



Analyse comparative de l'indice de récolte des génotypes élités de soja en réponse à la fertilisation phosphatée au DAP (18-46) à Ngandajika

LANDU NDAMBO Gaston¹, Robert MUKENDI KAMAMBO³, KIZUNGU VUMILIA Roger^{2,3},
TSHIBAMBA MUKENDI John^{1,3}

¹Université Officielle de Mbujimayi, RD Congo

²Universuté de Kinshasa, RD Congo

³Institut National d'Etudes et de Recherches Agronomiques, RD Congo

Résumé : La faible productivité du soja en République Démocratique du Congo nécessite l'évaluation de génotypes élités adaptés aux conditions locales. L'objectif de cette étude était de comparer sept génotypes de soja sur ferralsols de Ngandajika afin d'identifier ceux qui convertissent le mieux la biomasse en rendement grain. L'hypothèse posait que les génotypes présentent des différences significatives dans leur indice de récolte. L'essai a été conduit en dispositif en parcelles divisées avec trois répétitions. Les mesures ont porté sur les paramètres de croissance et de production, et les données ont été analysées par ANOVA et classification multivariée. Les résultats montrent que les génotypes AFYA, MAKSOY et TGX1991-22FZ se distinguent par des indices de récolte supérieurs, tandis que TGX2045-2FZ reste le moins performant. En conclusion, l'étude confirme la variabilité génétique de l'indice de récolte et souligne l'importance de sélectionner des génotypes élités adaptés pour renforcer durablement la filière soja à Ngandajika.

Mots-clés : soja, génotypes élités, indice de récolte, biomasse, rendement, Ngandajika

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.21264257>

1 Introduction

Le soja (*Glycine max* L.) occupe une place stratégique dans l'alimentation humaine et animale grâce à sa richesse en protéines de haute qualité et en huile végétale polyinsaturée (Labalette et *al.*, 2010).

Outre son intérêt nutritionnel, le soja présente des bénéfices pour la santé humaine, liés à la présence d'isoflavones et d'acides aminés essentiels, qui contribuent à la prévention de maladies cardiovasculaires, hormonales et osseuses (Castelo-Branco et Cancelo Hidalgo, 2011 ; Messina et Wu, 2009 ; Setchell et Cassidy, 1999).

En République Démocratique du Congo, et particulièrement au Kasai-Oriental, le soja est une culture de rente dont la valeur marchande dépasse celle des céréales (N'zoue et *al.*, 2003 ; Kafirongo, 2015 ; Zamukulu et *al.*, 2018). Cependant, sa productivité reste limitée par la dégradation de la fertilité des sols, le changement climatique et l'utilisation de variétés peu performantes (Mpunga et *al.*, 2016).

Parmi les critères agronomiques permettant d'évaluer l'efficacité des variétés, l'indice de récolte constitue un indicateur clé. Il traduit la capacité d'un génotype à convertir la biomasse végétative en rendement grain, et reflète l'équilibre entre croissance et reproduction (Specht & Lopez, 2021). Cette efficacité de conversion peut être renforcée par plusieurs facteurs, notamment la disponibilité en nutriments comme le phosphore et l'azote (Salvagiotti et *al.*, 2021), la qualité de la fertilisation (Guanzon & Rivera, 2025), la vigueur génétique des génotypes (Diers et *al.*, 2018 ; Lopez et *al.*, 2021) ainsi que les conditions agro-climatiques locales (Löwik, 2023).

Dans les ferralsols tropicaux, où les ressources nutritives sont limitées, l'indice de récolte devient un paramètre déterminant pour sélectionner les génotypes les plus adaptés. Plusieurs études récentes (Kabyzbekova et *al.*, 2024 ; Serafin-Andrzejewska et *al.*, 2024 ; Tidjani et *al.*, 2022, Ngoyi et *al.* 2026) confirment que la fertilisation et l'inoculation des semences améliorent la fixation biologique de l'azote et la productivité des légumineuses.

Dans ce contexte, l'amélioration de la productivité passe par l'introduction de nouveaux génotypes élités et par une gestion raisonnée de la fertilisation.

