison de la baisse progressive de la fertilité des sols (ISABU, 2021). La culture de la pomme de terre y constitue néanmoins une source importante de revenus et contribue significativement à la sécurité alimentaire des ménages ruraux.

Les sols de Karusi sont majoritairement soumis à une dégradation continue liée à l'érosion hydrique, à l'appauvrissement en matière organique et à l'extraction prolongée des éléments nutritifs sans restitution adéquate. Plusieurs études ont montré que les sols agricoles du centre du Burundi présentent des déficits marqués en azote (N), phosphore (P) et potassium (K), éléments essentiels à la croissance et au développement de la pomme de terre (Vanlauwe et al., 2019 ; Sanchez, 2020). Cette situation limite fortement l'expression du potentiel de rendement de cette culture exigeante en nutriments.

Pour pallier ces contraintes, les producteurs recourent principalement aux engrais minéraux, souvent appliqués de manière empirique et sans analyse préalable du sol. Bien que ces engrais permettent une réponse rapide de la culture, leur utilisation exclusive entraîne des coûts élevés, une faible efficience d'utilisation des nutriments et une dégradation progressive des propriétés physiques et biologiques des sols (Lal, 2020 ; Pretty et al., 2018). Par ailleurs, l'accès limité aux

engrais minéraux constitue un frein majeur pour de nombreux producteurs de l'ancienne province de Karusi.

A l'inverse, les fertilisants organiques tels que le fumier et le compost sont localement disponibles et contribuent à l'amélioration de la structure du sol, à l'augmentation de la matière organique et à la stimulation de l'activité microbienne. Cependant, leur faible teneur en éléments nutritifs immédiatement disponibles et leur minéralisation lente ne permettent pas, à eux seuls, de satisfaire les besoins nutritionnels élevés de la pomme de terre (Palm *et al.*, 2018).

Dans ce contexte, la fertilisation intégrée, combinant fertilisants organiques et minéraux, apparaît comme une solution durable pour améliorer la productivité agricole tout en préservant la fertilité des sols. Des travaux récents ont montré que cette approche permet non seulement d'augmenter significativement le rendement de la pomme de terre, mais aussi d'améliorer l'efficacité d'utilisation des engrais et la résilience des systèmes de production face aux changements climatiques (Agegnehu *et al.*, 2022 ; Zhang *et al.*, 2021).

Toutefois, l'efficacité de cette combinaison dépend fortement des doses appliquées, du type de sol et des conditions agroécologiques locales. Dans l'ancienne province de Karusi, les données scientifiques permettant de déterminer la combinaison optimale de fertilisants organiques et minéraux pour la culture de la pomme de terre demeurent insuffisantes. C'est dans cette perspective que la présente étude « **optimisation de la fertilisation phosphatée et effet d'un tricompost sur le rendement de la pomme de terre (solanum tuberosm) sur sol acide au Burundi** », conduite au Centre d'Innovation de l'ISABU–Karusi, vise à générer des références scientifiques locales afin d'orienter les pratiques de fertilisation et d'améliorer durablement les rendements.

2. Problématique de la recherche

Malgré son importance dans la sécurité alimentaire et l'économie locale, la production de la pomme de terre dans l'ancienne province de Karusi reste caractérisée par des rendements faibles et instables. Cette situation persiste alors même que la demande en produits vivriers ne cesse d'augmenter sous l'effet de la croissance démographique et de la pression sur les ressources agricoles (MINAGRIE, 2023).

L'un des principaux facteurs expliquant cette faible productivité est la gestion inadéquate de la fertilisation des sols. Dans la province de Karusi, les producteurs appliquent souvent les engrais minéraux sans maîtrise des doses recommandées, ce qui entraîne soit une sous-fertilisation

limitant le rendement, soit une surfertilisation responsable de pertes par lessivage et de dégradation des sols Cette pratique contribue à une baisse progressive de la fertilité chimique et biologique des sols.

Par ailleurs, la dépendance exclusive aux engrais minéraux pose des problèmes économiques majeurs pour les producteurs, en raison de leur coût élevé et de leur disponibilité irrégulière. À long terme, cette stratégie compromet la durabilité des systèmes de production et accentue la vulnérabilité des ménages agricoles (FAO, 2022 ; Lal, 2020).

Bien que les fertilisants organiques soient largement utilisés dans la province, leur application reste insuffisante ou mal maîtrisée. De plus, leur efficacité lorsqu'ils sont utilisés seuls demeure limitée pour une culture à forte exigence nutritionnelle comme la pomme de terre. Dès lors, la combinaison des fertilisants organiques et minéraux est souvent recommandée, mais sans indications précises sur les doses optimales à appliquer dans les conditions pédoclimatiques spécifiques de Karusi.

Ainsi, il subsiste un manque de références scientifiques locales permettant de déterminer la combinaison optimale de fertilisants organiques et minéraux susceptible d'assurer un rendement optimal de la pomme de terre tout en préservant la fertilité des sols. Cette lacune justifie la conduite de la présente étude expérimentale au Centre d'Innovation de l'ISABU–Karusi.

3. Questions de la recherche

Dans le but d'analyser l'efficacité de la fertilisation intégrée sur la culture de la pomme de terre dans les conditions agroécologiques de Karusi, la présente étude s'articule autour des questions suivantes:

1. Quel est l'effet des différentes combinaisons de fertilisants organiques et des différentes doses de phosphore sur les performances agronomiques, notamment le rendement de la pomme de terre en sol acide?
2. Quelle combinaison de fertilisation permettant d'atteindre un rendement optimal dans les conditions agroécologiques locales ?
3. Les différences observées entre les traitements appliqués sont-elles statistiquement significatives ?
4. Les différences observées entre les traitements combinant les engrais minéraux –fumier de vache et engrais minéraux - tricompost sont-elles statistiquement significatives ?

4. Hypothèses de la recherche

En réponse aux questions de recherche formulées, les hypothèses suivantes sont posées :

- **H1** : La fertilisation intégrée, combinant des apports organiques (fumier de vache et tricompost) et minéraux, améliore significativement le rendement de la pomme de terre par rapport à l'utilisation isolée de ces fertilisants.
- **H2** : Il existe une combinaison optimale de fertilisants organiques et minéraux permettant de maximiser le rendement de la pomme de terre dans les conditions agroécologiques de Karusi.
- **H3** : Les combinaisons de fertilisation reposant sur des doses intermédiaires présentent une efficacité agronomique supérieure.
- **H4** : Les différences observées entre les traitements combinant les engrais minéraux – fumier de vache et engrais minéraux - tricompost sont statistiquement significatives.

5. Objectifs de la recherche

5.1. Objectif général

L'objectif général de cette étude est d'évaluer l'effet de la fertilisation intégrée (organique et minérale) sur la productivité et la durabilité de la culture de la pomme de terre dans les conditions agroécologiques de Karusi.

5.2. Objectifs spécifiques

De manière spécifique, il s'agit de :

1. Analyser l'effet des différentes combinaisons de fertilisants sur les paramètres de croissance et de production de la pomme de terre.
2. Déterminer la combinaison optimale de fertilisation permettant de maximiser le rendement dans les conditions locales.
3. Comparer statistiquement les performances des différents traitements afin d'identifier les différences significatives entre eux.
4. Comparer statistiquement les performances entre les traitements combinant les engrais minéraux –fumier de vache et engrais minéraux – tricompost.

6. Intérêt du travail

Cette étude s'inscrit dans une démarche globale visant à fournir des recommandations pratiques aux agriculteurs, leur permettant de choisir eux-mêmes de meilleures dose et combinaison des fertilisants organiques et minéraux selon leur disponibilité ainsi que leur moyen financier.

L'intérêt du travail est donc d'ordre :

- **Scientifique** : production de références locales sur la fertilisation intégrée de la pomme de terre.
- **Agronomique** : amélioration de la gestion de la fertilité des sols.
- **Économique** : réduction des coûts de production et augmentation des revenus agricoles.
- **Social** : contribution à la sécurité alimentaire dans l'ancienne province de Karusi.

7. Subdivision du travail

Ce travail est structuré en cinq chapitres :

- Introduction générale
- Revue de la littérature
- Méthodologie de la recherche (Matériels et méthodes)
- Présentation, analyse et discussion des résultats
- Conclusion générale et recommandations

CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE SUR LA CULTURE ET LA FERTILISATION DE LA POMME DE TERRE

I.1. Considérations générales sur la culture de la pomme de terre

I.1.1. Contexte général de la pomme de terre

A) Bref état des lieux de la pomme de terre dans le monde et en Afrique subsaharienne

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est une plante herbacée tubéreuse appartenant à la famille des Solanaceae. Elle constitue l'une des principales cultures vivrières dans le monde après le riz, le blé et le maïs. Grâce à sa richesse en glucides, en vitamines, en protéines et en sels minéraux, la pomme de terre joue un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire mondiale et dans la lutte contre la faim (FAO, 2024). Elle présente également un cycle végétatif relativement court et une forte capacité de production par unité de surface, ce qui en fait une culture stratégique dans plusieurs pays en développement.

Selon le Centre International de la Pomme de Terre (CIP, 2023), la production mondiale de pomme de terre dépasse 370 millions de tonnes par an. La Chine, l'Inde, la Russie et l'Ukraine figurent parmi les principaux producteurs mondiaux. En Afrique subsaharienne, la culture de la pomme de terre connaît une expansion rapide en raison de l'augmentation de la demande alimentaire, de l'urbanisation et du développement des marchés agricoles.

La pomme de terre représente une source importante de revenus pour les petits exploitants agricoles. Dans plusieurs pays africains, elle contribue significativement à la sécurité alimentaire des ménages ruraux grâce à sa valeur nutritionnelle et à sa rentabilité économique (CIP, 2023). Toutefois, les rendements restent généralement faibles à cause de plusieurs contraintes telles que la faible fertilité des sols, les maladies, les ravageurs, l'insuffisance des semences certifiées et les pratiques culturales inadéquates (Vanlauwe *et al.*, 2019).

L'amélioration de la fertilité des sols par l'utilisation combinée des fertilisants organiques et minéraux constitue aujourd'hui une stratégie importante pour accroître durablement la productivité de la pomme de terre tout en préservant les ressources naturelles (Vanlauwe *et al.*, 2019). La culture s'adapte à divers types de sols, mais elle préfère particulièrement les sols meubles, bien drainés et légèrement acides, favorables au développement des tubercules (Ngoyi *et al.*, 2020).

B) Origine et classification botanique de la pomme de terre

La pomme de terre appartient à la famille des Solanaceae, au genre Solanum et à l'espèce Solanum tuberosum L. Elle est originaire des régions andines d'Amérique du Sud, principalement du Pérou et de la Bolivie, où elle était cultivée depuis plusieurs milliers d'années avant sa diffusion vers l'Europe au XVIe siècle puis dans le reste du monde (FAO, 2022).

Sur le plan botanique, la pomme de terre est une plante herbacée annuelle cultivée principalement pour ses tubercules souterrains riches en amidon. Elle possède un système racinaire relativement superficiel, une tige aérienne dressée ou semi-rampante, des feuilles composées alternes et des fleurs regroupées en inflorescences terminales. Les tubercules proviennent du renflement des stolons souterrains et constituent les principaux organes de réserve de la plante (Rousselle et Crosnier, 2018).

Le système racinaire de la pomme de terre est constitué de racines adventives qui assurent l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs. Les stolons, qui se développent sous terre, donnent naissance aux tubercules après accumulation progressive des réserves glucidiques. Une bonne croissance racinaire favorise une meilleure alimentation hydrique et minérale, contribuant ainsi à l'augmentation du rendement (CIP, 2023).

Les feuilles de la pomme de terre jouent un rôle essentiel dans la photosynthèse. Elles assurent la production des assimilats nécessaires à la formation et au grossissement des tubercules. Toute réduction de la surface foliaire causée par les maladies ou les attaques parasitaires influence négativement la productivité de la culture (FAO, 2022).

C) Caractéristiques physiologiques de la pomme de terre

La pomme de terre est une plante à métabolisme photosynthétique de type C3. Son développement physiologique dépend fortement des conditions climatiques, notamment de la température, de la lumière, de l'humidité du sol et de la disponibilité des éléments nutritifs (CIP, 2023).

La température optimale de croissance de la pomme de terre se situe généralement entre 15°C et 22°C. Les températures élevées affectent négativement la tubérisation et favorisent le développement de certaines maladies. À l'inverse, des températures trop basses ralentissent la croissance végétative et retardent la maturation des tubercules (FAO, 2022).

La photosynthèse constitue un processus fondamental dans la formation des tubercules. Les feuilles captent l'énergie solaire nécessaire à la synthèse des glucides qui seront ensuite transportés et stockés dans les tubercules sous forme d'amidon. Une alimentation hydrique équilibrée favorise le bon fonctionnement physiologique de la plante et améliore la qualité des tubercules (Rousselle et Crosnier, 2018).

La pomme de terre présente également une forte sensibilité au stress hydrique. Un déficit en eau pendant les phases critiques de tubérisation et de grossissement des tubercules peut entraîner une réduction importante des rendements et une dégradation de la qualité commerciale des récoltes (CIP, 2023).

D) Cycle végétatif et développement de la pomme de terre

Le cycle végétatif de la pomme de terre comprend plusieurs phases successives : la germination des tubercules-semences, la levée, la croissance végétative, la tubérisation, le grossissement des tubercules et la maturation physiologique. La durée du cycle varie selon les variétés cultivées et les conditions écologiques. Les variétés précoces atteignent leur maturité en environ 90 jours tandis que les variétés tardives peuvent nécessiter plus de 150 jours (FAO, 2022).

La germination débute lorsque les tubercules-semences sont placés dans des conditions favorables d'humidité et de température. Les bourgeons développent progressivement des germes qui donneront naissance aux tiges aériennes et aux racines. Une température modérée favorise une levée homogène et une bonne croissance initiale (Rousselle et Crosnier, 2018).

La phase de croissance végétative est caractérisée par le développement des feuilles, des tiges et du système racinaire. Cette étape prépare la plante à la tubérisation qui débute généralement lorsque les conditions photopériodiques et thermiques deviennent favorables.

La tubérisation constitue une étape physiologique essentielle dans le développement de la pomme de terre. Durant cette phase, les stolons commencent à se transformer en tubercules grâce à l'accumulation des glucides produits par la photosynthèse. Les conditions environnementales, notamment l'humidité du sol et la température, influencent fortement le nombre et la taille des tubercules produits (CIP, 2023).

La maturation physiologique intervient lorsque les feuilles jaunissent progressivement et que les tubercules atteignent leur taille définitive. Après la récolte, les tubercules doivent être correctement séchés et conservés afin de limiter les pertes post-récolte liées aux maladies et aux mauvaises conditions de stockage (FAO, 2024).

I.1.2. Quelques particularités de la culture de la pomme de terre au Burundi

A) Aperçu général

La culture de la pomme de terre occupe une place importante dans le système agricole et alimentaire du Burundi. Cette culture vivrière constitue une source essentielle d'alimentation et de revenus pour de nombreux ménages ruraux. Grâce à sa forte valeur énergétique et à sa capacité d'adaptation aux régions de moyenne et haute altitude, la pomme de terre est devenue une culture stratégique dans plusieurs provinces du pays (MINEAGRIE, 2021).

Le Burundi étant un pays essentiellement agricole, une grande partie de la population dépend directement de l'agriculture de subsistance pour assurer sa survie économique et alimentaire (Institut de Statistiques et d'Études Économiques du Burundi [ISTEEBU], 2020). Dans ce contexte, la pomme de terre joue un rôle important dans la diversification alimentaire et dans l'amélioration des revenus des exploitants agricoles.

Selon le Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Élevage (MINEAGRIE, 2021), la pomme de terre fait partie des principales cultures de rente et de consommation dans les zones de haute altitude du Burundi. Cependant, la production reste confrontée à plusieurs contraintes telles que les maladies, les ravageurs, la dégradation des sols, le faible accès aux intrants agricoles et les changements climatiques.

L'augmentation de la pression démographique entraîne une exploitation intensive des terres agricoles et une diminution des périodes de jachère, ce qui contribue à la baisse progressive de la fertilité des sols (ISTEEBU, 2020). Cette situation nécessite l'adoption de pratiques agricoles durables capables d'améliorer les rendements tout en protégeant les ressources naturelles.

B) Importance économique et alimentaire de la pomme de terre au Burundi

La pomme de terre constitue un aliment important dans plusieurs régions du Burundi. Elle est consommée sous diverses formes : bouillie, frite, grillée ou transformée en purée et en farine. Grâce à sa richesse en glucides, en vitamines et en minéraux, elle contribue significativement à l'amélioration de l'alimentation des ménages (FAO, 2024a).

La culture de la pomme de terre joue également un rôle majeur dans la lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté rurale. Les tubercules constituent une importante source de calories pour les populations des zones montagneuses où les conditions climatiques favorisent sa culture (Programme Alimentaire Mondial [PAM], 2023).

Sur le plan économique, la pomme de terre représente une importante source de revenus pour les producteurs agricoles. La commercialisation des tubercules frais contribue au développement des marchés locaux et à l'amélioration des conditions de vie des ménages ruraux (Banque Africaine de Développement [BAD], 2022).

La filière pomme de terre participe également à la création d'emplois dans les domaines de la production, du transport, de la transformation et de la commercialisation. Les sous-produits issus de la culture peuvent être utilisés dans l'alimentation animale ou dans la fabrication du compost organique (FAO, 2022).

C) Conditions agroécologiques favorables à la culture de la pomme de terre

Le Burundi possède des conditions agro écologiques relativement favorables à la culture de la pomme de terre, particulièrement dans les régions de moyenne et haute altitude. Cette culture est principalement pratiquée dans les zones bénéficiant de températures modérées, d'une pluviométrie relativement abondante et de sols fertiles favorables au développement des tubercules (Institut des Sciences Agronomiques du Burundi [ISABU], 2018).

La pomme de terre exige des conditions climatiques spécifiques pour assurer une bonne croissance végétative et une tubérisation optimale. Les températures comprises entre 15°C et 20°C sont particulièrement favorables au développement de cette culture. Des températures excessivement élevées perturbent la formation des tubercules et réduisent significativement les rendements (FAO, 2022).

Les régions montagneuses du Burundi offrent généralement des conditions thermiques adaptées à la culture de la pomme de terre. Les anciennes provinces de Ngozi, Kayanza, Mwaro, Muramvya, Gitega et Bujumbura rural figurent parmi les principales zones productrices du pays (MINEAGRIE, 2021). Dans ces régions, les précipitations relativement régulières favorisent une bonne alimentation hydrique des cultures.

La pomme de terre préfère des sols meubles, profonds, riches en matière organique et bien drainés. Les sols argilo-sableux légèrement acides présentent généralement des conditions idéales pour le développement des stolons et des tubercules (Ngoyi *et al.*, 2020). Les sols compactés ou mal drainés favorisent le développement des maladies et limitent le grossissement des tubercules.