A cet égard, l'application d'engrais phosphatés DAP (18-46) améliorerait significativement la productivité des génotypes élités de soja, par conséquent leur indice de récolte dans le ferralsol de l'INERA Ngandajika.

L'objectif de cette étude est d'identifier le génotype élite de soja capable de valoriser efficacement les apports de fertilisation à l'engrais phosphaté DAP (18-46) en convertir la biomasse en rendement grain, afin de proposer des solutions adaptées aux conditions édapho-climatiques de Ngandajika et de contribuer à une intensification durable de la culture du soja.

2. Matériels et méthodes

2.1. Cadre géographique du site d'étude

Le site du centre de l'Institut National pour l'Etude et la Recherche agronomique l'INERA Ngandajika (figure 1) a servi de cadre expérimental pour l'étude sous examen. Situé à 7Km de la cité de Ngandajika, dans le territoire portant le même nom, dont les coordonnées géographiques enregistrées à l'aide de « Global Positioning Systems » (GPS), dans le site de l'expérimentation sont les suivantes : 06°48,497'', de latitude Sud et 23°57'488'' de longitude Est, à 765 m d'altitude moyenne (Anonyme, 2003). C'est

une zone à vocation agricole par excellence pour les provinces du Kasai Oriental et de la Lomami/RD. Congo.

Le relief de Ngandajika est dominé par les plaines et les plateaux. La végétation type de Ngandajika est la savane herbeuse boisée (Rishirumuhirwa *et al.*, 1989). Elle est dominée par les poacées qui couvrent plus de 70% de la superficie par m². Les espèces dominantes sont *Imperata cylindrica* sur les sols lourds et *Hyparrhenya dissoluta*, *Digitaria brazzoli*, *Triumfetta musteru*, *Eriosema griseu*, *Mimosa pudica* sporadiquement quelques espèces de la famille de légumineuse comme *Mucuna Sp*, *Stylosanthes Sp*, rencontrées dans les bas-fonds sur les sols légers. A l'instar d'autres savanes boisées, on trouve de galeries forestières le long des rivières et ruisseaux

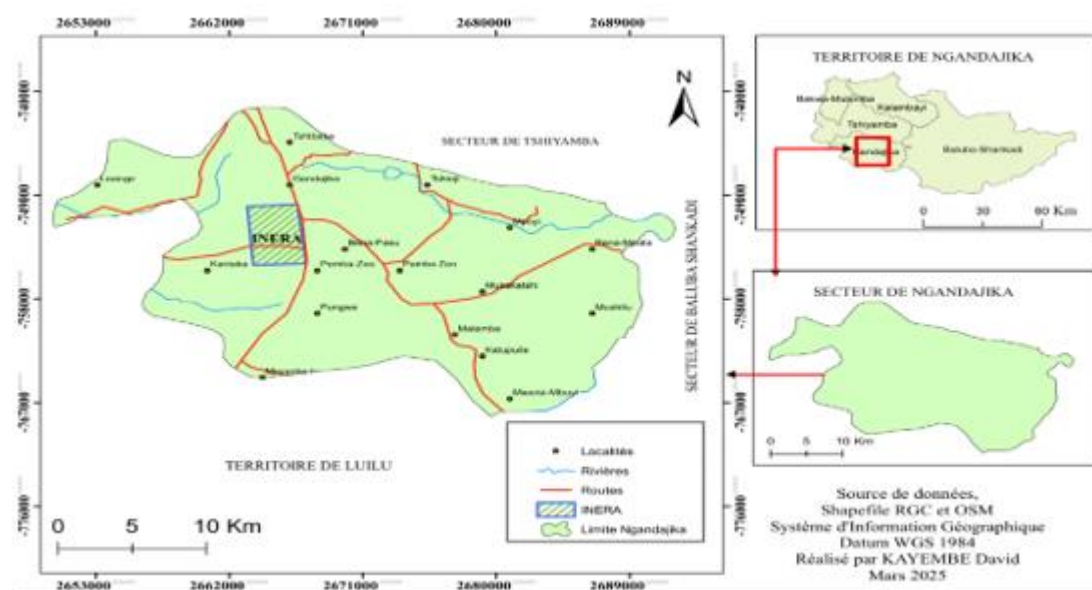


Figure 1. Localisation de site d'étude INERA sur la carte de territoire de Ngandajika

2.2 Matériels

2.2.1. Matériels biologiques

Les matériels biologiques de notre étude sont les 7 génotypes de soja parmi lesquels certains sont venues de l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), caractérisées au programme national de légumineuse de l'Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques INERA/Ngandajika qui ont été utilisées notamment : AFYA, MAKSOY, SOPROSOY, TGX2045-2FZ, TGX1991-22F, TGX2031-03FZ et TGX2033-53GZ.

2.2.2. Fertilisant

Comme matériel de fertilisation, l'engrais DAP (18-46) sous forme granules a été utilisé

2.2.3. Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif en parcelles divisées (Split-plot) à deux facteurs, avec trois répétitions, les génotypes constituant le facteur principal avec sept niveaux en raison d'un génotype par

niveau et les doses croissantes de DAP (18-46) comme deuxième le facteur avec 6 niveaux de fertilisation notamment : 0kg/ha ; 50kg/ha ; 100kg/ha ; 150 kg/ha ; 200kg/ha et 250 kg/ ha de DAP (18-46).

Sur le plan pratique, chaque parcelle expérimentale comportait trois lignes de soja espacées de 60 cm, sur une longueur de 3 m chacune, soit une superficie utile de 2 m × 3 m. Les plants étaient disposés à un intervalle de 10 cm, ce qui correspond à 30 plants par ligne et un total de 90 plants par parcelle. L'effet de bord a été pris en compte afin de garantir la fiabilité des mesures et la représentativité des résultats.

2.2.4. Variables mesurées

Dans le but d'identifier les génotypes capables de valoriser efficacement les apports de fertilisation et de convertir la biomasse en rendement grain du soja, les mensurations primaires suivantes sur les variables de croissance et de production ont été prélevées. Il s'agit du diamètre au collet, la hauteur de plants et la surface foliaire, le nombre de ramification, le nombre de gousses par plant, le nombre de gousses vides par plant, longueur de gousses par plant, le nombre de graines par gousses, le poids biomasse, la production parcellaire qui ont fait l'objet de l'analyse factorielle de correspondance en fin d'établir le degré de corrélations et en fin, les mesures dérivées nomment le rendement en tonne par hectare et l'indice de récolte sont intervenus.

$$Rdt = PP \times CR$$

$$HI = \text{poids de grains (rendement utile)} \div \text{Biomasse totale à la récolte} \times 100$$

2.2.5. Analyses statistiques

Les données expérimentales ont été traitées à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) en dispositif split plot, afin de comparer les moyennes de rendement entre les variétés (facteur principal) et des doses croissantes de DAP (18-46) (facteur secondaire). Lorsque des différences significatives ont été observées, les moyennes ont été comparées à l'aide du test de Tukey. Des analyses multivariées notamment le dendrogramme pour classer les génotypes en fonction de leur indice de récolte et les analyses factorielles de correspondance pour quantifier le degré de relations entre les variables végétatives et de production observées ont été respectivement réalisés.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

Cette partie de résultats met en lumière les potentialités des génotypes élités de soja et leur capacité à convertir le poids en frais en poids sec qui est le rendement en grains sous contrainte de doses croissantes de la fertilisation à base de l'engrais DAP (18-46). Les résultats sont consignés dans le tableau 1.

3.1.1. Effets de génotypes élités et de doses d'engrais DAP (18-46) sur l'indice de récolte

Tableau 1. Interaction entre génotypes élités de soja et les doses croissantes d'engrais DAP (18-46) sur l'indice de récolte de soja.

Du tableau 1, il découle que l'analyse statistique révèle des différences significatives entre génotypes au seuil de 0,05. Dans l'ensemble, Les génotypes MAKSOY, TGX1991-22FZ et AFYA, montre un grand pourcentage de l'indice de récolte, montrant une bonne capacité de convertir leurs poids vifs en poids sec et jouer positivement au rendement en grains de soja dans la région de Ngandajika. Et les génotypes SOPROSOY, TGX 2031-03FZ et TGX 2033-53GZ ont un pouvoir intermédiaire de conversion de leurs poids biomasse en rendement et le génotype TGX2045-2FZ reste le plus inférieur par rapport à la conversion du poids biomasse en rendements sec.