Les saisons culturales burundaises permettent généralement deux cycles de production par an grâce à l'alternance des saisons pluvieuses. Toutefois, les changements climatiques récents perturbent de plus en plus les calendriers agricoles et affectent négativement les rendements de la pomme de terre (FAO, 2025).

Dans les zones de forte pente, l'érosion hydrique constitue une contrainte importante pour la durabilité de la production agricole. Les fortes pluies provoquent souvent le lessivage des éléments nutritifs et la dégradation progressive des sols agricoles, réduisant ainsi la productivité des cultures (ISABU, 2018).

L'altitude joue également un rôle important dans la répartition géographique de la culture de la pomme de terre au Burundi. Les régions situées au-dessus de 1500 mètres d'altitude présentent généralement des conditions écologiques plus favorables à la production de tubercules de bonne qualité. Les températures fraîches observées dans ces zones limitent également le développement de certains ravageurs et maladies (Centre International de la Pomme de Terre [CIP], 2023).

En outre, l'humidité du sol doit être maintenue à un niveau relativement stable pendant les phases de tubérisation et de grossissement des tubercules. Les déficits hydriques prolongés entraînent souvent une réduction de la taille des tubercules tandis qu'un excès d'eau favorise les maladies fongiques et bactériennes (Rousselle & Crosnier, 2018).

D) Techniques culturales de la pomme de terre au Burundi

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) constitue l'une des principales cultures vivrières et de rente au Burundi, particulièrement dans les régions de haute altitude telles que les anciennes provinces de Ngozi, Kayanza, Muramvya, Gitega et Mwaro. Son importance économique et alimentaire s'explique par sa forte productivité, sa valeur nutritionnelle élevée et sa contribution à la sécurité alimentaire des ménages ruraux (ISABU, 2019 ; FAO, 2023).

La réussite de cette culture repose sur l'application de techniques culturales appropriées allant de la préparation du terrain jusqu'à la récolte et à la conservation des tubercules.

a) Préparation du sol et plantation

La pomme de terre exige des sols profonds, meubles, bien drainés et riches en matière organique. Les sols argilo-limoneux à texture légère et présentant un pH compris entre 5,0 et 6,5 sont généralement les plus favorables à son développement (CIP, 2018 ; ISABU, 2019).

Au Burundi, la préparation du terrain consiste généralement en un labour profond réalisé manuellement à la houe ou à l'aide de la traction animale dans certaines zones. Cette opération vise à ameublir le sol, favoriser le développement des tubercules et améliorer l'infiltration de l'eau (MINEAGRIE, 2021). Après le labour, les agriculteurs confectionnent souvent des billons ou des buttes qui facilitent le drainage et limitent les risques de pourriture des tubercules (FAO, 2023).

La plantation est réalisée principalement au début des saisons pluvieuses afin d'assurer une bonne levée et un développement optimal des plants. Les tubercules-semences certifiés sont recommandés en raison de leur qualité sanitaire et de leur potentiel de rendement supérieur. Selon le Centre International de la Pomme de Terre (CIP, 2018), l'utilisation de semences certifiées peut augmenter les rendements de plus de 30 % par rapport aux semences recyclées.

Les recommandations techniques préconisent généralement un espacement de 75 cm entre les lignes et de 25 à 30 cm entre les plants afin d'obtenir une densité optimale et de favoriser une bonne aération du couvert végétal (ISABU, 2019 ; Niyongabo *et al.*, 2020).

b) Fertilisation et entretien de la culture

La pomme de terre est une culture particulièrement exigeante en éléments nutritifs, notamment en azote (N), phosphore (P) et potassium (K). Dans les systèmes de production burundais, la fertilisation combine généralement l'utilisation de fumure organique et d'engrais minéraux afin d'améliorer durablement la fertilité des sols (MINEAGRIE, 2021).

L'incorporation du fumier ou du compost avant la plantation contribue à améliorer la structure du sol, sa capacité de rétention d'eau et la disponibilité des nutriments. Selon l'ISABU (2019), l'application de 10 à 20 tonnes de fumure organique par hectare permet d'améliorer significativement les rendements dans les zones de montagne.

L'entretien de la culture comprend plusieurs opérations essentielles. Le désherbage est effectué manuellement deux à trois fois au cours du cycle cultural afin de réduire la concurrence des adventices pour l'eau et les éléments nutritifs (FAO, 2023). Le buttage constitue également une pratique indispensable. Réalisé généralement deux fois durant le cycle végétatif, il consiste à ramener de la terre autour des plants afin de protéger les tubercules contre le verdissement, favoriser leur grossissement et améliorer le drainage du sol (CIP, 2018).

Dans certaines régions, les agriculteurs pratiquent également la rotation culturale avec des légumineuses telles que le haricot ou le pois. Cette pratique contribue à réduire la pression des maladies et à maintenir la fertilité des sols grâce à la fixation biologique de l'azote (ISABU, 2019 ; FAO, 2023).

c) Protection phytosanitaire

La culture de la pomme de terre est exposée à plusieurs maladies et ravageurs susceptibles de provoquer des pertes importantes de rendement. Le mildiou (*Phytophthora infestans*) demeure la maladie la plus redoutée dans les zones de production du Burundi. Les conditions climatiques caractérisées par une forte humidité et des températures modérées favorisent son développement rapide (CIP, 2018 ; ISABU, 2019).

La lutte contre le mildiou repose sur l'utilisation de variétés tolérantes, la rotation des cultures, l'élimination des résidus infectés et l'application raisonnée de fongicides lorsque cela est nécessaire (FAO, 2023).

Parmi les autres maladies importantes figurent la gale commune (*Streptomyces scabies*), la flétrissure bactérienne (*Ralstonia solanacearum*) et diverses viroses transmises par les pucerons (CIP, 2018). Les principaux ravageurs comprennent les pucerons, les chenilles défoliatrices et certains insectes du sol qui attaquent les tubercules.

L'approche de gestion intégrée des ravageurs est aujourd'hui recommandée afin de réduire les risques sanitaires tout en limitant les impacts environnementaux liés à l'usage excessif des pesticides (FAO, 2023 ; MINEAGRIE, 2021).

d) Récolte et conservation

La récolte intervient généralement entre 90 et 120 jours après la plantation, selon les variétés cultivées et les conditions agroécologiques. Les signes de maturité comprennent le jaunissement et le dessèchement du feuillage ainsi que le durcissement de la peau des tubercules (ISABU, 2019).

La récolte est effectuée manuellement à l'aide de houes ou de fourches afin de limiter les blessures mécaniques susceptibles de réduire la qualité commerciale et la durée de conservation des tubercules. Après l'arrachage, les tubercules sont triés afin d'éliminer ceux qui sont malades ou endommagés (FAO, 2023).

La conservation représente un défi majeur dans les exploitations agricoles burundaises. Les pertes post-récolte peuvent être importantes lorsque les conditions de stockage sont inadéquates. Les tubercules destinés à la consommation ou à la commercialisation doivent être conservés dans des locaux frais, bien ventilés et protégés de la lumière afin d'éviter la germination précoce et le verdissement (CIP, 2018).

L'amélioration des infrastructures de stockage et l'adoption de techniques modernes de conservation constituent des facteurs essentiels pour renforcer la rentabilité de la filière pomme de terre au Burundi (MINEAGRIE, 2021).

E) Contraintes de la culture de la pomme de terre au Burundi

Malgré son importance économique et alimentaire, la culture de la pomme de terre au Burundi est confrontée à plusieurs contraintes qui limitent sa productivité et sa contribution au développement rural.

a) Dégradation et faible fertilité des sols

La dégradation progressive des sols constitue l'une des principales contraintes de la production de pomme de terre. La forte pression démographique, la réduction des périodes de jachère et l'exploitation intensive des terres agricoles entraînent une diminution de la fertilité des sols (MINEAGRIE, 2021).

Dans les zones montagneuses où se concentre la culture de la pomme de terre, l'érosion hydrique provoque d'importantes pertes de matière organique et d'éléments nutritifs, réduisant ainsi les rendements agricoles (ISABU, 2019). La faible disponibilité de fumure organique et le coût élevé des engrais chimiques aggravent davantage cette situation.

b) Maladies et ravageurs

Les maladies et ravageurs représentent une menace majeure pour la filière pomme de terre au Burundi. Le mildiou demeure la maladie la plus destructrice et peut entraîner des pertes de rendement supérieures à 70 % lorsque les conditions climatiques sont favorables et que les mesures de lutte sont insuffisantes (CIP, 2018).

La flétrissure bactérienne, les viroses et la gale commune figurent également parmi les maladies les plus fréquentes dans les principales zones de production (ISABU, 2019). Ces maladies affectent non seulement les rendements mais également la qualité commerciale des tubercules.

Les pucerons, les nématodes et divers insectes du sol causent également des dégâts importants en favorisant la transmission de maladies ou en attaquant directement les tubercules (FAO, 2023).

c) Accès limité aux semences de qualité et aux intrants agricoles

L'insuffisance de semences certifiées constitue l'une des principales contraintes de la production de pomme de terre au Burundi. De nombreux producteurs continuent à utiliser des tubercules provenant des récoltes précédentes, souvent contaminés par des maladies dégénératives qui réduisent progressivement les rendements (CIP, 2018).

L'accès limité aux engrais minéraux, aux produits phytosanitaires et aux équipements agricoles modernes demeure également un obstacle important au développement de la filière. Cette situation est principalement liée aux coûts élevés des intrants et à la faiblesse des systèmes de financement agricole (BAD, 2022 ; MINEAGRIE, 2021).

d) Insuffisance des infrastructures de stockage et de commercialisation

Les pertes post-récolte demeurent élevées en raison du manque d'infrastructures adaptées de stockage. Dans plusieurs localités, les producteurs conservent encore leurs récoltes dans des conditions précaires favorisant les attaques de ravageurs, la germination prématurée et les pourritures (FAO, 2023).

Par ailleurs, l'insuffisance des infrastructures routières dans certaines zones de production complique l'écoulement des produits vers les marchés de consommation et augmente les coûts de transport (BAD, 2022).

e) Changements climatiques

Les changements climatiques affectent de manière croissante la culture de la pomme de terre au Burundi. Les variations des régimes pluviométriques, les sécheresses prolongées, les pluies excessives et les phénomènes météorologiques extrêmes perturbent les calendriers agricoles et réduisent la productivité des exploitations (FAO, 2024).

Les fortes précipitations favorisent le développement du mildiou et accentuent l'érosion des sols, tandis que les périodes de sécheresse limitent la croissance des plants et réduisent la formation des tubercules (ISABU, 2019).

Selon la FAO (2024), les effets des changements climatiques augmentent également la vulnérabilité des systèmes agricoles burundais aux maladies émergentes et aux ravageurs.

Face à ces défis, les programmes de développement agricole encouragent l'adoption de pratiques d'agriculture climato-intelligente, notamment l'utilisation de variétés tolérantes aux stress climatiques, la conservation des eaux et des sols, le paillage, l'agroforesterie et le développement de systèmes d'irrigation adaptés (FAO, 2024 ; MINEAGRIE, 2021).

I.2. Considérations générales sur les fertilisants de la pomme de terre

I.2.1. Aperçu général

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) constitue l'une des cultures vivrières les plus importantes dans le monde en raison de sa valeur nutritionnelle, de sa forte productivité et de son rôle dans la sécurité alimentaire mondiale. Elle représente une source essentielle de glucides, de protéines, de vitamines et de minéraux pour plusieurs millions de personnes, particulièrement dans les pays en développement (FAO, 2024). En Afrique subsaharienne, la culture de la pomme de terre connaît une expansion rapide grâce à son cycle végétatif relativement court et à sa capacité de générer des revenus importants pour les petits exploitants agricoles (CIP, 2023).

Cependant, la production de la pomme de terre demeure fortement limitée par plusieurs contraintes agroécologiques et pédologiques, notamment la faible fertilité des sols, l'érosion, les maladies, les ravageurs et les mauvaises pratiques de fertilisation (Vanlauwe *et al.*, 2019). Dans plusieurs régions tropicales, les sols agricoles sont caractérisés par une faible teneur en matière organique et une disponibilité limitée en éléments nutritifs essentiels, ce qui réduit considérablement les rendements agricoles.

La pomme de terre étant une culture fortement exigeante en nutriments, une gestion rationnelle de la fertilisation constitue un facteur déterminant pour améliorer la productivité et la qualité des tubercules (Kolech *et al.*, 2015). L'utilisation combinée des fertilisants organiques et minéraux permet non seulement d'augmenter les rendements mais également d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (Palm *et al.*, 2019).

Les fertilisants minéraux fournissent rapidement les éléments nutritifs directement assimilables par les plantes tandis que les fertilisants organiques améliorent la structure du sol, stimulent l'activité microbiologique et augmentent la capacité de rétention en eau (Rousselle et Crosnier, 2018). La fertilisation intégrée apparaît ainsi comme une approche durable permettant d'assurer une production agricole stable tout en préservant la fertilité des sols et l'environnement.

I.2.2. Biologie et exigences nutritionnelles de la pomme de terre

La pomme de terre est une culture particulièrement exigeante en éléments nutritifs en raison de sa croissance rapide, de sa forte production de biomasse et de son importante capacité d'exportation des éléments minéraux par les tubercules (Darpoux, 1967). Les besoins nutritionnels de cette culture varient selon les stades de développement, les variétés cultivées, les conditions pédoclimatiques et les objectifs de rendement (Kolech *et al.*, 2015).

L'azote (N) joue un rôle fondamental dans la synthèse des protéines, des enzymes et de la chlorophylle. Il favorise le développement foliaire, la croissance végétative et l'accumulation de biomasse, influençant directement le rendement final des tubercules (Yimer et Kebede, 2022). Une carence en azote entraîne généralement un jaunissement des feuilles, un retard de croissance et une diminution importante de la production. Toutefois, un excès d'azote peut favoriser un développement excessif du feuillage au détriment de la tubérisation, retardant ainsi la maturation des tubercules (Rousselle et Crosnier, 2018).

Le phosphore (P) intervient dans le développement racinaire, la formation des stolons et les mécanismes de transfert énergétique à travers la synthèse de l'ATP. Il joue également un rôle important dans la précocité de la culture et dans la formation des tubercules (Soltner, 2012). Une carence en phosphore provoque souvent un faible développement racinaire et une réduction du nombre de tubercules produits (Liu, 2020).

Le potassium (K) est l'élément nutritif le plus absorbé par la pomme de terre. Il participe à la régulation de la pression osmotique, à la photosynthèse, au transport des glucides et à l'amélioration de la qualité des tubercules (Radicetti *et al.*, 2025). Le potassium augmente également la résistance des plantes au stress hydrique, aux basses températures et à certaines maladies (Chaux, 1994). Une alimentation suffisante en potassium améliore la teneur en matière sèche ainsi que la conservation post-récolte des tubercules.

Les éléments secondaires comme le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S) interviennent également dans plusieurs fonctions physiologiques essentielles. Le calcium participe à la stabilité des membranes cellulaires et renforce la résistance aux maladies tandis que le magnésium constitue un composant central de la chlorophylle nécessaire à la photosynthèse (Palm *et al.*, 2019).

Les oligoéléments tels que le zinc (Zn), le bore (B), le cuivre (Cu), le manganèse (Mn) et le fer (Fe) jouent un rôle important dans l'activation enzymatique, la synthèse hormonale et les mécanismes de défense des plantes (FAO, 2022). La disponibilité de ces éléments dépend fortement des caractéristiques physico-chimiques du sol, notamment du pH, de la texture, de la teneur en matière organique et de l'activité microbiologique.

Une gestion équilibrée de la fertilisation est donc indispensable pour satisfaire les besoins nutritionnels élevés de la pomme de terre et garantir des rendements élevés et de bonne qualité (Vanlauwe *et al.*, 2019).

A) Fertilisation minérale

a) Besoins nutritifs

La pomme de terre est une culture particulièrement exigeante en éléments minéraux. Ses besoins nutritifs sont dominés par le potassium, suivi de l'azote et du phosphore (Rousselle *et al.*, 1996). Les éléments secondaires tels que le calcium, le magnésium et le soufre sont également nécessaires en quantités appréciables pour assurer une croissance normale et une bonne qualité des tubercules (Soltner, 2012).

Environ 50 % des éléments nutritifs sont absorbés pendant la phase de tubérisation, période durant laquelle les besoins nutritionnels de la plante deviennent particulièrement élevés (Darpoux, 1967). Une alimentation minérale insuffisante pendant cette phase critique entraîne une diminution importante du rendement et de la qualité commerciale des tubercules.

Le tableau ci-dessous présente les besoins minéraux moyens de la pomme de terre.

Tableau 1: Besoins minéraux de la pomme de terre

Eléments	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S	Fe	Mn	Cu	Bore	Zn	Mb
Tubercule (kg/t)	3,2	1,6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plante entière	3 à 4,5	0,8 à 1,7	4,1 à 8,5	15 à 30	40 à 50	10 à 25	100	50	60	80 à 100	80 à 150	0,8

Source : Rousselle *et al.* (1996) ; Fatma & Thème (2008).

b) Rôles des éléments nutritifs minéraux

1°) Azote

L'azote est un élément fondamental dans la synthèse des protéines, des enzymes et de la chlorophylle. Il favorise la croissance végétative, le développement foliaire et la formation des tubercules (Gondwe *et al.*, 2020). Il intervient également dans les processus de division cellulaire et dans l'accumulation des réserves organiques.

Cependant, des apports excessifs d'azote retardent souvent la tubérisation et favorisent un développement excessif des parties aériennes au détriment des tubercules, réduisant ainsi la qualité et la teneur en matière sèche des récoltes (Rousselle et Crosnier, 2018).

2°) Phosphore

Le phosphore stimule le développement racinaire et favorise la formation des stolons et des tubercules. Il intervient dans la synthèse de l'ATP, indispensable aux mécanismes énergétiques de la plante (Liu, 2020). Le phosphore améliore également la précocité de la culture et la résistance des tissus végétaux (Soltner, 2012).

3°) Potassium

Le potassium joue un rôle majeur dans la régulation hydrique, la synthèse des glucides et le transport des assimilats vers les tubercules (Chaux, 1994). Il améliore la résistance des plantes au froid, à la sécheresse et aux maladies tout en augmentant la qualité technologique et la conservation des tubercules après récolte (Radicetti *et al.*, 2025).

c) Exigences de la pomme de terre en éléments minéraux

La pomme de terre est très exigeante en azote, phosphore, potassium, magnésium et calcium en raison de son cycle végétatif intense et relativement court variant généralement entre 90 et 200 jours selon les variétés cultivées (Darpooux, 1967).