Indice de récolte						
Génotypes	0kg/ha	50kg/ha	100kg/ha	150kg/ha	200kg/ha	250kg/ha
AFYA	19,8±9,52az	59,1±27,7aw	34,2±12,0by	35,6±6,64aby	41,4±17,1ax	34,0±2,67by
MAKSOY	11,9±1,80cy	40,9±10,8bw	38,1±14,5ax	37,4±3,44ax	36,4±13,7bx	40,8±18,6aw
SOPROSOY	18,8±3,56ax	38,4±6,97bcw	37,0±11,8aw	35,9±4,67abw	36,9±2,26bw	37,6±5,12abw
TGX1991-22FZ	13,6±7,12by	31,7± 3,23cw	26,5 ±5,07cx	31,7± 9,15bw	31,0±7,30cw	33,7±13,3bw
TGX2031-03FZ	9,89±2,80cy	31,2±9,49cw	34,7±7,34bw	26,8±9,07cx	26,9±4,92dx	30,7±4,14cw
TGX203353GZ	13,5±1,65bz	27,1±4,66dy	31,5±2,72bx	39,2±22,0aw	27,2±5,08cy	28,8±6,13cy
TGX2045-2FZ	12,6±3,78by	38,7±10,4bcw	39,5±8,93aw	29,9±7,81cx	36,7±3,54bw	28,4±9,86cx
CV	16	21,7	16,9	20	14,6	17,3
p-Value	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

Les moyennes suivies de la même lettre dans une colonne ne sont significativement différentes au seuil de 5% selon le test de LSD. La série de lettres (a, b, c et d) montre les différences entre les génotypes dans la colonne et la série (w,x,y et z) montre les différences entre les doses dans la ligne

3.1.2. Classification des génotypes élités de soja en fonction de leur indice de récolte

Partant du potentiel de conversion de poids biomasse de génotypes élités de soja, cette partie classe ces génotypes selon l'ordre de grandeur en fonction de l'indice de récolte pour en dégager la supériorité en termes de rendement en grain. Il ressort de la figure 1 qu'il y a 4 groupes de génotypes élités de soja en fonction de leur indice de récolte notamment : le premier est celui qui prends que le génotype AFYA par rapport à son indice de récolte plus élevé comparativement du groupe 2, celui des génotypes MAKSOY ET SOPROSOY, suivi de groupe de TGX2045-2FZ et enfin, le groupe des génotypes TGX2031-03FZ , TGX1991-22FZ et TGX2033-53GZ dont, parmi eux, deux sous-groupes se révèlent avec le génotype TGX2031-03FZ qui forme un sous-groupe distinct des génotypes TGX1991-22FZ et TGX2033-53GZ.