Les besoins nutritifs augmentent proportionnellement avec les rendements. Les exportations minérales par les tubercules sont particulièrement élevées pour le potassium, suivi de l'azote et du phosphore (Crosnier, 1975).

Selon Darpooux (1967), les exportations moyennes par tonne de tubercules produite sont de :

- 3,2 à 5 kg d'azote ;
- 1,6 à 2 kg d'acide phosphorique ;
- 6 à 10 kg de potasse ;
- 0,4 à 0,8 kg de magnésie ;
- 2 à 4,3 kg de chaux ;
- 0,3 kg de soufre.

La pomme de terre peut absorber des quantités très importantes de potassium lorsque le sol en est suffisamment pourvu, réalisant ainsi une consommation de luxe pouvant entraîner des exportations supérieures à 300 kg/ha (Rousselle *et al.*, 1996).

Les exigences nutritionnelles de la culture dépendent du rendement attendu, du type de sol, des conditions climatiques et du potentiel nutritif du milieu (Kolech *et al.*, 2015).

B) Fertilisation organique

La fertilisation organique occupe une place importante dans les systèmes de production de la pomme de terre, particulièrement dans les exploitations agricoles familiales où l'accès aux engrais minéraux reste limité (Palm *et al.*, 2019).

L'utilisation du fumier améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Il augmente la capacité de rétention en eau, améliore l'aération du sol, stimule l'activité microbiologique et favorise une meilleure disponibilité des éléments nutritifs (Houidi et Ahmadi, 2007).

Le fumier doit être appliqué suffisamment tôt avant la plantation afin de permettre une bonne décomposition de la matière organique et une minéralisation progressive de l'azote organique (FAO, 2022).

Les doses recommandées varient selon la fertilité du sol :

- 20 à 35 t/ha pour les sols riches en matière organique ;
- 25 à 30 t/ha pour les sols moyennement pourvus (Rousselle et al., 1996).

Le fumier fournit les principaux éléments nutritifs nécessaires à la culture mais en quantités relativement faibles. Une tonne de fumier bien décomposé contient en moyenne :

- 1 à 2 kg d'azote ;
- 2 à 3 kg d'acide phosphorique ;
- 3 à 5 kg de potasse (Houidi et Ahmadi, 2007).

L'association de la fertilisation organique et minérale permet généralement d'obtenir de meilleurs rendements tout en améliorant durablement la fertilité des sols (Vanlauwe *et al.*, 2019).

I.2.3. Fertilisants organiques : caractéristiques et effets

A) Avantages agronomiques

Les fertilisants organiques, tels que le fumier, le compost, le vermicompost et les résidus végétaux, améliorent significativement la fertilité chimique, physique et biologique des sols. Leur application contribue à l'augmentation de la porosité, de la capacité de rétention d'eau et de la perméabilité du sol, créant un environnement favorable à la croissance racinaire (Yimer & Kebede, 2022). L'activité microbienne est stimulée, entraînant une minéralisation progressive des nutriments, ce qui assure une disponibilité continue de N, P et K pour la culture (Radicetti *et al.*, 2025). Des études expérimentales montrent que l'application de compost ou de fumier augmente la hauteur des plants, le nombre de tiges, le nombre et le poids moyen des tubercules, améliorant ainsi le rendement global (Oli, 2023). Les fertilisants organiques renforcent également la capacité tampon du sol, limitant l'acidification et l'accumulation excessive de sels, et contribuent à la durabilité à long terme des systèmes de culture en enrichissant la matière organique du sol et en soutenant la biodiversité microbienne.

B) Limites et contraintes

Malgré leurs avantages, les fertilisants organiques présentent certaines limites. Leur libération de nutriments dépend fortement de la minéralisation microbienne, influencée par la température, le pH et la texture du sol, ce qui peut ne pas répondre rapidement aux besoins nutritionnels élevés de la pomme de terre (Palm *et al.*, 2019). De plus, pour atteindre des apports nutritifs suffisants, de grandes quantités de matière organique doivent être appliquées, ce qui peut être coûteux et difficile à gérer, surtout pour les petits exploitants. La qualité des fertilisants organiques peut varier selon la source et le mode de compostage, affectant leur valeur nutritive et leur efficacité agronomique (Yimer & Kebede, 2022). Enfin, l'apport organique seul peut ne pas suffire à assurer un rendement optimal, nécessitant la combinaison avec des engrais minéraux pour répondre aux besoins nutritionnels rapides et spécifiques de la pomme de terre (Oli, 2023).

I.2.4. Fertilisants minéraux : rôle et impacts

A) Efficacité agronomique

Les fertilisants minéraux fournissent des nutriments rapidement disponibles, assurant une croissance optimale et une réponse rapide aux besoins de la plante (Liu, 2020). L'azote minéral stimule la production de biomasse végétative, le phosphore améliore le développement racinaire et la formation des tubercules, tandis que le potassium favorise la taille et la qualité des tubercules (Radicetti *et al.*, 2025). L'usage ciblé d'engrais minéraux permet d'atteindre des rendements plus élevés sur de courtes périodes et de répondre aux exigences nutritionnelles spécifiques lors des stades critiques, notamment pendant la tubérisation. Les essais expérimentaux démontrent que les engrais minéraux augmentent significativement le rendement, la taille des tubercules et la productivité globale des cultures, surtout lorsque les sols sont initialement déficients en éléments nutritifs (Singh *et al.*, 2024).

B) Limites et risques

L'utilisation exclusive d'engrais minéraux présente plusieurs risques. Elle peut provoquer un déséquilibre nutritionnel, affectant l'absorption d'autres éléments essentiels et dégradant la fertilité biologique et physique des sols (Lal, 2020). Les apports répétés peuvent entraîner l'accumulation de sels et l'acidification du sol, réduisant sa capacité de rétention d'eau et sa structure. Les pertes par lessivage et volatilisation peuvent contaminer les eaux souterraines et superficielles, posant des problèmes environnementaux significatifs.

De plus, l'utilisation intensive de fertilisants minéraux est souvent coûteuse, ce qui limite son accessibilité pour les petits exploitants. Ainsi, une utilisation équilibrée, souvent combinée avec des fertilisants organiques, est nécessaire pour optimiser le rendement tout en minimisant les impacts négatifs sur le sol et l'environnement (Yimer et Kebede, 2022).

I.2.5. Gestion intégrée des nutriments (INM)

A) Principes et justification

L'Integrated Nutrient Management (INM) combine les avantages des fertilisants organiques et minéraux pour maximiser le rendement et maintenir la santé du sol (Vanlauwe *et al.*, 2019). Cette approche vise à améliorer l'efficacité d'utilisation des nutriments, à maintenir la matière organique du sol et à réduire les pertes environnementales. L'intégration organique-minérale permet de libérer progressivement les nutriments tout en assurant une disponibilité immédiate des éléments essentiels grâce aux engrais chimiques. Elle contribue également à renforcer la structure du sol, sa capacité de rétention d'eau et l'activité microbienne. Plusieurs études démontrent que l'INM augmente significativement le rendement, la qualité des tubercules et la durabilité des systèmes de culture (Girma *et al.*, 2020).

B) Preuves expérimentales

Des essais réalisés en Afrique et en Asie ont montré que l'INM améliore le rendement de la pomme de terre comparé à l'utilisation exclusive de fertilisants organiques ou minéraux. Par exemple, l'intégration de fumier et d'engrais minéraux a doublé parfois la productivité dans des sols acides, tout en augmentant l'efficacité d'utilisation de l'azote et la qualité des tubercules (Oli, 2023). L'association compost+NPK a également été rapportée pour améliorer le nombre de tubercules, le poids moyen et la teneur en amidon des tubercules (Singh *et al.*, 2024). Ces résultats confirment que la combinaison organique-minérale est plus efficace et durable, offrant une solution équilibrée pour optimiser rendement et fertilité des sols dans des conditions locales variées (Yimer et Kebede, 2022).

I.2.6. Mécanismes biologiques sous-jacents à la fertilisation intégrée

A) Microbiologie et transformation des nutriments

La fertilisation intégrée agit non seulement sur l'apport direct de nutriments, mais aussi sur la **dynamique biologique du sol**. Les fertilisants organiques stimulent la croissance et l'activité des micro-organismes du sol, tels que les bactéries nitrifiantes, les champignons saprophytes et les actinomycètes, qui décomposent la matière organique et libèrent progressivement des éléments nutritifs essentiels comme le N, le P et le K (Radicetti *et al.*, 2025). Cette minéralisation progressive permet une disponibilité continue des nutriments, synchronisée avec les besoins de la culture. Parallèlement, les fertilisants minéraux fournissent rapidement les nutriments immédiatement assimilables. L'interaction organique-minérale favorise un équilibre écologique et nutritionnel, limitant les pertes par lessivage et volatilisation et améliorant la rétention des nutriments dans le complexe absorbant du sol. Ainsi, l'INM optimise l'absorption racinaire, soutient la croissance végétative et tubérisation et contribue à la durabilité des systèmes de culture (Yimer et Kebede, 2022).

B) Effets complémentaires des sources de fertilisation

L'association de fertilisants organiques et minéraux crée des **effets synergiques**. Les nutriments libérés lentement par la matière organique complètent les nutriments immédiatement disponibles via les engrais minéraux, améliorant ainsi la croissance et le rendement des cultures (Oli, 2023). Cette combinaison contribue à l'amélioration de la structure du sol, de la porosité et de la capacité de rétention d'eau, tout en stimulant la diversité microbienne et la résilience écologique (Radicetti *et al.*, 2025). L'efficacité de l'azote et des autres nutriments est accrue grâce à la réduction des pertes par lessivage et volatilisation. L'INM permet également de maintenir un pH optimal, réduit la salinisation et prévient la dégradation à long terme des sols fertiles. Les essais expérimentaux démontrent que ces effets combinés se traduisent par une augmentation significative du nombre et du poids moyen des tubercules, ainsi que par une amélioration de la qualité des tubercules, notamment la teneur en amidon et la résistance au stockage (Singh *et al.*, 2024).

I.2.7. Impacts économiques et durabilité de l'INM

L'adoption de l'INM influence non seulement la productivité mais aussi la rentabilité et la durabilité des systèmes agricoles. Les fertilisants organiques, souvent disponibles localement, permettent de réduire la dépendance aux engrais minéraux coûteux et de diminuer les dépenses en intrants (Girma *et al.*, 2020). L'intégration organique-minérale maximise le rendement par unité de surface, améliorant le revenu net des exploitants tout en maintenant ou en augmentant la fertilité des sols à long terme (Vanlauwe *et al.*, 2019). Des études montrent que les petits exploitants utilisant des pratiques INM ont obtenu une augmentation moyenne de 25 à 40 % du rendement de la pomme de terre par rapport à l'usage isolé de fertilisants minéraux (Oli, 2023).

Sur le plan environnemental, l'INM réduit les risques de pollution des eaux par lessivage de nitrates et phosphates, tout en maintenant la biodiversité du sol et les cycles biogéochimiques (Palm *et al.*, 2019). Elle contribue également à la résilience climatique des cultures en améliorant la capacité de rétention d'eau du sol et en limitant les effets des stress hydriques. Ces bénéfices économiques et environnementaux font de l'INM une stratégie durable, particulièrement adaptée aux conditions pédoclimatiques de la province de Karusi, où la fertilité du sol varie et la dépendance aux intrants chimiques est limitée par le pouvoir d'achat des agriculteurs (Yimer et Kebede, 2022). Ainsi, l'INM offre une solution intégrée pour concilier rendement, rentabilité et durabilité des systèmes de production de pomme de terre.

I.2.8. Limites et défis de l'INM

Malgré ses avantages, la mise en œuvre de l'INM comporte plusieurs défis. Premièrement, la disponibilité et la qualité des fertilisants organiques restent souvent limitées pour les petits exploitants. Les variations dans la teneur en nutriments, l'humidité et la stabilité du compost ou du fumier peuvent réduire l'efficacité agronomique (Palm *et al.*, 2019). Deuxièmement, la planification de l'application combinée exige des connaissances techniques et une gestion précise des doses et du calendrier, ce qui n'est pas toujours accessible aux producteurs locaux (Singh *et al.*, 2024). Troisièmement, les conditions pédoclimatiques locales, notamment la texture du sol, le pH, la disponibilité en eau et la température, influencent fortement la minéralisation des fertilisants organiques et l'absorption des nutriments par la plante. Les essais doivent donc être adaptés aux spécificités locales, comme à Karusi, pour garantir l'efficacité (Oli, 2023). Quatrièmement, l'INM peut nécessiter un investissement initial en main-d'œuvre pour l'achat, le transport et l'application de grandes quantités de matière organique.

Enfin, l'évaluation économique et environnementale des pratiques reste limitée dans certaines régions, ce qui rend difficile l'adoption à grande échelle. La sensibilisation, la formation et l'appui technique des institutions agricoles sont essentiels pour surmonter ces défis et encourager une adoption généralisée et durable de l'INM (Girma *et al.*, 2020 ; Vanlauwe *et al.*, 2019).

I.2.9. Synthèse sur les fertilisants de la pomme de terre

La littérature scientifique souligne que la pomme de terre nécessite un **apport équilibré en nutriments essentiels** pour atteindre des rendements optimaux. Les fertilisants organiques améliorent la structure, la fertilité et l'activité biologique du sol, mais leur libération lente peut limiter la réponse rapide des cultures (Palm *et al.*, 2019). Les engrais minéraux offrent des nutriments immédiatement disponibles mais présentent des risques environnementaux et économiques lorsqu'ils sont utilisés seuls (Lal, 2020).

La **gestion intégrée des nutriments (INM)**, combinant organiques et minéraux, s'impose comme la stratégie la plus efficace pour optimiser rendement, qualité des tubercules et durabilité des sols (Girma *et al.*, 2020 ; Yimer et Kebede, 2022). Les mécanismes biologiques sous-jacents, incluant la stimulation microbienne, la minéralisation progressive et l'amélioration de la rétention des nutriments, permettent une synchronisation entre l'offre et les besoins nutritionnels de la plante (Radicetti *et al.*, 2025).

Enfin, les avantages économiques, environnementaux et agronomiques de l'INM sont largement documentés. Cependant, sa mise en œuvre est confrontée à des défis logistiques, économiques et techniques, nécessitant un accompagnement institutionnel et des formations adaptées (Singh *et al.*, 2024). Les résultats expérimentaux confirment que la combinaison organique-minérale maximise rendement, efficience nutritive et durabilité, justifiant son adoption pour les systèmes de culture de pomme de terre dans des zones comme Karusi.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1. Présentation du site d'expérimentation

L'étude a été réalisée dans les champs d'expérimentation de l'ISABU de la station régionale de recherche de Karusi (SRR Karusi). Cette station de recherche a été créée par décret présidentiel n° 100/202 du 15 Septembre 2014, portant réorganisation de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) et se trouve dans l'ancienne commune de Buhiga sur la colline de Buhinyuza. Les activités de ladite station couvrent un territoire étendu sur la zone agro écologique dite plateaux centraux secs ; couvrant partiellement les anciennes provinces de Muyinga ; Karusi ; Cankuzo ; Ruyigi ; Gitega ; Rutana ; et Makamba. Elle se situe dans l'ancienne province de Karusi au centre du pays dans la région naturelle de Kirimiro à environ 1,5 km du bureau de l'ancienne province de Karusi. La station se localise par les coordonnées suivant E03°05'3488424'' de latitude, E 30°10'1607628'' de longitude et 1560 m d'altitude. Afin de situer la zone d'étude, une carte de localisation du site d'expérimentation a été réalisée (Figure 1). Elle présente l'emplacement exact de la parcelle expérimentale dans la commune de Buhiga, province de Karusi, ainsi que les principaux éléments du paysage environnant, notamment le réseau routier, les cours d'eau et les limites administratives. Cette localisation géographique constitue une étape importante dans la description du milieu d'étude, car elle facilite la compréhension des conditions environnementales susceptibles d'influencer le déroulement de l'expérimentation et les performances observées .

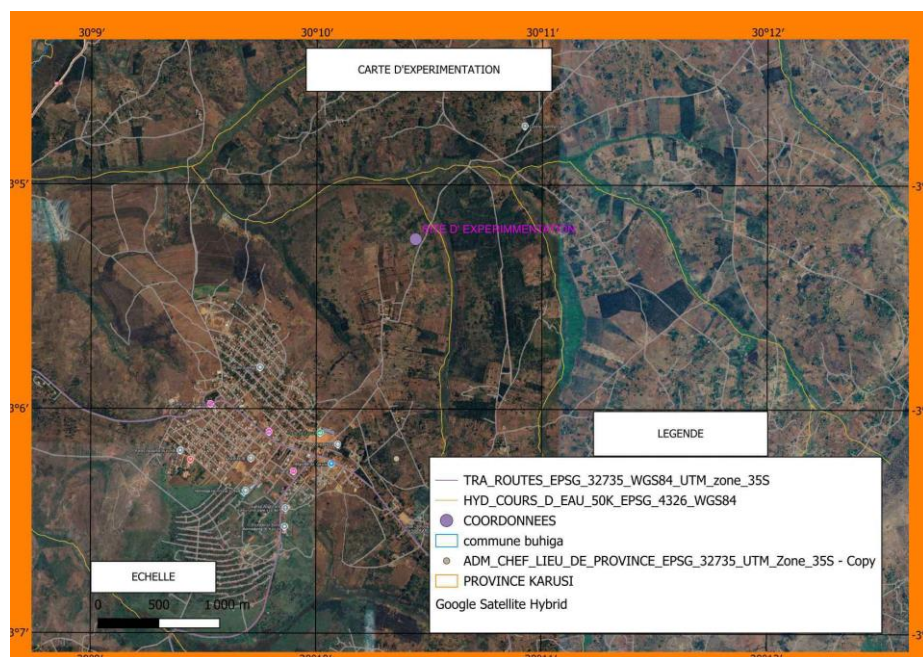


Figure 1:Caractéristiques géographiques du site expérimental

Le terrain sur lequel il a été installé des traitements était un terrain en ouverture forestier avec la dominance de l'eragrostis ainsi que les autres espèces d'arbres diversifiés (figure 5). Le pH du sol était de 4,7 (pH trouvé après une analyse effectuée au laboratoire de la faculté des sciences de l'Université du Burundi). La parcelle présente une légère pente qu'on a prise en considération lors de l'élaboration du dispositif expérimental



Figure 2: Végétation du terrain avant la mise en place de l'expérimentation

Les caractéristiques climatiques (précipitations et températures moyennes) du site d'essai sur le cycle végétatif sont résumées dans le tableau suivant

Tableau 2: précipitations et températures moyennes mensuelles

Année	Mois	Total des precipitations mensuelles	T MAX	TMIN
2024	12	239.6	25.9	15.9
2025	1	70.2	26.4	15.3
2025	2	37.7	27.7	15.3
2025	3	126.3	26.3	15.9
2025	4	121.7	25.6	15.4

Source : IGEBU

II.2. Les intrants utilisés

Les engrais FOMI Imbura, KCl, urée, DAP, Fumier de vache et compost COEJEEBU ont été utilisés lors de l'étude.

II.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé lors de l'expérimentation était la variété Rutambiro (**Kenya Mpya**). La semence (tubercule) a été achetée à l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) et a été produit au Centre d'Innovation de Nyakararo (CI Nyakararo) de la Station Régionale de Recherche de Gisozi (SRR Gisozi). Cette variété est décrite dans les paragraphes suivants.

Formule UPOV de description variétale

Nom botanique	: <i>Solanum tuberosum</i> L.
Nom commun	: Pomme de terre
Nom de la variété	: Kenya Mpya
Type	: Clone
Obtenteur	: ISABU
Mainteneur	: ISABU
Centre d'Origine	: CIP
Code d'origine	: 393371.58
Date d'homologation	: 2017
Date d'inscription de la variété	: le 24/08/2017
N° d'enregistrement	: 111
Service qui a effectué l'examen	: DHVRS/ONCCS
Station et lieux d'examen	: Gisozi et Munanira
Zone de culture	: 1200 à 2200 m d'altitude
Période d'examen	: Du 16 Novembre 2016 au 26 Juin 2017
Rendement potentiel	: 40 à 50 T/ha
Cycle végétatif	: 89 à 99 jours
Période de dormance	: 84 jours

II.2.2. Engrais minéraux et organiques utilisés

A) Engrais organiques

Le compost COEJEBU (tableau 4) est une innovation des jeunes entrepreneurs qui ont mis ensemble leurs moyens après avoir reçu un financement de PAEEJ. Ce compost est composé du fumier de vache, la paille du riz et *Tithonia diversifolia*.

Le fumier de ferme bien décomposé a été également utilisé tout en suivant les recommandations du Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE).

Tableau 3: Caractéristiques physicochimiques des amendements organiques utilisés dans l'étude (Compost ternaire et fumier de vache)

Paramètres	Compost ternaire	Fumier de vache
Carbone organique(%)	12.8	11.10
Azote total(%)	1.11	1.27
Rapport C/N	11.00	8.74
pH	9.7	8.17
Conductivité électrique(dSm ⁻¹)	2.01	ND
P ₂ O ₅ (%)	0.95	1.31
K ₂ O(%)	2.87	0.95
MgO(%)	0.70	1.35
CaO(%)	1.69	ND
Co(mg.kg ⁻¹) (%)	3.55	ND

B) Engrais minéraux

Les engrais minéraux utilisés sont DAP, Urée et KCl.

II. 3. Méthodologie utilisée

II.3.1. Dispositif expérimental

L'essai a été mis en place le 21 décembre 2024 sur le site expérimental retenu pour l'étude. Le dispositif expérimental adopté était un Bloc Aléatoire Complet (BAC) ou Randomized Complete Block Design (RCBD), comprenant trois répétitions (blocs) et huit traitements correspondant à différents niveaux de combinaison de fertilisants organiques et minéraux appliqués à la culture de la pomme de terre.

Les huit traitements ont été répartis de manière aléatoire dans chacun des trois blocs afin de minimiser l'influence de l'hétérogénéité du terrain et d'améliorer la précision des résultats expérimentaux. Chaque traitement était ainsi représenté une fois dans chaque bloc, portant le nombre total de parcelles expérimentales à vingt-quatre (24).

Chaque bloc mesurait 47 m de longueur sur 5 m de largeur, soit une superficie de 235 m². La parcelle élémentaire avait une dimension de 5 m × 4 m, correspondant à une superficie de 20 m². Les blocs étaient séparés par une allée de 1 mètre afin de faciliter les opérations culturales, les observations et la collecte des données tout en limitant les interférences entre les traitements.

La plantation a été réalisée manuellement en déposant un tubercule-semence par poquet. Les plants étaient espacés de 50 cm sur la ligne et de 80 cm entre les lignes, conformément aux recommandations techniques pour la culture de la pomme de terre dans les conditions agroécologiques de la région.

Cet écartement visait à assurer une densité de plantation adéquate favorisant une bonne croissance végétative, un développement optimal des tubercules et une meilleure exploitation des ressources du milieu.

Les traitements expérimentaux consistaient en différentes doses et combinaisons de fertilisants organiques et minéraux appliqués selon le protocole défini pour l'étude. L'objectif était d'évaluer leur effet sur la croissance, le développement et le rendement de la pomme de terre, ainsi que sur certains paramètres agronomiques et économiques de la culture.

La Figure 4 présente le schéma du dispositif expérimental illustrant la disposition des traitements dans les différents blocs.

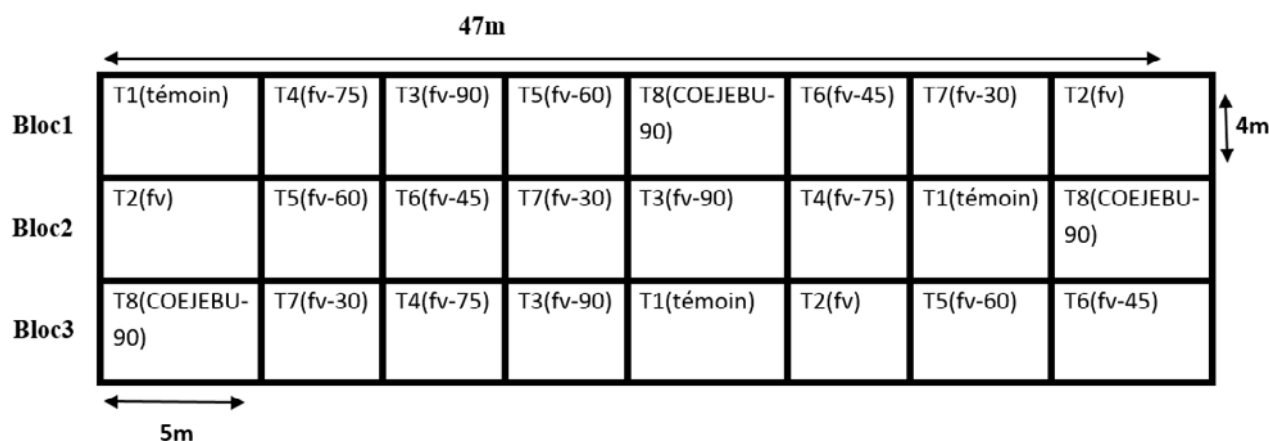


Figure 3: Schéma du dispositif expérimental

II.3.2. Choix et préparation du terrain d'essai

A) Identification du terrain

Lors de l'identification du terrain, on est passé dans les différents terrains de la station régionale de Karusi, Centre d'innovation de Karusi pour essayer de choisir un terrain homogène à l'œil nu surtout au niveau de la texture du sol et de la couverture végétale. C'est à ce même jour qu'on a fait l'échantillonnage du sol afin de procéder aux analyses du pH.

B) Travail du sol

Après l'identification et le choix du terrain, on a procédé à la préparation du terrain caractérisée par:

- Le défrichage, qui est une opération agricole qui consiste à enlever la végétation naturelle (arbres, buissons, herbes) d'une parcelle de terre afin de préparer le sol pour une culture agricole ou un autre usage.
- Le dessouchage qui est le processus d'élimination des souches d'arbres après l'abattage d'un arbre. C'est une étape importante dans les projets d'aménagement paysage, de défrichage ou de mise en culture d'un terrain.

C) Chaulage

La méthode d'application qu'on a utilisée est l'épandage manuel : si le terrain est de taille réduite, la chaux peut être étalée manuellement. Cela a nécessité une attention particulière pour garantir une répartition uniforme. Dans le cas de cette étude, on a utilisé 2 tonnes de chaux par hectare. Cette quantité est souvent déterminée en fonction de la sévérité de l'acidité du sol.

L'application de la chaux est une étape cruciale pour améliorer les propriétés du sol et favoriser une culture de pomme de terre réussie, surtout dans des sols ferralitiques acides. En utilisant deux tonnes par hectare, on a pris une mesure importante pour optimiser la fertilité du sol.

D) La fertilisation

La fertilisation consiste à apporter les fertilisants aux plantes sous forme d'engrais simples ou composés. Elle a pour rôle d'assurer à la plante une alimentation correspondante à ses besoins en complétant les fournitures du sol.

Ainsi les doses qui ont été testées sont reprises dans le tableau 3

Tableau 4:Formulation des engrais

Traitement	Quantité de fertilisant en kilogramme (kg) par hectare				
	Fumier de vache	COEJEBU	P ₂ O ₅	N	K ₂ O
T1	0	0	0		
T2	20000	0	0		
T3	20000	0	90	60	60
T4	20000	0	75	60	60
T5	20000	0	60	60	60
T6	20000	0	45	60	60
T7	20000	0	30	60	60
T8	0	5000	90	60	60

Où :

T1 : Sans fumure

T2 : fumier de vache

T3 : 20 tonnes/ha du fumier de vache/ha+195kg de DAP /ha+100kg de KCl/ha+55kg de l'urée /ha (fv+60-90-60)

T4 : 20 tonnes du fumier de vache/ha+163 kg de DAP /ha +100kg de KCl +68 kg de l'urée /ha (fv+ 60-75-60)

T5 : 20 tonnes du fumier de vache/ha+ 130 kg de DAP /ha +100kg de KCl +80 kg de l'urée /ha (fv+ 60-60-60)

T6 : 20 tonnes du fumier de vache/ha+ 98 kg de DAP /ha + 100kg de KCl +92 kg de l'urée /ha (fv+60-45-60)

T7 : 20 tonnes du fumier de vache/ha+ 65kg de DAP /ha +100kg de KCl +110 kg de l'urée /ha (fv+60-30-60 : imbura seulement)

T8 :5 tonnes/ha du compost COEJEBU+195 kg de DAP /ha +100kg de KCl +55 urée (60-90-60).

E) Les traitements phytosanitaires

Le cycle biologique de la plante peut se trouver profondément perturbé, d'une part sous l'action pathogène de certains organismes vivants d'autre part sous l'effet défavorable d'agents extérieurs. Les maladies d'origine parasitaire sont provoquées par le développement, au sein même des tissus de la plante, de champignon, bactéries, virus et autres agents pathogènes. Les traitements fongicides en cours de végétation ont été utilisés contre le mildiou chaque fois que de besoin.

II.3.3. Paramètres mesurés

Le pH du sol avant la plantation, différents paramètres de croissance et de production au cours du cycle de la plante et à la récolte ont été mesurés.

A) Les Paramètres de croissance

Les mesures ont été portées sur les caractères de 24 plants choisis dans chacune des parcelles élémentaires aux stades de 40, 54, 68 et 82 jours après plantation (JAP). Elles ont été portées sur la hauteur de la tige principale et le comptage du nombre de tiges par poquet.

a) Hauteur finale de la tige

Sur vingt-quatre plants pris au hasard de chaque dose et par bloc, on a mesuré la hauteur de la tige principale. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un mètre ruban.

b) Nombre de tiges par plant

Le nombre de tiges est une expression de la vigueur de la plante. Il peut être considéré comme une composante du rendement. Il est déterminé en fonction du nombre de germes développés. Le nombre de tiges de chaque plant étiqueté a été compté.

B) Les paramètres de production

La récolte a été effectuée manuellement en date du 03/04/2025. On a pris 24 plantes par parcelle élémentaire et les paramètres suivants ont été pris : nombre total de tubercules par poquet en séparant les grands, les petits et les moyens tubercules et le poids des tubercules par poquet.

Le rendement a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{RDT (tonnes /ha)} = (\text{Poids de tubercules par parcelle élémentaire} \times \text{nombre de poquet par hectare selon la densité utilisé}) / \text{Nombre de poquets récoltés dans la parcelle.}$$

II.4. Analyse des données

Dans le cadre de notre étude expérimentale, le tableur Microsoft Excel 2013 a été utilisé pour la saisie et paramétrage des données récoltées sur les fiches ainsi que pour la représentation des données sur les graphiques. Toutes les analyses de variance ont été effectuées au seuil de significativité de 5%. L'analyse des données a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS 21 ; la normalité des différentes séries des données a été vérifiée par le test POST HOC. Le test de la différence vraiment significative (HSD) de Tukey a été utilisé pour la ségrégation des moyennes en cas de différence significative au seuil de confiance 5%.

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

Les résultats d'analyse portent sur les variables suivantes : la hauteur des plants ; le nombre de tiges par plant ; le nombre de tubercules par plant ; le nombre de grands, moyens et petits tubercules par plant ainsi que le rendement.

III.1. Evaluation comparative de l'efficacité de différents types de fertilisants sur les performances de croissance de la pomme de terre

III.1.1. Hauteur moyenne de la tige principale des plants aux différents stades et évolution de cette hauteur de 40^{ème} à 82^{ème} JAP

A) Hauteur moyenne de la tige principale des plants aux différents stades

Le tableau 4 montre la synthèse des résultats du paramètre hauteur mesuré aux différents stades de croissance de la pomme de terre sur les huit traitements testés sur le site d'expérimentation.

Tableau 5: Synthèse des résultats des paramètres de croissance sur le site du Centre d'Innovation de Karusi

Types de fertilisants testés	Hauteur des plants (cm) au 40JAP	Hauteur des plants (cm) au 54 JAP	Hauteur des plants (cm) au 68JAP	Hauteur des plants (cm) au 82 JAP
T1 (Sans fumure +dolomie)	16.51±8.15a	30.98±9.61a	37.65±8.29b	39.22±6.61b
T2 (FV +dolomie)	16.4±3.49a	33.95±2.35a	40.83±3.64ab	41.40±4.69b
T3 (FV+60-90-60+dolomie)	25.95±6.84a	46.38±3.47a	52.59±1.08a	51.03±2.45ab
T4 (FV+60-75-60+dolomie)	23.88±6.67a	46.18±6.87a	53.51±3.91a	55.78±3.23a
T5 (FV+60-60-60+dolomie)	27.69±5.42a	45.59±5.80a	49.73±2.77ab	49.73±2.77ab
T6 (FV+60-45-60+dolomie)	23.12±9.45a	41.16±5.75a	49.06±2.93ab	48.40±3.14ab
T7 (FV+60-30-60+dolomie)	23.45±4.25a	43.47±3.05a	49.50±4.65ab	48.75±5.87ab
T8 (COEJEBU+60-90-60+ dolomie)	20.48±8.37a	41.90±7.82a	51.01±4.97a	51.68±4.82ab
P-value	0.422ns	0.096ns	0.005***	0.006***

Légende : Les chiffres suivis de la même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5 %, ns : non significatif ; *** : hautement significatif

Où :

T1 (Témoin = Sans fumure +dolomie) : Sans fumure +Dolomie

T2 (FV +dolomie) : 20 tonnes de fumier de vache+dolomie

T3 (FV+60-90-60+dolomie) : 20 tonnes/ha du fumier de vache/ha+195kg de DAP /ha+100kg de KCl/ha+55kg de l'urée /ha

T4 (FV+60-75-60+ dolomie) : 20 tonnes du fumier de vache/ha+163 kg de DAP /ha +100kg de KCl +68 kg de l'urée /ha

T5 (FV+60-60-60+dolomie) : 20 tonnes du fumier de vache/ha+ 130 kg de DAP /ha +100kg de KCl +80 kg de l'urée /ha

T6 (FV+60-45-60+dolomie) : 20 tonnes du fumier de vache/ha+ 98 kg de DAP /ha + 100kg de KCl +92 kg de l'urée /ha

T7 (FV+60-30-60+dolomie) : 20 tonnes du fumier de vache/ha+ 65kg de DAP /ha +100kg de KCl +110 kg de l'urée /ha

T8 (COEJEBU+60-90-60+ dolomie) :5 tonnes/ha du compost COEJEBU+195 kg de DAP /ha +100kg de KCl +55 kg de urée /ha

Les résultats du tableau 4 montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements par rapport à l'évolution de la hauteur de la tige principale en fonction du temps aux stades 40 et 54 JAP (**P-value= 0.422 et 0.096**). Par contre, l'analyse de la variance a révélé une différence significative au seuil de 5% entre les traitements testés par rapport à la hauteur de la tige principale du plant aux stades 68 et 82 JAP (**P-value=0.005 et 0.006**).

Le tableau 4 présente l'évolution de la hauteur des plants de pomme de terre aux stades 40, 54, 68 et 82 jours après plantation (JAP) selon huit types de fertilisation combinant fumier de vache (FV), compost COEJEBU, engrais minéraux (DAP, KCl, urée) et dolomie.

Aux stades précoces (40 et 54 JAP) : aucune différence significative n'a été observée entre les traitements ($P=0,422$ et $0,096$). Les hauteurs variaient de 16,4 cm à 27,69 cm au 40^e jour et de 30,98 cm à 46,38 cm au 54^e jour. Cela suggère que les traitements fertilisants n'ont pas d'effet immédiat sur la hauteur initiale des plants, probablement en raison du temps nécessaire à la minéralisation des nutriments organiques et à la disponibilité effective des éléments nutritifs pour la croissance végétative précoce (Marschner, 2012).

Aux stades avancés (68 et 82 JAP) : les différences entre traitements deviennent significatives ($P=0,005$ et $0,006$). Les plus grandes hauteurs ont été observées pour les traitements FV combiné avec des doses intermédiaires d'engrais minéraux (T4 : FV+60-75-60+dolomie) et FV+60-90-60+dolomie (T3) ainsi que pour le compost COEJEBU combiné aux mêmes engrais minéraux (T8), atteignant respectivement jusqu'à 53,51 cm et 51,68 cm au 82^e jour.

Ces résultats indiquent que la combinaison de fertilisation organique et minérale favorise la croissance végétative à long terme, en fournissant progressivement l'azote, le phosphore et le potassium nécessaires à l'élongation de la tige. Le traitement témoin (T1 : sans fumure + dolomie) présente les valeurs les plus faibles, confirmant que l'apport en éléments nutritifs limite la croissance en conditions de sols pauvres ou modérément fertiles.

L'absence de différences significatives aux stades précoces souligne également le rôle de la libération progressive des nutriments dans le compost et le fumier, ainsi que le rôle de la dolomie dans la correction du pH et la disponibilité des éléments nutritifs, qui agit davantage sur le moyen et long terme (Palm *et al.*, 2014).

L'analyse montre que la hauteur des plants de pomme de terre est fortement influencée par la fertilisation combinée, surtout aux stades intermédiaires et tardifs de croissance. Les traitements incluant des doses optimales de fumier et d'engrais minéral (T3 et T4) ont permis un meilleur développement végétatif, probablement en raison d'une synergie entre nutriments organiques et minéraux favorisant l'absorption et la croissance cellulaire (Taiz *et al.*, 2015).