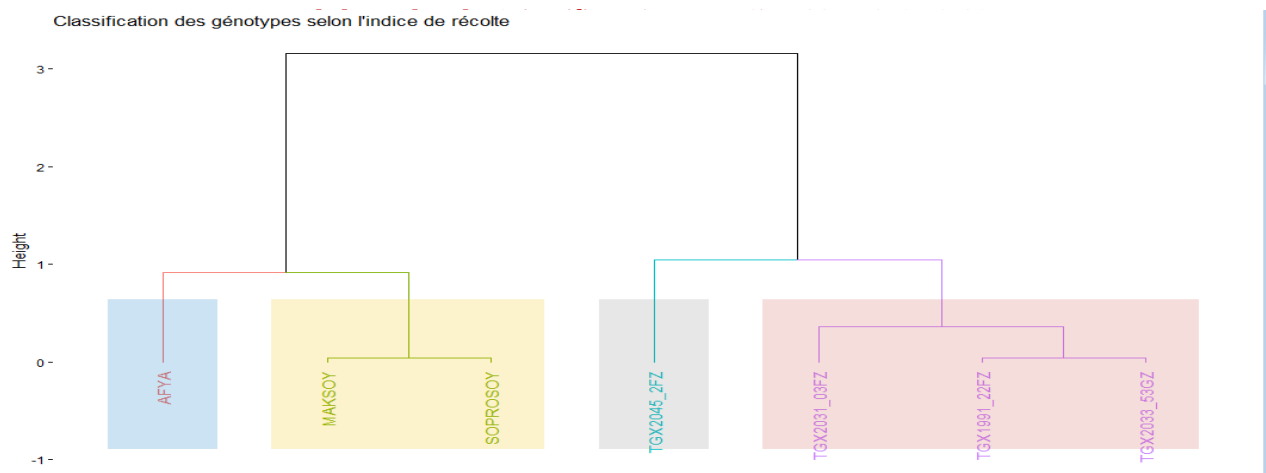


Figure 4. Classification des génotypes élités de soja en fonction de leur indice de récolte

3.1.3. Matrice de corrélation des variables végétatives et de production

Cette analyse, démontre le degré de relations entre les variables végétatives et de production sous étude. L'objectif est de quantifier ces relations pour établir en appui des analyses en composantes principales, les contributions inter-variables.

La matrice de corrélation met en évidence des relations variables entre les différents paramètres étudiés. On observe d'abord des corrélations positives modérées à relativement fortes entre certaines variables.

La corrélation la plus élevée ($r = 0,55$) est observée entre deux variables de production, indiquant une forte dépendance entre elles. De même, des corrélations positives notables sont relevées entre certaines paires de variables, notamment ($r = 0,47$), ($r = 0,44$) et ($r = 0,44$), traduisant des relations significatives entre des paramètres liés à la croissance et à la productivité. Par ailleurs, des corrélations positives plus faibles mais non négligeables sont observées pour des valeurs comprises entre 0,21 et 0,30, ce qui suggère des relations modérées entre certaines variables agronomiques.

En revanche, les corrélations faibles dominent largement la matrice, avec plusieurs coefficients proches de zéro ($r \approx 0,00$ à $0,10$), indiquant une quasi-indépendance entre de nombreux caractères. Concernant les corrélations négatives, celles-ci sont globalement faibles, avec des valeurs telles que $r = -0,14$, $r = -0,13$, $r = -0,12$ et $r = -0,11$, traduisant des relations inverses peu marquées entre certaines variables. Ces faibles valeurs négatives indiquent que l'augmentation d'une variable n'entraîne qu'une légère diminution de l'autre.

Ainsi, l'analyse détaillée montre que seules quelques variables présentent des liaisons significatives, tandis que la majorité des caractères évoluent de manière indépendante. Cette faible redondance entre variables confirme la pertinence de recourir à une Analyse en Composantes Principales (ACP) afin de mieux synthétiser l'information et identifier les structures sous-jacentes des données.

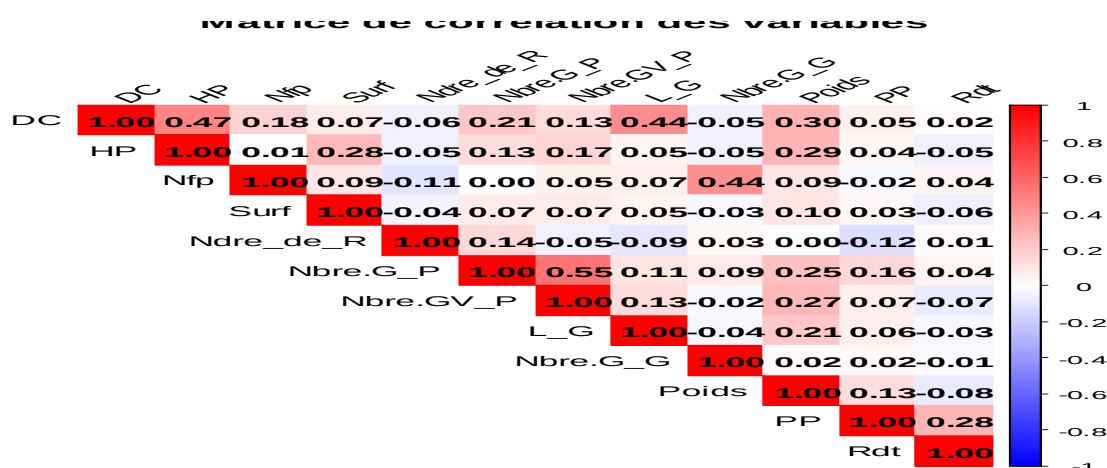


Figure 5. Degré de relations entre variables agronomiques de géotypes de soja sous influence de l'engrais DAP (18-46)