Le traitement combinant le compost COEJEBU et les engrais minéraux (T8) a montré des performances comparables aux meilleures combinaisons à base de fumier, ce qui indique que le compost organique local peut constituer une alternative efficace, durable et complémentaire aux fertilisations minérales classiques. Cela est en accord avec les travaux d'Agegnehu *et al.* (2016) et Vanlauwe *et al.* (2010), qui soulignent l'importance de la fertilisation intégrée pour améliorer la croissance et la productivité des cultures dans les systèmes agricoles à faibles intrants.

En résumé, la hauteur de la tige principale est un indicateur sensible de la disponibilité en nutriments sur le long terme et démontre que la fertilisation combinée organique et minérale maximise le potentiel de croissance végétative de la pomme de terre dans le contexte des sols de la province de Karusi.

B) Évolution de la hauteur de la tige principale aux 68 et 82 JAP

La **figure ci-après** montre la comparaison des traitements par rapport à la croissance en hauteur de la tige principale des plants en fonction du temps (68 et 82 JAP).

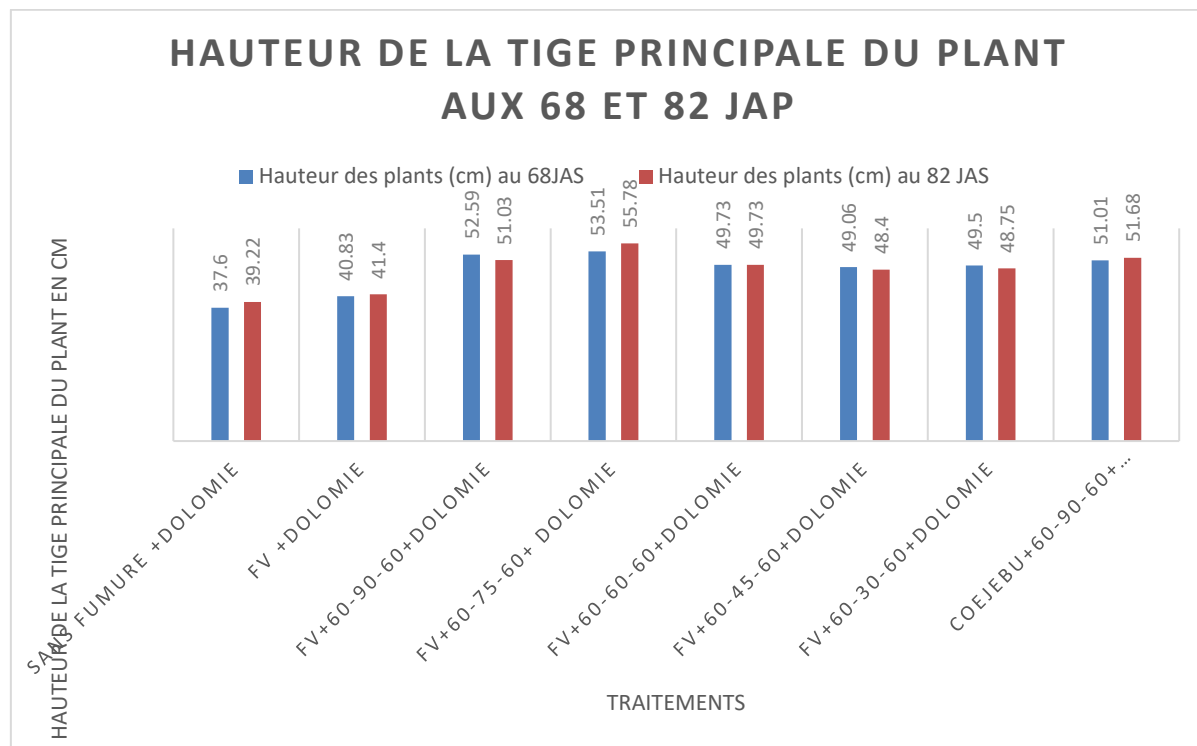


Figure 4 : Evolution de la hauteur de la tige principale des plants aux 68 et 82 JAP par traitements testés sur le site d'expérimentation

Où :

T1 (Témoin =Sans fumure +dolomie) : Sans fumure +Dolomie

T2 (FV +dolomie) : 20 tonnes de fumier de vache+dolomie

T3 (FV+60-90-60+dolomie) : 20 tonnes/ha du fumier de vache/ha+195kg de DAP /ha+100kg de KCl/ha+55kg de l'urée /ha

T4 (FV+60-75-60+ dolomie) : 20 tonnes du fumier de vache/ha+163 kg de DAP /ha +100kg de KCl +68 kg de l'urée /ha

T5 (FV+60-60-60+dolomie) : 20 tonnes du fumier de vache/ha+ 130 kg de DAP /ha +100kg de KCl +80 kg de l'urée /ha

T6 (FV+60-45-60+dolomie) : 20 tonnes du fumier de vache/ha+ 98 kg de DAP /ha + 100kg de KCl +92 kg de l'urée /ha

T7 (FV+60-30-60+dolomie) : 20 tonnes du fumier de vache/ha+ 65kg de DAP /ha +100kg de KCl +110 kg de l'urée /ha

T8 (COEJEBU+60-90-60+ dolomie) :5 tonnes/ha du compost COEJEBU+195 kg de DAP /ha +100kg de KCl +55 kg d'urée /ha

La figure 4 illustre l'évolution de la hauteur de la tige principale des plants de pomme de terre aux 68 et 82 jours après plantation (JAP) selon huit traitements différents combinant fumier de vache (FV), compost COEJEBU, engrais minéraux (DAP, KCl, urée) et dolomie.

Au 68^e jour, les plants traités avec FV+60-75-60+ dolomie (T4) et FV+60-90-60+dolomie (T3) ont montré les hauteurs les plus importantes, respectivement 53,51 cm et 52,59 cm. Les traitements combinant le compost COEJEBU avec les engrais minéraux (T8) ont également présenté une croissance élevée (51,01 cm), comparable aux meilleurs traitements à base de fumier de vache.

Au 82^e jour, la tendance reste similaire : T4 a atteint la hauteur maximale (55,78 cm), suivi de T3 (51,03 cm) et T8 (51,68 cm). Les traitements témoins (T1 : sans fumure + dolomie et T2 : FV + dolomie) ont présenté les plus faibles hauteurs (39,22 cm et 41,40 cm), confirmant que l'apport combiné d'éléments organiques et minéraux est nécessaire pour un développement végétatif optimal.

Cette évolution confirme que l'effet des fertilisations devient plus visible aux stades tardifs, en raison de la libération progressive des nutriments par les matières organiques et leur absorption par les plantes. La croissance initiale (stades 40 et 54 JAP) était similaire pour tous les traitements, ce qui souligne que les effets de la fertilisation organique et minérale se manifestent surtout après plusieurs semaines de croissance.

Les résultats montrent que la combinaison fertilisation organique + fertilisation minérale favorise significativement la hauteur des plants aux stades avancés. La supériorité de T4 et T3 peut être expliquée par :

- Apport équilibré en N, P et K, essentiel pour l'élongation cellulaire et la synthèse des tissus végétatifs (Marschner, 2012).
- Synergie entre fumier de vache et engrais minéraux, permettant une disponibilité immédiate et prolongée des nutriments (Vanlauwe *et al.*, 2010).
- Contribution du compost COEJEBU (T8) : bien que la dose de compost soit inférieure au fumier, son association aux engrais minéraux assure une croissance comparable,

démontrant son potentiel comme alternative durable et localement disponible pour améliorer la fertilité du sol (Agegnehu *et al.*, 2016).

Les traitements témoins (T1 et T2) ont des performances nettement inférieures, ce qui confirme que le seul apport de dolomie ou de fumier sans complément minéral ne suffit pas à soutenir la croissance optimale sur des sols appauvris ou modérément fertiles.

En conclusion, la figure 5 corrobore les observations du tableau 6 : la fertilisation combinée organique-minérale maximise la hauteur des plants, et le compost COEJEBU peut remplacer partiellement le fumier de vache lorsqu'il est associé à des engrais minéraux. Ces résultats sont cohérents avec les recommandations d'une fertilisation intégrée pour l'amélioration de la croissance et de la productivité de la pomme de terre dans les systèmes agricoles à faibles intrants.

Au stade 68 JAP, les traitements ayant favorisé la grande taille sont constitués de FV+60-90-60+dolomie (52.59cm), FV+60-75-60+ dolomie (53.51 cm) et COEJEBU+60-90-60+ dolomie avec 51.01cm et celui ayant favorisé la petite taille est Sans fumure +dolomie (37.65 cm). Des variations de hauteur moyenne allant de 37.65 cm (Sans fumure +dolomie) à 53.51 cm (FV+60-75-60+ dolomie) ont été observées au 68JAP.

Ainsi, le test de Tukey au seuil de confiance 5% a permis de répartir les différents traitements testés en deux groupes en fonction de la hauteur au 68 JAP. Le premier groupe a été constitué des traitements de FV+60-90-60+ dolomie (52.59cm), FV+60-75-60+ dolomie (53.51 cm) et COEJEBU+60-90-60+ dolomie avec 51.01cm ayant favorisé des plants de grandes tailles. Les traitements FV+60-60-60+dolomie, FV+60-45-60+dolomie, FV+60-30-60+dolomie, FV +dolomie (qui sont transitoires entre le premier et le deuxième groupe) et Sans fumure +dolomie ont constitué le second groupe. Ils ont favorisé des plants ayant des hauteurs moyennes plus grandes par rapport au témoin (Sans fumure +dolomie), avec des hauteurs comprises entre 37.65 et 49.73 cm.

Au stade 82 JAP, le traitement ayant favorisé la grande taille est celui de FV+60-75-60+ dolomie (55.78 cm) et ceux ayant favorisé la petite taille sont Sans fumure +dolomie (39.22 cm) et FV+ dolomie (41.40 cm). Des variations de hauteur moyenne allant de 39.22 cm (Sans fumure +dolomie) à 55.78 cm (FV+60-75-60+ dolomie) ont été observées au 82 JAP.

Ainsi, le test de Tukey au seuil de confiance 5% a permis de répartir les différents traitements testés en deux groupes en fonction de la hauteur au 82 JAP. Le premier groupe a été constitué du traitement de FV+60-75-60+ dolomie (55.78 cm) ayant favorisé des plants de grandes tailles. Les traitements de FV+60-90-60+dolomie (52.59cm), FV+60-75-60+dolomie (53.51 cm) et COEJEBU+60-90-60+ dolomie (51.01cm), FV+60-60-60+dolomie, FV+60-45-60+dolomie, FV+60-30-60+dolomie, (qui sont transitoires entre le premier et le deuxième groupe) ainsi que Sans fumure +dolomie et FV + dolomie ont constitué le second groupe. Ils ont favorisé des plants ayant des hauteurs moyennes plus grandes par rapport au témoin (Sans fumure +dolomie) avec des hauteurs comprises entre 39.22 cm et 51.68 cm.

Les résultats de cette étude mettent en évidence une réponse variable des plants de pomme de terre en fonction des fertilisants appliqués en particulier en ce qui concerne la hauteur de la tige principale et le nombre de tiges par plant. Ces observations sont cohérentes avec les principes généraux de la nutrition des plantes où la disponibilité des nutriments influence directement la croissance et le développement (Marschner, 2012).

L'analyse des résultats indique qu'il n'y avait pas de différence significative dans la hauteur des plants aux stades 40 et 54 JAP suggérant que les traitements n'ont pas eu d'effet immédiat sur la croissance initiale des plants. Ce phénomène pourrait être lié à une période d'adaptation des plants aux différents régimes de fertilisation ou à une faible demande en nutriments à ces stades précoces. Des études ont montré que l'absorption des nutriments et leur impact sur la croissance peuvent varier en fonction du stade phénologique (Taiz et Zeiger, 2010). En revanche, aux stades 68 et 82 JAP, des différences significatives ont été observées. Les traitements FV+60-90-60+dolomie et FV+60-75-60+dolomie ont produit des plants significativement plus hauts. Cela peut être attribué à une meilleure disponibilité des nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium (NPK), qui sont cruciaux pour la croissance végétative (Barker et Pilbeam, 2015).

L'absence de différences significatives aux premiers stades pourrait indiquer que les effets des fertilisants se manifestent plus tard dans le cycle de croissance ce qui est cohérent avec d'autres études sur la nutrition des plantes (Mengel *et al.*, 2001)

III.1.2. Nombre moyen de tiges par plant aux différents stades et influence des différents traitements sur le nombre de tiges par plant

A) Nombre moyen de tiges par plant aux différents stades

Le tableau 6 présente l'évolution du nombre de tiges par plant de pomme de terre aux stades 40, 54 et 68 jours après plantation (JAP) selon huit traitements combinant fumier de vache (FV), compost COEJEBU, engrais minéraux (DAP, KCl, urée) et dolomie.

L'analyse de la variance (tableau 5) révèle un effet significatif des doses testées sur le nombre de tiges par plant à tous les stades (Au stade 40 JAP p-value = 0,001, au stade 54 JAP p-value = 0,000 et stade 68 JAP : p-value = 0,000). En revanche, les résultats montrent que cette différence devienne très hautement significative au seuil de 5 % pour le nombre de tiges par plant au fur et à mesure du temps (stade 54 JAP : p-value = 0,000 ; stade 68 JAP : p-value = 0,000).

Le test de Tukey a permis de regrouper les moyennes du nombre de tiges par plant en trois groupes homogènes a, b et c. Le premier groupe comprend les traitements FV+60-75-60+dolomie et FV+60-90-60+dolomie, tandis que le troisième groupe inclut les traitements FV+dolomie et Sans fumure+dolomie. Au stade 40 JAP, le traitement FV+60-90-60+dolomie est classé comme intermédiaire entre les groupes a et b. Le traitement COEJEBU+60-90-60+dolomie se situe également entre les groupes b et c, tandis que les traitements FV+60-60-60+dolomie et FV+60-45-60+dolomie sont considérés comme intermédiaires entre les groupes a, b et c.

Aux stades 54 et 68 JAP, les résultats du test de Tukey regroupent également le nombre de tiges en trois groupes. Le premier groupe est composé des traitements FV+60-90-60+dolomie et FV+60-75-60+dolomie, tandis que le troisième groupe se compose des traitements FV+dolomie et Sans fumure+dolomie. A ces stades, les traitements FV+60-60-60+dolomie et FV+60-45-60+dolomie sont considérés comme transitoires entre les groupes a et b et le traitement FV+60-30-60+dolomie est transitoire entre les groupes b et c.

Tableau 6: Synthèse des résultats sur le nombre de tige par plant selon les différentes périodes de croissance

Types de fertilisants testés	Nombres de tiges par plant au 40JAP	Nombres de tiges par plant au 54JAP	Nombres de tiges par plant au 68 JAP
T1(Sans fumure +dolomie)	2.6833±0.84403c	3.0500±1.20136c	2.9333±.97867c
T2 (FV +dolomie)	2.2633±0.09185c	2.2867±0.07765c	2.3900±.13816c
T3(FV+60-90-60+dolomie)	6.5133±1.78974ab	7.3467±0.48854a	8.4067±1.56552a
T4(FV+60-75-60+dolomie)	7.0933±1.77051a	8.1167±0.88758a	8.2867±.74172a
T5(FV+60-60-60+dolomie)	5.3900±1.07664abc	6.1267±1.05509ab	6.2767±.98584ab
T6(FV+60-45-60+dolomite)	4.6133±0.98807abc	5.7667±0.45031ab	6.3433±.44770ab
T7(FV+60-30-60+dolomie)	3.8967±0.58368abc	4.5433±0.36956bc	5.0367±.44712bc
T8(COEJEBU+60-90-60+ dolomie)	3.6067±1.13294bc	5.9733±1.30423ab	6.1200±1.54372ab
P-value	0.001***	0.00***	0.000***

Légende : Les chiffres suivis de la même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5 %, ns : non significatif ; *** : hautement significatif

Selon les résultats mentionnées dans le tableau ci-haut, au stade 40 JAP : l'analyse de variance a montré de la différence significative entre les traitements (P=0,001). Le nombre moyen de tiges par plant variait de 2,26 à 7,09 tiges au 40^e jour. Cette significativité indique que l'effet des fertilisations sur le nombre de tiges se manifeste clairement à tous les stades de croissance, probablement en raison de l'absorption facile des engrais minéraux.

Au stade avancé (54 et 68 JAP) : l'effet des traitements devient très hautement significatif ($P=0,000$). Le nombre moyen de tiges par plant variait de 2,29 à 8,12 tiges au 54^e jour et de 2,39 à 8,40 tiges au 68^e jour. Les traitements FV+60-90-60+dolomie (T3) et FV+60-75-60+dolomie (T4) ont produit le nombre le plus élevé de tiges par plant (8,41 et 8,28 tiges respectivement). Le traitement COEJEBU+60-90-60+dolomie (T8) a également favorisé un nombre élevé de tiges (6,12 tiges), supérieur aux traitements témoins (T1 et T2, respectivement 2,93 et 2,39 tiges).

Les tests de Tukey ont permis de regrouper les traitements en trois groupes homogènes :

- Groupe a (meilleure performance) : T3 et T4
- Groupe b (performance intermédiaire) : T5, T6, T8 et T7 selon le stade
- Groupe c (faible performance) : T1 et T2

Ces résultats indiquent que la fertilisation combinée organique et minérale stimule la ramification et le nombre de tiges, ce qui peut améliorer la capacité photosynthétique et la production de tubercules (Taiz *et al.*, 2015).

Importance de la fertilisation combinée : Les traitements combinant fumier et doses optimales d'engrais minéraux (T3 et T4) ont favorisé une ramification plus importante. Cette augmentation du nombre de tiges est liée à une meilleure disponibilité en azote, un élément clé pour la division cellulaire et la formation des tiges secondaires (Marschner, 2012).

Effet du compost COEJEBU : Le traitement T8 (compost + engrais minéraux) a produit un nombre de tiges supérieur aux témoins, mais légèrement inférieur aux meilleurs traitements à base de fumier. Cela suggère que le compost peut remplacer partiellement le fumier de vache, tout en apportant des nutriments à libération progressive et en améliorant la structure du sol (Agegnehu *et al.*, 2016).

Limitation des témoins : Les traitements T1 et T2 (sans fumure ou seulement FV + dolomie) ont montré un nombre de tiges faible, confirmant que la seule dolomie ou le fumier non combiné avec des engrais minéraux n'assure pas un développement végétatif optimal dans les sols pauvres ou légèrement fertilisés de Karusi.

En conclusion, le nombre de tiges par plant augmente avec l'apport combiné d'éléments organiques et minéraux, et le compost COEJEBU peut être une alternative intéressante au fumier de vache lorsqu'il est associé aux engrais minéraux. Ce paramètre est important car il est étroitement lié au potentiel de rendement final de la pomme de terre.

B) Influence des différents traitements sur le nombre de tiges par plant

La figure 6 montre l'évolution du nombre de tiges par plant de pomme de terre aux stades 40, 54 et 68 jours après plantation (JAP) pour les huit traitements testés, combinant fumier de vache (FV), compost COEJEBU, engrais minéraux (DAP, KCl, urée) et dolomie.

Le nombre de tiges par plant est un indicateur clé de la vigueur de la plante et constitue une composante essentielle du rendement. Au cours de l'essai, la valeur maximale du nombre moyen de tiges par plant a été observée avec le traitement FV+60-75-60+dolomie atteignant 7.09 tiges au stade 40 JAP. En revanche, la valeur minimale a été enregistrée avec le traitement FV+dolomie qui a montré seulement 2.26 tiges.

Au stade 54 JAP, le maximum a de nouveau été observé avec le traitement FV+60-75-60+dolomie tandis que le minimum a encore été associé au traitement FV+dolomie avec une moyenne de 2.29 tiges. Au stade 68 JAP, le traitement FV+60-90-60+dolomie a atteint le maximum avec 8.41 tiges tandis que le traitement FV+dolomie a continué à afficher le minimum avec 2.39 tiges (Figure 6).

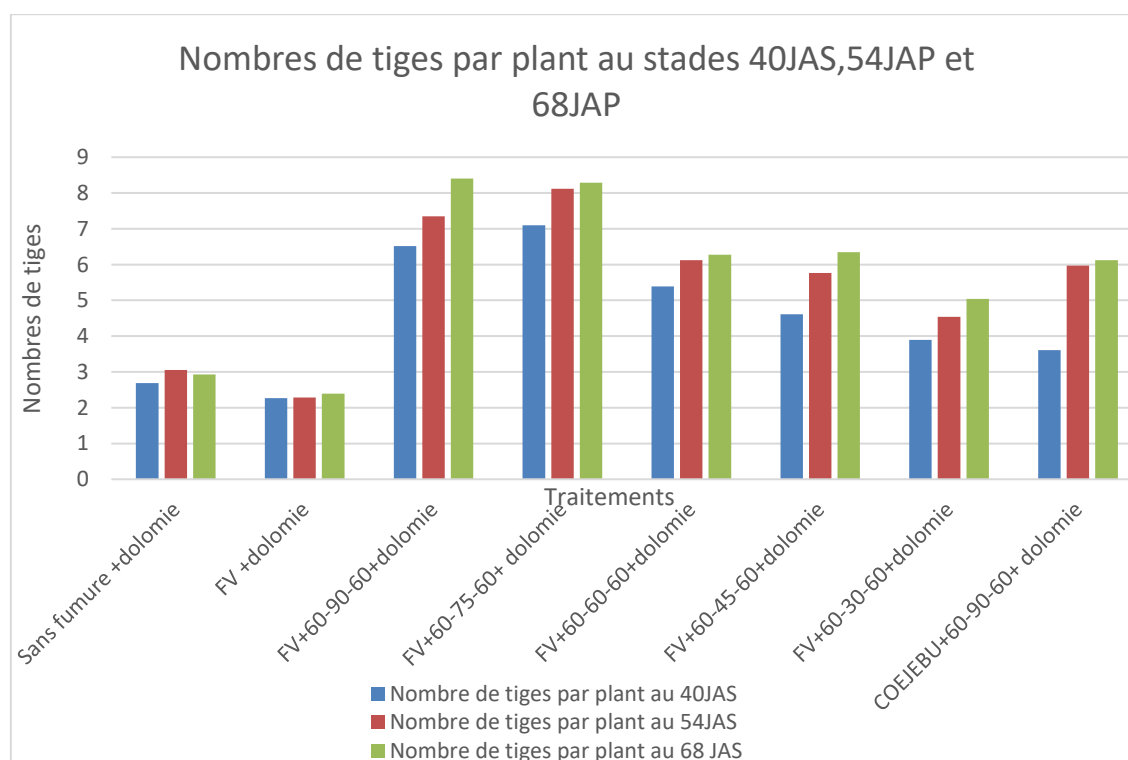


Figure 5: Influence des différents traitements testés sur le nombre de tiges par plant aux stades 40 JAP, 54 JAP et 68 JAP.

Selon la figure 5 ci-haut, la figure confirme que tous les traitements présentent des valeurs relativement différents pour le nombre de tiges, avec des différences significatives ($P < 0,05$). Le nombre de tiges par plant varie entre 2,26 et 7,09 tiges au 40 JAP et entre 2,29 et 8,12 tiges au 54 JAP. Les effets des traitements sont donc pleinement exprimés à tous les stades, en raison de l'absorption facile des nutriments.

Au 68^e jour, les différences deviennent claires et hautement significatives ($P = 0,005$). Les traitements FV+60-75-60+dolomie (T4) et FV+60-90-60+dolomie (T3) présentent le plus grand nombre de tiges par plant, respectivement 8,28 et 8,41 tiges, suivis par FV+60-60-60+dolomie (T5), FV+60-45-60+dolomie (T6) et le traitement avec compost COEJEBU+engrais minéraux (T8), avec 6,28, 6,34 et 6,12 tiges respectivement. Les traitements témoins (T1 et T2) restent les plus faibles, confirmant l'importance de la combinaison d'engrais minéraux et organiques pour stimuler la ramification.

La figure 6 met en évidence une progression temporelle du nombre de tiges, qui augmente avec le développement des plants et la disponibilité en nutriments, puis tend à se stabiliser aux stades tardifs. Les traitements combinés montrent une croissance plus rapide et plus soutenue des tiges par rapport aux témoins.

Effet de la fertilisation combinée : Les traitements T3 et T4, combinant fumier de vache et doses élevées d'engrais minéraux, ont stimulé une ramification maximale, ce qui est cohérent avec le rôle de l'azote dans la promotion de la croissance végétative et de la formation de nouvelles tiges (Marschner, 2012; Taiz *et al.*, 2015).

Potentiel du compost COEJEBU : Le traitement T8 (compost COEJEBU + engrais minéraux) a produit un nombre de tiges supérieur aux témoins mais légèrement inférieur aux meilleurs traitements à base de fumier. Cela montre que le compost organique peut remplacer partiellement le fumier tout en maintenant une ramification satisfaisante, grâce à sa libération progressive de nutriments et à l'amélioration de la structure du sol (Agegnehu *et al.*, 2016).

Importance de la période d'observation : L'effet des fertilisations devient significatif seulement à partir du stade 68 JAP, confirmant que les interventions sur la croissance végétative nécessitent du temps pour être pleinement observables. Cette observation est cohérente avec les résultats de la hauteur des tiges, où les différences significatives apparaissaient également aux stades avancés (68 et 82 JAP).

Conséquences agronomiques : Un nombre plus élevé de tiges par plant est associé à une meilleure capacité photosynthétique et à un potentiel de rendement accru. Les résultats suggèrent que la fertilisation intégrée (organique + minérale) est la stratégie la plus efficace pour optimiser le développement végétatif et préparer les plants à un rendement élevé.

Les résultats confirment que :

- La combinaison fumier de vache + engrais minéraux stimule le nombre de tiges au-delà de ce que produisent les traitements témoins.
- Le compost COEJEBU, en association avec les engrais minéraux, peut servir de substitut efficace au fumier, favorisant la ramification et la croissance végétative.
- Les effets significatifs apparaissent surtout aux stades avancés (68 JAP), soulignant l'importance de la fertilisation précoce mais aussi de la patience pour observer ses effets sur le développement végétatif.

Ces résultats montrent également que les traitements FV+60-75-60+dolomie et FV+60-90-60+dolomie ont favorisé une augmentation significative du nombre de tiges par plant au stade 68 JAP. Ce paramètre est crucial pour le rendement final car un nombre plus élevé de tiges est souvent associé à une meilleure vigueur et à un potentiel de production accru (Sadras, 2007). L'augmentation du nombre de tiges pourrait être due à une stimulation de la croissance des bourgeons axillaires en réponse à une meilleure nutrition (Cline, 1991).

III.2. Evaluation comparative de l'efficacité de différents types de fertilisants sur les performances de production de la pomme de terre

III.2.1. Nombres de tubercules par plant

A) Effet des différents types de fertilisants sur le nombre de tubercules par plant

Le tableau 6 présente le nombre moyen de tubercules par plant selon le type de fertilisation.

Le nombre de tubercules est un paramètre clé du rendement. Au cours de notre essai, la valeur moyenne maximale du nombre de tubercules par plant a été observée avec le traitement FV+60-90-60+dolomie atteignant 8,8 tubercules tandis que la valeur minimale a été enregistrée avec le traitement FV+dolomie qui n'a produit que 2,3 tubercules.

Concernant les gros tubercules, le maximum a également été observé avec FV+60-90-60+dolomie avec 1,69 tubercule alors que le minimum a été noté avec le traitement Sans fumure+dolomie qui a donné seulement 0,12 tubercule.

Pour les tubercules de taille moyenne, le maximum a été obtenu avec FV+60-90-60+dolomie (4,65 tubercules) tandis que le minimum a été observé avec Sans fumure+dolomie (1,42 tubercules).

Enfin, pour les tubercules de petit calibre, la valeur maximale a été enregistrée avec FV+60-60-60+dolomie (2,72 tubercules) tandis que le minimum a été observé avec FV+dolomie (0,64 tubercules) (Figure 7).

Le tableau 6 présente une synthèse des résultats concernant le nombre de tubercules par plant mesuré lors de la récolte de pommes de terre en fonction des huit traitements testés sur le site d'expérimentation. Les résultats de ce tableau montrent une différence significative au seuil de 5 % entre les traitements en ce qui concerne le nombre moyen de tubercules par plant (p-value = 0,001). De plus, une différence significative a été également observée entre les traitements concernant le nombre de tubercules de grande taille par plant à la récolte (p-value = 0,002).

En revanche, l'analyse ne révèle aucune différence significative pour le nombre de tubercules de taille moyenne (p-value = 0,065) ni pour ceux de petite taille (p-value = 0,192).

Tableau 7: nombre de tubercule par plant

Types de fertilisants testés	Nombres de tubercules /plant	Nombres de grand tubercules /plant	Nombres de Moyen tubercules /plant	Nombres de Petit tubercules /plant
T1 (Sans fumure +dolomie)	2.7±1.21bc	0.12±0.15b	1.42±0.63a	1.07±0.83a
T2 (FV +dolomie)	2.3±.38c	0.24±0.18b	1.43±0.30a	0.64±0.59a
T3(FV+60-90-60+dolomie)	8.8±1.27a	1.69±0.42a	4.65±2.00a	2.46±0.56a
T4(FV+60-75-60+dolomie)	7.5±2.06a	1.55±0.50a	3.56±2.02a	2.59±1.06a
T5(FV+60-60-60+dolomie)	6.9±0.65ab	1.27±0.51ab	3.48±0.29a	2.72±1.75a
T6(FV+60-45-60+dolomie)	6.40±1.17abc	1.17±0.48ab	3.09±1.34a	2.39±1.65a
T7 (FV+60-30-60+dolomie)	4.9±0.8abc	0.83±0.14ab	2.97±0.91a	1.24±0.36a
T8 (COEJEBU+60-90-60+ dolomie)	5.9±2.8abc	1.50±0.67a	3.86±1.12a	2.36±1.11a
P-value	0.001***	0.002***	0.065ns	0.192ns

Légende : Les chiffres suivis de la même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5 %, ns : non significatif ; *** : hautement significatif

Le tableau 7 présente le nombre moyen de tubercules par plant selon le type de fertilisation. Les résultats de ce tableau 6 montrent que :

Par rapport au nombre total de tubercules, le traitement FV+60-90-60+dolomie (T3) a produit le nombre maximum de tubercules par plant (8,8), suivi de FV+60-75-60+dolomie (T4, 7,5 tubercules). Les traitements témoins (Sans fumure+dolomie (T1) et FV+dolomie (T2)) ont produit le moins de tubercules, respectivement 2,7 et 2,3 tubercules.

La différence entre traitements est hautement significative ($p=0,001$), indiquant que le type et la combinaison des fertilisants influencent fortement le nombre de tubercules.

En ce qui est du nombre de gros tubercules, les traitements T3 et T4 ont également produit le plus grand nombre de gros tubercules (1,69 et 1,55 tubercules), alors que le minimum a été observé avec le témoin T1 (0,12 tubercule). La différence entre traitements est significative ($p=0,002$), montrant que la fertilisation combinée favorise la formation de tubercules de calibre supérieur, ce qui est crucial pour le rendement commercial.

Concernant le nombre de tubercules de taille moyenne et petite, pour les tubercules moyens, le maximum a été obtenu avec T3 (4,65 tubercules), mais la variation entre traitements n'est pas statistiquement significative ($p=0,065$). Pour les tubercules petits, T5 (FV+60-60-60+dolomie) a produit le plus (2,72 tubercules), alors que T2 (FV+dolomie) a produit le moins (0,64 tubercule), avec une différence non significative ($p=0,192$).

Par rapport à l'effet du compost COEJEBU, le traitement COEJEBU+60-90-60+dolomie (T8) a produit 5,9 tubercules par plant avec 1,50 gros tubercule, ce qui est supérieur aux témoins mais légèrement inférieur aux meilleurs traitements à base de fumier et engrais minéraux (T3 et T4). Cela montre que le compost organique, associé aux engrais minéraux, peut-être une alternative efficace pour stimuler le développement des tubercules, tout en offrant une solution durable et locale pour la fertilisation.

Vis-à-vis de l'Importance de la fertilisation combinée, les traitements combinant fumier de vache et engrais minéraux (T3, T4) ont significativement augmenté le nombre total et le nombre de gros tubercules, confirmant que l'azote, le phosphore et le potassium jouent un rôle clé dans la formation des tubercules et le développement végétatif de la pomme de terre (Taiz *et al.*, 2015 ; Marschner, 2012).

Concernant la contribution du compost organique, le traitement T8 (compost COEJEBU + engrais minéraux) a produit un nombre de tubercules moyen élevé, ce qui valide l'usage du compost organique local comme alternative au fumier, surtout lorsque l'accès au fumier de vache est limité. De plus, la libération progressive des nutriments par le compost favorise la croissance des tubercules moyens et gros, ce qui est essentiel pour le rendement commercial.

Par rapport à la différence entre tubercules par calibre, les traitements à haute fertilisation minérale et organique favorisent la production de gros tubercules, tandis que les faibles doses ou témoins produisent majoritairement des tubercules petits ou moyens.

Cette observation est en accord avec les résultats de la littérature montrant que la qualité et le calibre des tubercules sont fortement influencés par la disponibilité en nutriments pendant la période de tubérisation (Marschner, 2012).

Avec l'implication pour le rendement, le nombre total de tubercules et le nombre de gros tubercules sont directement liés au rendement final, suggérant que les traitements T3 et T4 permettent de maximiser la production de pommes de terre par hectare. Le compost COEJEBU, bien que légèrement moins performant que le fumier combiné aux engrais minéraux, constitue une solution durable et économiquement viable pour les petits exploitants.

En bref, les traitements combinant fumier de vache + engrais minéraux produisent le plus grand nombre de tubercules et de gros tubercules. Le compost COEJEBU, lorsqu'il est associé aux engrais minéraux, améliore significativement le nombre de tubercules par rapport aux témoins. La fertilisation intégrée (organique + minérale) est la stratégie la plus efficace pour maximiser à la fois la quantité et la qualité des tubercules de pomme de terre.

Ainsi, le test de Tukey au seuil de confiance de 5 % a permis de répartir les différents traitements en trois groupes en fonction du nombre moyen de tubercules par plant. Le premier groupe est constitué des traitements FV+60-90-60+dolomie (8,8 tubercules par plant) et FV+60-75-60+dolomie (7,5 tubercules par plant) qui favorisent un nombre élevé de tubercules. Le traitement FV+60-60-60+dolomie (6,9 tubercules par plant) est classé comme transitoire entre le premier et le deuxième groupe. Les traitements FV+60-45-60+dolomie (6,4 tubercules par plant), FV+60-30-60+dolomie (4,9 tubercules par plant) et COEJEBU+60-90-60+dolomie (5,9 tubercules par plant) sont considérés comme transitoires entre le premier, le deuxième et le troisième groupe.

Le traitement témoin, FV+dolomie (2,3 tubercules par plant), constitue le troisième groupe, qui est associé à une faible tubérisation, variant de 2,3 à 8,8 tubercules par plant.

Le test de Tukey a également regroupé les tubercules de grande taille en deux groupes homogènes. Le premier groupe comprend les traitements FV+60-90-60+dolomie (1,69 tubercules), FV+60-75-60+dolomie (1,55 tubercules) et COEJEBU+60-90-60+dolomie (1,50 tubercules). Les traitements FV+60-60-60+dolomie, FV+60-45-60+dolomie et FV+60-30-60+dolomie sont transitoires entre le premier et le deuxième groupe. Le deuxième groupe est constitué des traitements Sans fumure+dolomie (2,7 tubercules) et FV+dolomie (2,3 tubercules).

Les tubercules de petite et de moyenne taille forment un seul groupe homogène.

B) Effet des traitements sur le nombre moyen de tubercules par plant

La figure 6 illustre visuellement les différences du nombre moyen de tubercules par plant selon les huit traitements appliqués.

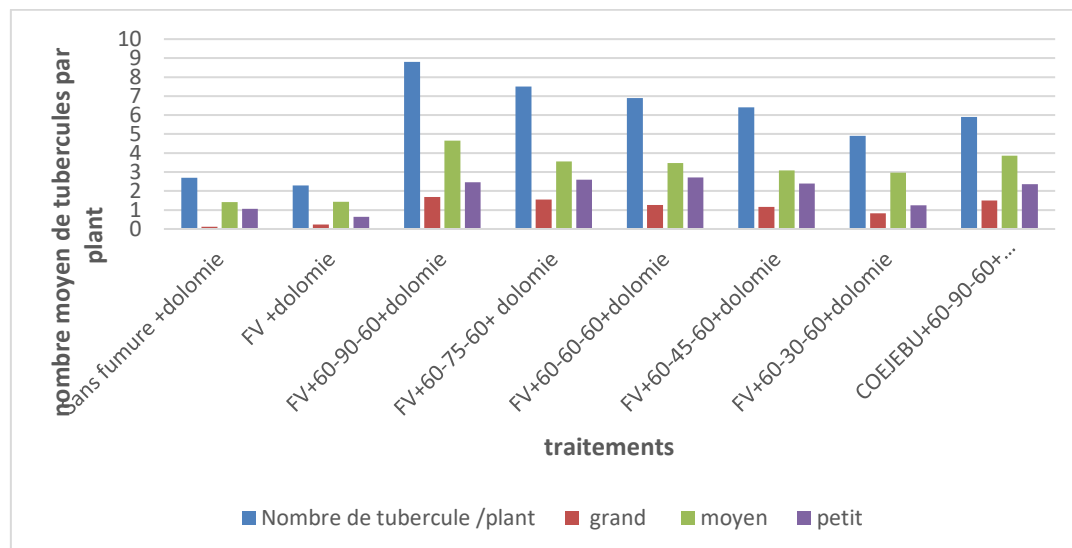


Figure 6: Effet de fertilisation sur le nombre moyen des tubercules par plant.