3.2. Discussion

A la lumière du tableau 1 et de la figure 4, les résultats montrent que l'indice de récolte révèle une supériorité de AFYA, MAKSOY et TGX1991-22FZ, traduisant leur meilleure capacité à convertir la biomasse en rendement en grains. À l'inverse, TGX2045-2FZ, malgré sa supériorité en biomasse aux doses fortes, présente une efficacité de conversion plus faible.

Ce résultat illustre un mécanisme physiologique de partition des assimilats : certains géotypes orientent davantage la biomasse vers les organes reproductifs, tandis que d'autres privilégient la croissance végétative (Silva et al., 2022). Et ils insistent sur la nécessité de sélectionner des géotypes combinant productivité et efficacité de conversion, afin d'assurer une stabilité du rendement dans différents environnements.

Cependant, cette tendance place le géotype AFYA en première position car, il se distingue par un indice de récolte supérieur, traduisant une meilleure aptitude à convertir la biomasse végétative en rendement grain, ce qui en fait le plus performant dans les conditions des ferralsols de Ngandajika.

À l'inverse, des géotypes comme MAKSOY, SOPROSOY et le groupe des géotypes TGX2045-2FZ, TGX2033-53GZ, TGX2031-03FZ et TGX1991-22FZ présentent des indices respectivement plus faibles, indiquant une moindre efficacité de conversion malgré des productions de biomasse parfois importantes.

Ce résultat confirme les observations de Silva (2022) et ceux de Ren (2024) sur la variabilité génétique de l'efficacité de conversion, et rejoint les conclusions de Zamuluku (2018) qui souligne que dans les sols tropicaux pauvres en phosphore, certains géotypes valorisent mieux les apports limités en nutriments.

Par ailleurs, les travaux de Konaté (2012) et Reddy (2025) rappellent que l'indice de récolte est un indicateur clé de rentabilité, car il traduit la proportion de biomasse effectivement transformée en rendement économique. En somme, cette classification montre que la sélection des génotypes ne doit pas seulement se baser sur la biomasse produite, mais surtout sur leur capacité à convertir efficacement cette biomasse en grains, garantissant ainsi une productivité et une rentabilité optimales pour la filière soja dans la région de Ngandajika.

La figure 5 sur la matrice de corrélation des variables végétatives et de production du soja met en évidence une structuration complexe où seules quelques relations sont significatives, tandis que la majorité des caractères évoluent de manière indépendante. Les corrélations positives modérées à fortes ($r = 0,55$; $r = 0,47$; $r = 0,44$) concernent des paramètres de croissance et de production, confirmant que la vigueur végétative et la biomasse sont directement liées au rendement, ce qui rejoint les observations de Silva (2022) sur la co-évolution génétique de ces traits.

Les corrélations plus faibles ($r = 0,21$ à $0,30$) traduisent des relations intermédiaires, notamment entre certaines composantes reproductives et la productivité, en cohérence avec les observations de Palange (2025) qui insiste sur l'importance de la fécondité et de la qualité des gousses dans la valorisation du rendement.

En revanche, la majorité des coefficients proches de zéro ($r \approx 0,00$ à $0,10$) indiquent une quasi-indépendance entre de nombreux caractères, ce qui confirme que chaque variable apporte une information spécifique et justifie le recours à l'ACP pour réduire la redondance et identifier les axes structurants.