Sur base des résultats de la figure 7, les traitements T1 (Sans fumure + dolomie) et T2 (FV + dolomie) présentent les valeurs les plus faibles, respectivement 2,7 et 2,3 tubercules par plant. Cela confirme que l'absence de fertilisation ou la simple application de fumier de vache sans apport minéral limite fortement la capacité de production de tubercules, probablement à cause de la faible disponibilité en nutriments essentiels (N, P, K). Les traitements T3 (FV+60-90-60+dolomie) et T4 (FV+60-75-60+dolomie) ont produit le plus grand nombre de tubercules par plant (8,8 et 7,5), ce qui correspond aux pics observés sur la figure. L'effet positif de cette combinaison s'explique par la complémentarité entre le fumier de vache (source organique de nutriments à libération progressive) et les engrais minéraux (DAP, KCl, urée), fournissant un approvisionnement immédiat et suffisant en éléments nutritifs pour le développement végétatif et la tubérisation. Le traitement T8 a produit 5,9 tubercules par plant, supérieur aux témoins mais inférieur à T3 et T4, ce qui confirme que le compost organique COEJEBU est efficace pour stimuler la formation des tubercules mais que sa performance optimale peut nécessiter un ajustement des doses ou un enrichissement combiné avec des engrais minéraux.

On observe que l'augmentation progressive des apports en engrais minéraux combinés avec le fumier de vache ou le compost favorise de manière nette le nombre total de tubercules, particulièrement les tubercules de gros calibre, ce qui est directement corrélé au rendement final en kg/ha.

La figure 6 confirme que les traitements intégrés (fumier + engrais minéraux) stimulent de manière significative la production de tubercules par plant par rapport aux témoins ou aux traitements avec compost seul. Cela est cohérent avec la littérature montrant que les nutriments minéraux disponibles dans le sol (N, P, K) favorisent la division cellulaire et l'allongement des tiges, la photosynthèse et la tubérisation (Taiz *et al.*, 2015 ; Marschner, 2012).

Bien que légèrement moins performant que les traitements combinés fumier + minéraux, le compost COEJEBU augmente significativement le nombre de tubercules par rapport aux témoins, ce qui illustre sa valeur comme fertilisant organique local et durable. L'utilisation du compost peut améliorer la structure du sol, sa capacité de rétention d'eau et la disponibilité progressive des nutriments, éléments clés dans des conditions agricoles à faible intrant.

Les résultats suggèrent que pour maximiser le rendement de la pomme de terre, il est préférable d'adopter une stratégie de fertilisation intégrée. Le compost COEJEBU peut compléter ou remplacer partiellement le fumier de vache dans des situations où ce dernier est limité, tout en conservant un impact positif sur la formation des tubercules.

En bref, les traitements combinant fumier de vache et engrais minéraux (T3 et T4) permettent de produire le plus grand nombre de tubercules par plant et favorisent la formation de tubercules de gros calibre. Le compost COEJEBU, lorsqu'il est associé aux engrais minéraux (T8), constitue une alternative prometteuse, offrant un rendement supérieur aux témoins tout en étant économiquement et écologiquement viable. L'adoption de fertilisation intégrée reste donc la stratégie recommandée pour optimiser la productivité de la pomme de terre dans les conditions agro-écologiques de Karusi.

Les résultats indiquent que le traitement FV+60-90-60+dolomie a produit le plus grand nombre de tubercules par plant tandis que le traitement sans fumure a montré les résultats les plus faibles. Cette différence significative souligne l'importance d'une fertilisation adéquate pour optimiser la production de tubercules. Des études antérieures ont montré que l'azote et le potassium jouent un rôle clé dans la tubérisation et le développement des tubercules (Sharma & Singh, 2000).

Les résultats montrent également que la taille des tubercules était significativement influencée par la dose de phosphore et le type de fertilisant utilisé ce qui peut avoir des implications directes sur la qualité du produit commercial.

III.2.2. Rendement

A) Rendement moyen par traitement

Le rendement de la culture de la pomme de terre demeure l'objectif principal de notre étude. Les résultats obtenus sont relativement faibles.

Les résultats de l'analyse comparative du rendement révèlent une différence significative au seuil de 5 % (p-value = 0,009) en fonction des types de traitements testés. Le test de Tukey a regroupé les rendements moyens en deux groupes homogènes.

Le premier groupe est constitué des traitements FV+60-90-60+dolomie (6291,042 kg/ha) et FV+60-75-60+dolomie (6202,431 kg/ha). Le deuxième groupe comprend les traitements Sans fumure+dolomie (1287,819 kg/ha) et FV+dolomie (1644,965 kg/ha).

Les traitements FV+60-60-60+dolomie (5386,354 kg/ha), FV+60-45-60+dolomie (4038,958 kg/ha), FV+60-30-60+dolomie (3673,299 kg/ha) et COEJEBU+60-90-60+dolomie (5526,875 kg/ha) sont considérés comme transitoires entre les deux groupes.

Tableau 8: Analyse de variance sur le rendement moyen par traitement

Types de fertilisants testés	Rendement moyen en kg
Sans fumure +dolomie	1287.674±619.526b
FV +dolomite	1644.965±17.780b
FV+60-90-60+dolomie	6291.042±1302.568a
FV+60-75-60+ dolomie	6202.431±3366.013a
FV+60-60-60+dolomie	5386.354±354.479ab
FV+60-45-60+dolomie	4038.958±1402.174ab
FV+60-30-60+dolomie	3673.299±870.441ab
COEJEBU+60-90-60+ dolomie	5526.875±2412.973ab
P-value	0.009***

Légende : Les chiffres suivis de la même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5 ; *** : hautement significatif

Le rendement moyen de la pomme de terre, exprimé en kg/ha, varie significativement selon le type de fertilisation appliquée.

Les rendements sont faibles avec les témoins et fumier seul. Les traitements T1 (Sans fumure + dolomie) et T2 (FV + dolomie) ont enregistré les rendements les plus faibles, respectivement 1287,674 kg/ha et 1644,965 kg/ha, ce qui correspond à environ 20 à 25 % du rendement maximal obtenu. Ces faibles rendements s'expliquent par l'insuffisance de nutriments disponibles pour soutenir le développement végétatif et la tubérisation, notamment l'azote, le phosphore et le potassium.

Tandis que les rendements sont élevés avec la fertilisation intégrée, Les traitements T3 (FV+60-90-60+dolomie) et T4 (FV+60-75-60+dolomie) ont produit les rendements les plus élevés, 6291,042 kg/ha et 6202,431 kg/ha, formant le premier groupe homogène selon le test de Tukey. Ces résultats confirment l'efficacité de la combinaison fumier de vache + engrais minéraux (DAP, KCl, urée) pour maximiser le rendement. L'association fournit à la fois des éléments nutritifs immédiatement disponibles et un apport organique à libération progressive.

Par rapport aux rendements intermédiaires, les traitements T5 à T8 (FV+60-60-60, FV+60-45-60, FV+60-30-60 et COEJEBU+60-90-60) présentent des rendements intermédiaires (3673 à 5526 kg/ha), transitoires entre le groupe témoin et les meilleurs traitements. Le traitement T8, qui combine le compost COEJEBU avec engrais minéraux, atteint un rendement de 5526,875 kg/ha, supérieur aux témoins mais inférieur aux combinaisons optimales de fumier et minéraux (T3 et T4). Cela montre que le compost COEJEBU est efficace mais pourrait bénéficier d'une optimisation de la dose ou d'une meilleure association avec les engrais minéraux pour égaler les rendements maximaux.

L'analyse de la variance indique une différence significative entre les traitements ($p = 0,009^*$), confirmant que le type et la combinaison de fertilisants influencent directement le rendement de la pomme de terre. La classification par le test de Tukey en deux groupes homogènes met en évidence la supériorité des traitements intégrés à forte dose d'engrais minéraux (T3 et T4) par rapport aux traitements simples ou témoins.

Les fertilisants combinés présentent une efficacité sans précédent. Les traitements intégrés fournissent un équilibre optimal entre apport immédiat de nutriments et amélioration progressive de la fertilité du sol grâce à la matière organique.

Les résultats sont cohérents avec la littérature indiquant que la fertilisation combinée (organique + minérale) améliore la photosynthèse, le développement végétatif et la tubérisation, conduisant à des rendements supérieurs (Taiz *et al.*, 2015 ; Marschner, 2012).

Concernant le rôle du compost COEJEBU, le traitement T8 montre que le compost organique peut remplacer partiellement le fumier de vache et contribuer significativement à l'augmentation du rendement, tout en étant une solution locale durable. Son rendement intermédiaire suggère qu'une augmentation de la dose ou un ajustement des apports minéraux pourrait le rendre compétitif avec les combinaisons optimales de fumier et minéraux.

Par rapport aux implications agronomiques, pour atteindre les rendements maximaux dans les conditions agro-écologiques de Karusi, la fertilisation intégrée reste la stratégie la plus efficace. Le compost COEJEBU constitue une alternative intéressante, surtout dans les zones où le fumier de vache est limité ou indisponible, et peut contribuer à une fertilisation durable et respectueuse de l'environnement.

En bref, les combinaisons fumier de vache + engrais minéraux (T3 et T4) sont les plus performantes pour maximiser le rendement de la pomme de terre. Le compost COEJEBU améliore significativement le rendement par rapport aux témoins mais reste légèrement inférieur aux traitements optimaux avec fumier + minéraux. La fertilisation intégrée reste la meilleure pratique recommandée pour augmenter la productivité tout en améliorant la fertilité du sol.

B) Rendement réel de la pomme de terre selon le type de fertilisant

La figure 7 illustre l'effet comparatif des différents types de fertilisation sur le rendement réel de la pomme de terre (kg/ha).

La figure ci-dessous montre les rendements où la valeur maximale a été enregistrée avec le traitement FV+60-90-60+dolomie atteignant 6291,042 kg/ha tandis que la plus faible valeur a été observée avec le traitement Sans fumure+dolomie avec un rendement de 1287,674 kg/ha.

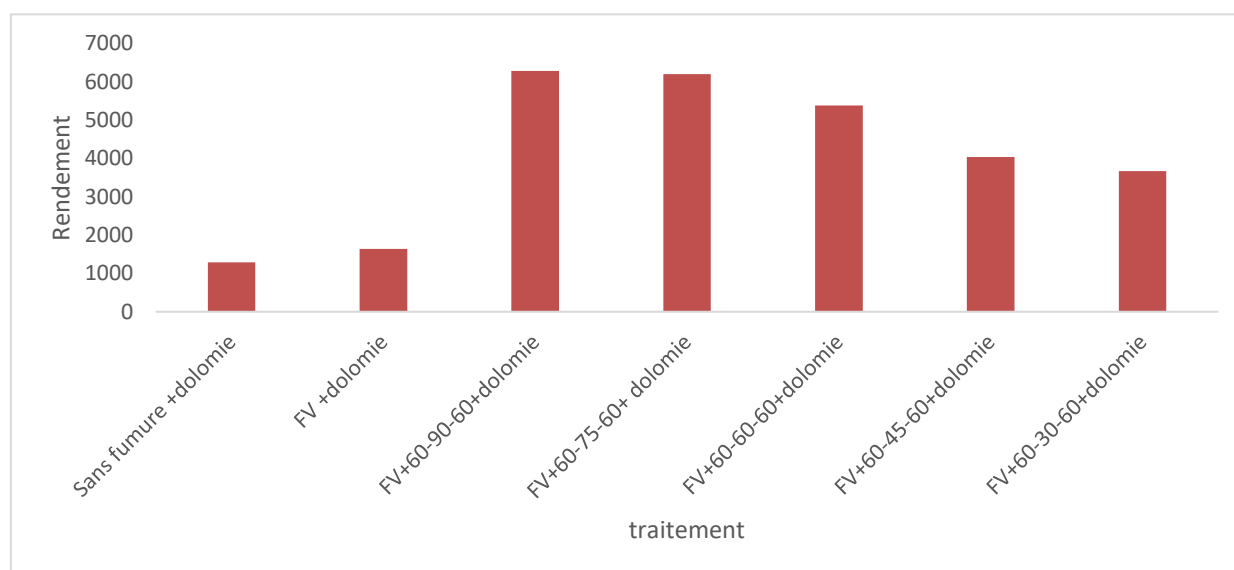


Figure 7: Effet du type des fertilisants sur le rendement réel de la pomme de terre

Avec les résultats de la figure 8, les rendements faibles s'observent avec les témoins et fumier seul. Le traitement T1 (Sans fumure + dolomie) a produit le rendement le plus faible (1287,674 kg/ha) suivi de T2 (FV + dolomie) (1644,965 kg/ha). Ces faibles valeurs s'expliquent par la disponibilité insuffisante en éléments nutritifs essentiels pour la croissance et la tubérisation des plants, ce qui limite la formation de tubercules et, par conséquent, le rendement total.

Les rendements maximaux sont avec la fertilisation intégrée (fumier + engrais minéraux). Les traitements T3 (FV+60-90-60+dolomie) et T4 (FV+60-75-60+dolomie) présentent les rendements les plus élevés (6291,042 kg/ha et 6202,431 kg/ha). Ces traitements combinent fumier de vache et engrais minéraux (DAP, KCl, urée), fournissant un approvisionnement équilibré en N, P, K et améliorant la fertilité globale du sol.

Les rendements intermédiaires sont avec autres combinaisons. Les traitements T5 à T8 (FV+60-60-60 à FV+60-30-60 et COEJEBU+60-90-60) ont donné des rendements intermédiaires (3673 à 5526 kg/ha). Le traitement T8, utilisant le compost COEJEBU avec engrais minéraux, montre une amélioration significative par rapport aux témoins mais n'atteint pas les performances maximales de T3 et T4. Cela suggère que le compost organique est efficace, mais que son association avec la bonne proportion d'engrais minéraux reste cruciale pour maximiser le rendement.

L'analyse de variance révèle une différence significative entre les traitements (p -value = 0,009*). Le test de Tukey montre deux groupes homogènes : le premier regroupe les meilleurs traitements intégrés (T3 et T4) et le second les témoins (T1 et T2). Les traitements intermédiaires (T5 à T8) sont considérés comme transitoires.

Par rapport à l'effet de la fertilisation intégrée, les résultats confirment que la combinaison d'apports organiques et minéraux optimise le rendement en assurant une nutrition complète et continue. L'association fumier + engrais minéraux favorise un meilleur développement végétatif, une augmentation du nombre et de la taille des tubercules, et donc un rendement global supérieur.

En ce qui est du rôle du compost COEJEBU, ce dernier, combiné avec des engrais minéraux, contribue à augmenter le rendement par rapport aux témoins, démontrant son potentiel agronomique. L'écart avec les meilleurs traitements (T3 et T4) indique que l'optimisation des doses de compost et minéraux pourrait rendre ce traitement plus compétitif.

Les observations sont en accord avec les études indiquant que la fertilisation intégrée (organique + minérale) est supérieure aux apports uniques, permettant à la fois un accroissement de la fertilité des sols et une meilleure productivité (Marschner, 2012; Taiz *et al.*, 2015). Les faibles rendements des témoins confirment l'importance de l'apport en nutriments pour des sols pauvres ou moyennement fertiles, typiques de la région de Karusi.

En bref, les traitements intégrés combinant fumier de vache et engrais minéraux (T3 et T4) permettent de maximiser le rendement de la pomme de terre. Le compost COEJEBU améliore significativement le rendement par rapport aux témoins, mais nécessite une optimisation pour égaler les meilleures combinaisons minérales. Ces résultats confirment que la fertilisation raisonnée et intégrée est essentielle pour améliorer la production de pommes de terre dans les conditions agroécologiques de Karusi.

Le rendement potentiel de la variété utilisée étant de 30 tonnes/ha. Pour le cas de notre étude, la valeur maximale du rendement réel n'est que de 6,291 tonnes/ha. Cette faible valeur pourrait s'expliquer par le retard dans la plantation, la faible précipitation durant les premiers mois (70.2mm) après la plantation et le deuxième mois(37.7mm) ; période critique à la tubérisation. En plus des contraintes climatiques, la bactériose et les termites ont également causé une chute non négligeable du rendement. La différence significative dans le rendement entre les traitements confirme l'importance d'une fertilisation appropriée pour maximiser la production.

Ces résultats sont en accord avec des études qui démontrent que l'apport équilibré de nutriments essentiels peut augmenter significativement le rendement des cultures (Tilman *et al.*, 2011 et Solomon *et al.*, 2019)).

Cependant, il est important de noter que le rendement observé reste en dessous des attentes potentielles pour la variété utilisée. Les facteurs limitants identifiés tels que ci- haut cités soulignent la nécessité d'une gestion intégrée des cultures pour améliorer les rendements. Des pratiques telles que la gestion de l'irrigation et la protection contre les maladies (Agrios, 2005 et Kavange *et al.*, 2018) peuvent également contribuer à améliorer les rendements. Les résultats de l'analyse suggèrent que l'utilisation de fertilisants spécifiques comme le FV+60-90-60+dolomie et le FV+60-75-60+dolomie peut améliorer significativement les performances de croissance et de production de la pomme de terre. Les agriculteurs devraient envisager d'adopter ces pratiques pour optimiser leurs rendements. De plus, il est essentiel de prendre en compte les facteurs environnementaux pour maximiser l'efficacité des interventions agronomiques. Une approche intégrée, combinant une fertilisation adéquate avec une gestion appropriée des cultures (Pretty, 2018 et Algerienne *et al.*, 2018), est essentielle pour assurer une production durable et rentable.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Conclusion générale

La présente étude avait pour objectif général d'évaluer l'effet de la fertilisation intégrée, combinant des fertilisants organiques et minéraux, sur la croissance, le rendement et la durabilité de la culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) en sol acide du Burundi.

Les résultats obtenus montrent que les différentes combinaisons de fertilisants ont influencé significativement plusieurs paramètres de croissance et de production de la pomme de terre, notamment la hauteur des plants, le nombre de tiges par plant, le nombre total de tubercules, le nombre de gros tubercules ainsi que le rendement final.