Les corrélations négatives, bien que faibles ($r = -0,14$ à $-0,11$), traduisent des antagonismes légers entre croissance et reproduction, illustrant les compromis physiologiques décrits par Reddy (2025), où une allocation accrue de biomasse à la croissance peut réduire l'efficacité reproductive. Enfin, les travaux de Zamuluku (2018) en contexte tropical confirment que la variabilité des réponses du soja aux sols pauvres en phosphore se traduit par des corrélations faibles et hétérogènes, ce qui renforce la pertinence des analyses multivariées pour comprendre la structuration des caractères.

En somme, cette matrice montre que la performance du soja dépend d'un petit noyau de variables fortement liées, mais que la majorité des traits évoluent indépendamment, ce qui impose une fertilisation raisonnée et une sélection génétique adaptée pour optimiser simultanément croissance et rendement.

4. Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'évaluer et de classer sept génotypes élités de soja en fonction de leur indice de récolte sous différentes doses de fertilisation phosphatée au DAP (18-46) sur ferralsols de

Ngandajika. Les résultats obtenus ont montré que la fertilisation influence significativement l'efficacité de conversion de la biomasse en rendement grain, avec des différences marquées entre génotypes.

Parmi les génotypes testés, AFYA, MAKSOY et TGX1991-22FZ se sont distingués par des indices de récolte plus élevés, traduisant une meilleure aptitude à transformer la biomasse végétative en rendement économique. SOPROSOY et TGX2033-53GZ ont présenté des performances intermédiaires, tandis que TGX2045-2FZ s'est révélé le moins efficace malgré une production de biomasse importante.

La classification des génotypes selon leur indice de récolte constitue un outil pertinent pour orienter la sélection variétale dans la région. L'association d'une fertilisation raisonnée au DAP et du choix de génotypes performants offre une voie prometteuse pour l'intensification durable de la culture du soja sur ferralsols de Ngandajika. Des études complémentaires pourraient explorer l'interaction entre fertilisation phosphatée et inoculation des semences afin de renforcer davantage la productivité.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Castelo-Branco, C., & Cancelo Hidalgo, M. J. (2011). Optimizing soy isoflavones effect in postmenopausal women: The impact of timing on climacteric symptoms. *Gynecological Endocrinology*, 27(9), 696–700.
- [2] Diers, B. W., Specht, J. E., Rainey, K. M., Cregan, P. B., Nelson, R. L., Wang, D., Graef, G. L., Hyten, D. L., & Mian, M. A. R. (2018). Genetic architecture of soybean yield and agronomic traits. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 8(10), 3367–3375.
- [3] Guanzon, I. M., & Rivera, K. J. S. (2025). Enhancing biomass partitioning and yield traits in soybean (*Glycine max* L.) through *Bradyrhizobium* sp. and molybdenum fertilization. *Discover Plants*, 2(305).
- [4] Kabylbekova, G., Didorenko, S., Kassenov, R., Dalibaeva, A., & Alikulov, Z. (2024). Effect of pre-sowing treatment of soybean seeds with inoculant and microelements for yield and quality in south-east Kazakhstan. *OCL*, 31(3), Article 4001.
- [5] Kafirongo, M. J. (2015). Évaluation de la production et commercialisation du soja (*Glycine max*) dans le groupement de Bushumba, RD Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 13(1), 10–28.
- [6] Konaté, S. (2012). Alternatives à la fertilisation minérale des sols en riziculture pluviale de plateau : apports du soja et du niébé dans la fertilité d'un ferralsol hyperdystrique au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 54, 3859–3869.