Concernant la croissance végétative, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements aux stades précoces (40 et 54 jours après plantation). Cependant, aux stades avancés (68 et 82 jours après plantation), les traitements associant le fumier de vache aux engrais minéraux ont montré des performances significativement supérieures à celles des témoins. Les traitements **FV+60-75-60+dolomie (T4)** et **FV+60-90-60+dolomie (T3)** ont enregistré les hauteurs de plants les plus élevées ainsi que le plus grand nombre de tiges par plant.

Pour les paramètres de rendement, les analyses statistiques ont révélé des différences hautement significatives entre les traitements. Les traitements T3 et T4 ont produit respectivement **8,8 et 7,5 tubercules par plant**, ainsi que les plus grands nombres de gros tubercules. Ils ont également enregistré les rendements les plus élevés avec **6 291,04 kg/ha** et **6 202,43 kg/ha** respectivement pour T3 et T4. Ces résultats démontrent clairement que l'association du fumier de vache avec des doses adaptées d'engrais minéraux améliore considérablement les performances agronomiques de la pomme de terre.

Les résultats ont également montré que le traitement **COEJEBU+60-90-60+dolomie (T8)** a obtenu des performances intermédiaires avec un rendement de **5 526,88 kg/ha**, supérieur aux témoins mais légèrement inférieur aux traitements optimaux à base de fumier de vache. Cette observation indique que le compost COEJEBU constitue une alternative intéressante pour améliorer la fertilité des sols et la productivité de la pomme de terre, même si, dans les conditions de cette étude, il n'a pas totalement substitué l'efficacité du fumier de vache.

L'étude a également permis de vérifier les hypothèses formulées au départ :

- **L'hypothèse H1 est confirmée**, car la fertilisation intégrée organo-minérale a amélioré significativement la croissance et le rendement par rapport aux traitements utilisant uniquement la fumure organique ou l'absence de fertilisation.
- **L'hypothèse H2 est également confirmée**, puisque les traitements T3 (FV+60-90-60+dolomie) et T4 (FV+60-75-60+dolomie) se sont révélés être les combinaisons les plus performantes dans les conditions agroécologiques de Karusi.
- **L'hypothèse H3 est partiellement confirmée**, car le traitement T4, correspondant à une dose phosphatée intermédiaire (75 kg P_2O_5 /ha), a obtenu un rendement statistiquement comparable à celui du traitement T3 utilisant une dose plus élevée (90 kg P_2O_5 /ha). Ce résultat suggère qu'une réduction modérée de la fertilisation phosphatée permet de maintenir une productivité élevée tout en limitant les coûts de production et les risques de dégradation environnementale.
- **L'hypothèse H4 est partiellement infirmée**, car le traitement T3(FV+60-90-60+dolomie) a obtenu un rendement statistiquement comparable à celui du traitement T8 (Compost COEJEBU+60-90-60+dolomie), ce qui montre l'intégration du tricompost dans les programmes de fertilisation phosphatée peut constituer une approche prometteuse pour accroître durablement la productivité de la pomme de terre au Burundi.

Malgré les effets positifs observés, les rendements obtenus sont restés largement inférieurs au potentiel variétal estimé à environ 30 t/ha. Cette situation pourrait s'expliquer par plusieurs contraintes rencontrées durant l'expérimentation, notamment le retard de plantation, l'insuffisance des précipitations pendant les phases critiques de développement (70.2mm première mois après la plantation et 37.7mm le deuxième mois), les attaques de bactériose et de termites ainsi que l'absence d'irrigation complémentaire.

En définitive, cette étude démontre que la fertilisation intégrée constitue une stratégie efficace pour améliorer durablement la production de pomme de terre dans la province de Karusi. Les résultats obtenus fournissent des références scientifiques locales utiles pour orienter les recommandations techniques en matière de fertilisation et contribuer à l'amélioration de la sécurité alimentaire et des revenus des producteurs.

En somme, de façon précise, les résultats de cette recherche montrent que la combinaison **20 t/ha de fumier de vache associée à la formule NPK 60-75-60 ou 60-90-60 complétée par la**

dolomie constitue actuellement la meilleure stratégie de fertilisation pour la culture de la pomme de terre dans les conditions agroécologiques de Karusi, tout en ouvrant des perspectives prometteuses pour l'utilisation future du tricompost COEJEBU dans une agriculture durable et respectueuse de l'environnement.

Recommandations

Au regard des résultats obtenus, les recommandations suivantes sont formulées :

Aux producteurs agricoles

1. Adopter selon les moyens les traitements **FV+60-75-60+dolomie (T4)** et **FV+60-90-60+dolomie (T3)** qui ont donné les meilleures performances de croissance et de rendement.
2. Privilégier la fertilisation intégrée associant fumier de vache et engrais minéraux afin d'assurer une disponibilité équilibrée des nutriments et une amélioration durable de la fertilité des sols.
3. Respecter le calendrier cultural recommandé pour la pomme de terre afin d'éviter les effets négatifs liés aux retards de plantation.
4. Mettre en place des pratiques de gestion de l'eau, notamment des systèmes d'irrigation complémentaires, afin de réduire les effets des déficits pluviométriques pendant les périodes critiques de croissance et de tubérisation.
5. Renforcer les mesures de lutte contre les maladies et ravageurs, particulièrement la bactériose et les termites, qui ont fortement contribué à la réduction du rendement.

Aux chercheurs

1. Poursuivre les recherches sur le compost COEJEBU afin de déterminer les doses optimales susceptibles d'atteindre des performances comparables à celles du fumier de vache.
2. Réaliser des études similaires dans d'autres zones agroécologiques du Burundi afin de valider et d'adapter les recommandations de fertilisation aux différents contextes pédoclimatiques.
3. Effectuer systématiquement des analyses physicochimiques des sols avant l'installation des essais ainsi que des analyses de composition des fertilisants organiques utilisés afin d'améliorer la précision des recommandations.
4. Mener des études intégrant l'évaluation économique des différentes combinaisons de fertilisation afin d'identifier les options les plus rentables pour les producteurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agegehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I.** (2016). Benefits of integrated use of biochar, compost and inorganic fertilizer on soil fertility and crop yield in tropical agro-ecosystems. *Soil and Tillage Research*, 160, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.008>
- Asaye, Z., Kim, D.-G., Yimer, F., Prost, K., Obsa, O., Tadesse, M., Gebrehiwot, M., & Brüggemann, N.** (2022). Effects of combined application of compost and mineral fertilizer on soil carbon and nutrient content, yield, and agronomic nitrogen use efficiency in maize–potato cropping systems in Southern Ethiopia. *Land*, 11(6), 784. <https://doi.org/10.3390/land11060784>
- Bararyenya, A., Nahayo, P. C., Inamahoro, M., Vyizigiro, E., Gahungu, R., Buhanza, G., & Nyawakira, D.** (2014). Seed potato production in Burundi: strategies for improvement. In *ECHO–East Africa Symposium 28th to 30th October*. Bararyenya, A., Inamahoro, M., Ntahimpera, A. N., & Ndayihanzamaso, P. (2012). *La culture de la pomme de terre au Burundi : Acquis de la recherche et perspectives*. Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU).14p.
- Banque Africaine de Développement.** (2022b). *Rapport sur le développement agricole et la sécurité alimentaire en Afrique de l'Est*. BAD.189p.
- Bélières, J.-F.** (2020). Etude chaîne de valeur pomme de terre dans les régions d'Analamanga, Itasy et Vakinankaratra. Partie 1: importance de la culture de la pomme de terre pour les exploitations agricoles et rentabilité de la production de plants de semence et de consommation. *[Rapport de recherche] CIRAD*. 2020. {hal-02963574}. 105p.
- Bradshaw, J. E.** (2007). Potato-breeding strategy. In D. Vreugdenhil (Ed.), *Potato biology and biotechnology: Advances and perspectives* (pp. 157–177). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51018-1.50050-6>
- Centre International de la Pomme de Terre.** (2018). Guide de production intégrée de la pomme de terre en Afrique de l'Est. *CIP*.9p.
- Centre International de la Pomme de Terre.** (2023). La pomme de terre et la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. *CIP*.35p.
- Chaux, C.** (1994). Production légumière. Lavoisier.
- Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée.** (2018). *Guide de la fertilisation raisonnée* (2e éd.). France Agricole.

Centre wallon de Recherches Agronomiques. (2018). Fertilisation de la pomme de terre : Principe de fertilisation, incidence d'un excès d'azote et besoins de la culture en azote (Fiche technique No. 12). CRA-W.

Crosnier, J.-C. (1975). La culture de la pomme de terre. *INRA*.

Darpooux, H. (1967). La fertilisation de la pomme de terre. *Institut National Agronomique*.

Delaplace, P. (2007). Caractérisation physiologique et biochimique du processus de vieillissement du tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) [Thèse de doctorat, Université de Liège]. ORBi. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/158541>

Djani, L., & Laimeche, T. (2024). Contribution à l'étude de l'efficacité des nématicides homologués en Algérie sur les nématodes à galle du genre *Meloidogyne* sur la culture de la pomme de terre conduite en hors sol [Mémoire de fin d'études, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].

Essehi, J. L., Gala, B. T. J., Kassin, K. E., Soumahin, E. F., Okoma, K. M., Obouayeba, S., & Yao-Kouamé, A. (2016). Impact de la fertilisation organique sur quelques caractéristiques du sol et les paramètres de croissance de l'hévéa (*Hevea brasiliensis* Müll Arg.) en phase d'installation à Bonoua dans le Sud de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 27(1), 143–154.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). Le maïs dans les systèmes alimentaires africains. *FAO*.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Potato cultivation and sustainable production systems. *FAO*. 94p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Potato value chain development and food security in East Africa. *FAO*.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). FAOSTAT statistical database. *FAO*. <https://www.fao.org/faostat/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). Climate-smart agriculture and potato production in Africa. *FAO*.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). Climate-smart agriculture in Burundi: Strengthening resilience of potato farming systems. *FAO*.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). Impacts des changements climatiques sur les productions agricoles en Afrique de l'Est. *FAO*.

Giller, K. E., Corbeels, M., Nyamangara, J., Triomphe, B., Affholder, F., Scopel, E., & Titttonell, P. (2011). A research agenda to explore the role of conservation agriculture in African smallholder farming systems. *Field Crops Research*, 124(3), 468–472.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.04.010>

Girma, B., Abera, G., & Wolde-Meskel, E. (2020). Effects of integrated nutrient management on soil fertility and crop productivity: A review. *International Journal of Agronomy*, Article 8904572. <https://doi.org/10.1155/2020/8904572>

Girma, B., Biazin, B., Beyene, S., & Lemaga, B. (2020). Integrated application of organic and blended mineral fertilizers improves potato productivity and income for smallholder farmers in acidic soils. *Environment and Natural Resources Research*, 10(1), 61–74.

<https://doi.org/10.5539/enrr.v10n1p61>

Giroux, M., Dubé, A., & Barnett, G. M. (1984). Effet de la fertilisation phosphatée sur la pomme de terre en relation avec l'analyse du sol et la source de phosphore utilisée. *Canadian Journal of Soil Science*, 64(3), 369–381. <https://doi.org/10.4141/cjss84-038>

Gondwe, R. L., Mwale, C., Banda, T., et al. (2017). Lack of yield response in potato (*Solanum tuberosum* L.) to phosphate fertilizer under contrasting soil types varying in phosphate absorption coefficient and available phosphate. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63(2), 171–177.

<https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1282300>

Harahagazwe, D., Ledent, J. F., & Rusuku, G. (2012). Growth analysis and modelling of CIP potato genotypes for their characterization in two contrasting environments of Burundi. *African Journal of Agricultural Research*, 7(46), 6173–6185. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.781>

Ilyes, M., Houidi, H., & Ahmadi, A. (2007). Contribution à l'étude de l'effet de la fertilisation azotée-potassique sur la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L., var. Condor) dans la région du Souf [Mémoire de fin d'études, Université Kasdi Merbah-Ouargla].

Institut de Statistiques et d'Études Économiques du Burundi. (2020). Annuaire statistique du Burundi. *ISTEEBU*.

Institut des Sciences Agronomiques du Burundi. (2006). Résultats des essais de fertilisation minérale de la pomme de terre dans les centres semenciers de Munanira, Nyakararo et Kajondi (Rapport technique). *ISABU*.

Institut des Sciences Agronomiques du Burundi. (2018). Guide technique de production de la pomme de terre au Burundi. *ISABU*.

Jeannequin, B., Plénet, D., Carlin, F., Chauvin, J.-E., & Dosba, F. (2015). Pertes alimentaires dans les filières fruits, légumes et pomme de terre. *Innovations Agronomiques*, 48, 59–77.

Kavange, A. B., Cishesa, T., Zamukulu, P., Kulimushi, J., & Mushamalirwa, D. G. (2018). Effets des écartements et des engrais organiques sur le rendement de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) à Walungu dans l'Est de la RD Congo. *Afrique Science*, 14(3), 316–322.

Kolech, S. A., Halseth, D., Perry, K., De Jong, W., Tiruneh, F. M., & Wolfe, D. (2015). Identification of farmer priorities in potato production through participatory variety selection. *American Journal of Potato Research*, 92(6), 648–661. <https://doi.org/10.1007/s12230-015-9478-0>

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>

Lal, R. (2020). Managing soils for food security and climate change. *Advances in Agronomy*, 160, 1–35. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.01.001>

Liu, S. (2020). Effects of organic fertilizer combined with inorganic fertilizer on growth, yield and quality of potato. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 49(3), 32–39.

Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press.

Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage. (2023). Politique nationale agricole du Burundi : Situation et perspectives du secteur agricole. *Gouvernement du Burundi*.

Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Élevage. (2021). Plan national d'investissement agricole et de sécurité alimentaire du Burundi (PNIASA 2021–2027). *Gouvernement du Burundi*.

Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Élevage. (2021). Politique nationale de développement agricole au Burundi. *Gouvernement du Burundi*.

Ngoyi, A. N., Masanga, G. K., Bila, H. M., Yashima, A. Y., Milambo, M. M., Ndjibu, L. N., & Baboy, L. L. (2020). Effet des amendements organiques sur la croissance et le rendement de la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) cultivée sur un sol dégradé dans la région de Kabinda, République Démocratique du Congo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(5), 1812–1819.

Niyongabo, P., Ndayiragije, A., & Nkezabahizi, D. (2020). Effets des densités de plantation sur le rendement de la pomme de terre dans les hautes terres du Burundi. *Revue Burundaise des Sciences Agronomiques*, 15(2), 45–58.

Oli, T. S. (2023). Effect of integrated NP and vermicompost fertilizer rate on yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Western Ethiopia. *Journal of Chemical, Environmental and Biological Engineering*, 7(1), 31–37.

<https://doi.org/10.11648/j.jcebe.20230701.13>

Otieno, H. M. O., & Mageto, E. K. (2021). A review on yield response to nitrogen, potassium and manure applications in potato (*Solanum tuberosum* L.) production. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 6(1), 80–86. <https://doi.org/10.26832/24566632.2021.0601011>

Palm, C. A., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., & Grace, P. (2019). Organic inputs for soil fertility management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 283, 106570.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106570>

Programme Alimentaire Mondial. (2023). Situation de la sécurité alimentaire au Burundi. PAM.

Radicetti, E., Mancinelli, R., Moschetti, R., & Campiglia, E. (2025). Combined effects of tillage and fertilization sources on soil characteristics and tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) in a Mediterranean environment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.

<https://doi.org/10.1007/s42729-025-02304-3>

République du Burundi, Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Élevage, & Institut National de la Statistique du Burundi. (2023). Analyse globale de la vulnérabilité, de la sécurité alimentaire et de la nutrition au Burundi (AGVSAN 2023). *Gouvernement du Burundi*.

Rousselle, P., & Crosnier, J.-C. (2018). La pomme de terre : Production, amélioration et protection. *Éditions Quae*.

Rousselle, P., Robert, Y., & Crosnier, J.-C. (1996). La pomme de terre : Production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations. *INRA Éditions*.

Sedkaoui, T. (2018). Effet de la fertilisation organique et minérale sur la qualité et le rendement chez deux variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) Liseta et Spunta [Mémoire de licence, Université Mouloud Mammeri]. <https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/4601>

Senbeta, A. F., et al. (2021). Sensitivity of potato yield and biomass to climate change effects in Gisozi, Burundi, and Washington, USA, and assessment of LINTUL4 model behavior. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 115(1), 5–30.

<https://doi.org/10.12895/jaeid.20211.1132>

Singh, R., Patel, V., Nishad, D., & Kumar, A. (2024). Effect of integrated nutrient management on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(2), 56–63. <https://doi.org/10.9734/ajsspn/2024/v10i2260>

Solomon, F., et al. (2019). Evaluation of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties for yield and yield components. *Journal of Horticulture and Forestry*, 11(3), 48–53. <https://doi.org/10.5897/JHF2016.0475>

Soltner, D. (2012). Les bases de la production végétale (Tome 1). *Sciences et Techniques Agricoles*.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2015). Plant physiology and development (6th ed.). *Sinauer Associates*.

Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K. E., Merckx, R., Mkwunye, U., & Sanginga, N. (2010). Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlooks on Agriculture*, 39(1), 17–24.

<https://doi.org/10.5367/oa.2010.0001>

Vanlauwe, B., Coyne, D., Gockowski, J., Hauser, S., Nziguheba, G., Pypers, P., Asare-Addo, K., & Taulya, G. (2019). Integrated soil fertility management. Operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlooks on Agriculture*, 39(1), 17–24. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0586-1>

Vanlauwe, B., Descheemaeker, K., Giller, K. E., Huising, J., Merckx, R., Nziguheba, G., ... & Zingore, S. (2015). Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. *Soil*, 1(1), 491-508.

Vanlauwe, B., Wendt, J., Giller, K. E., Corbeels, M., Gerard, B., & Nolte, C. (2019). Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Unravelling local adaptation. *SOIL*, 5(2), 491–508. <https://doi.org/10.5194/soil-5-491-2019>

Wondimu, G., Tana, T., & Lemma, W. (2019). Integrated nutrient management effects on potato (*Solanum tuberosum* L.) yield and soil properties in the Ethiopian highlands. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 10(3), 34–43.

Yimer, F., & Kebede, T. (2022). Effects of combined application of compost and mineral fertilizer on soil carbon and nutrient content, yield, and agronomic nitrogen use efficiency in maize–potato cropping systems in Southern Ethiopia. *Land*, 11(6), 784. <https://doi.org/10.3390/land11060784>

Zhang, W., Wang, X., Liu, Y., & Chen, X. (2017). Effects of fertilizer application on crop productivity under water stress. *Agricultural Water Management*, 179, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.012>

Zingore, S., Murwira, H. K., Delve, R. J., & Giller, K. E. (2008). Variable grain yields, responses to N, P and manure applications across soil fertility gradients on smallholder farms in Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(1–2), 112–126. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.004>