- [7] Labalette, F., Schoving, C., Alric, F., Berger, M., Chambert, C., Champolivier, L., & autres auteurs. (2010). *Campagne expérimentale de soja et tournesol 2010*. Rapport CIRAD.
- [8] Lopez, M. A., Moreira, F. F., & Rainey, K. M. (2021). Genetic relationships among physiological processes, phenology, and grain yield in soybean (*Glycine max* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 651241.
- [9] Löwik, E. (2023). *Estimating soybean harvest index and nitrogen concentrations of grain and residue using globally available data*. MSc Thesis, Wageningen University.
- [10] Messina, M., & Wu, A. H. (2009). Perspectives on the soy–breast cancer relation. *American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), 1673S–1679S.
- [11] Mpunga, J. P. H. (2016). *Evaluation of promiscuous soybean varieties for agronomic and grain quality traits in maize/soybean intercropping systems in Kenya*. MSc Thesis, University of Nairobi.
- [12] N'zoue, J., Mondo, J., Kalumire, P., Ayagirwe, R., Bagula, E., Katunga, D., Baboy, L., Njukwe, E., Nabahungu, L., Ndjadi, S., & Mushagalusa, G. (2003). Étude sur la valeur marchande du soja en RDC. *FAO Report*.
- [13] Palange, P. (2025). Influence de la fécondité et de la qualité des gousses sur la valorisation du rendement du soja. *Journal of Agronomy*, 14(2), 115–124.
- [14] Ren, H., Qu, X., Hong, H., & Sun, L. (2024). Multi-environment QTL mapping identifies major genetic loci influencing soybean main stem node architecture. *PeerJ*, 12, e18539.
- [15] Reddy, R. (2025). Allocation physiologique de la biomasse et compromis entre croissance et reproduction chez le soja. *Agronomy Journal*, 117(3), 245–256.
- [16] Salvagiotti, F., Magnano, L., & Oslund, J. (2021). Estimating nitrogen, phosphorus, potassium, and sulfur uptake and requirement in soybean. *European Journal of Agronomy*, 127, 126289.
- [17] Serafin-Andrzejewska, M., Jama-Rodzeńska, A., Helios, W., Kozak, M., Lewandowska, S., & Zalewski, D. (2024). Influence of nitrogen fertilization and seed inoculation on soybean yields in south-western Poland. *Scientific Reports*, 14, 57008.
- [18] Setchell, K. D. R., & Cassidy, A. (1999). Dietary isoflavones: Biological effects and

- relevance to human health. *Journal of Nutrition*, 129(3), 758S–767S.
- [19] Silva, S., De Alca, F., Al-qahtani, W. H., Okla, M. K., Al-hashimi, A., Fernando, P., Jorge, D. M., Gravina, G. D. A., Zuffo, A. M., Filgueiras, A., Carvalho, C. B., Sousa, R. S., Prud, A., Pereira, D. A., Conceição, A., Leite, W. D. S., & Barbosa, G. (2022). Yield of soybean genotypes identified through GGE biplot and path analysis. *PLoS ONE*, 17(9), e0274726.
- [20] Specht, J. E., & Lopez, M. A. (2021). Physiological breeding for yield improvement in soybean: Solar radiation interception, conversion, and harvest index. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(12), 3887–3902.
- [21] Tidjani, A., Kiwia, A., Kimani, D., Harawa, R., Jama, B., & Sileshi, G. W. (2022). Variability in soybean yields, nutrient use efficiency, and profitability with phosphorus fertilizer and inoculants on smallholder farms in sub-Saharan Africa. *Experimental Agriculture*, 58, e3.
- [22] Zamukulu, P., Mondo, J., Kalumire, P., Ayagirwe, R., Bagula, E., Katunga, D., Baboy, L., Njukwe, E., Nabahungu, L., Ndjadi, S., & Mushagalusa, G. (2018). Réponse du soja (*Glycine max* L.) à des doses croissantes du DAP et Urée au Sud-Kivu, RD Congo. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(4), 953–964.
- [23] Zamuluku, P. (2018). Réponse du soja (*Glycine max* L.) à des doses croissantes de fertilisation phosphatée et azotée sur ferralsols tropicaux du Sud-Kivu.** Mémoire de Master en Agronomie, Université de Bukavu, République Démocratique du Congo, 85 p.
- [24] Zhen-feng, J., Liu, D., Wang, T., Li, X., Cui, Y., & Liu, Z. (2020). Concentration difference of auxin involved in stem development in soybean. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(4), 953–964.
- [25] Zoumana, K., Bi, G., Jérémie, T., Gustave, M. F., & Aïdara, S. (2012). Alternatives à la fertilisation minérale des sols en riziculture pluviale de plateau : apports du soja et du niébé dans la fertilité d'un ferralsol hyperdystrique en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 54, 3859–3869.