



Effets de la densité de semis sur les variables végétatives et de production de génotypes élités de soja (Glycine max Merrill) dans la région de Ngandajika, RDC

Daddy TSHIMANGA LUMBALA¹, Robert MUKENDI KAMAMBO²; Anaclet TSHINYANGU KANDANDA¹, John TSHIBAMBA MUKENDI^{1,2}

¹Université Officielle de Mbuji-Mayi, RDC

²Institut National d'Etudes et de Recherches Agronomiques, RDC

RESUME

Le soja (*Glycine max* Merrill) présente un potentiel agronomique majeur mais reste faiblement productif en RDC. Cette étude a évalué l'effet de trois densités de semis (333 333 plants/ha, 400 000 plants/ha et 666 667 plants/ha) sur sept génotypes élités à Ngandajika. Le dispositif expérimental en split-plot avec quatre répétitions a permis d'analyser les variables végétatives et de production. Les résultats montrent une stabilité des caractères végétatifs, mais un rendement significativement accru à forte densité (1,87 t/ha à D1 contre 2,32 t/ha à D3). Les génotypes AFYA, TGX 2031-03FZ et TGX 2045-2FZ se distinguent par leurs performances supérieures.

Mots clés : soja, densité de semis, rendement, génotypes élités, Ngandajika

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.21264351>

1. INTRODUCTION

Le soja (*Glycine max* (L.) Merr.) est une légumineuse stratégique à l'échelle mondiale, reconnue pour sa richesse en protéines ($\approx 40\%$), en huile ($\approx 20\%$) et en minéraux (Baboy et al. 2015). Il joue un rôle majeur dans l'alimentation humaine, animale et dans l'industrie agroalimentaire, tout en améliorant la fertilité des sols grâce à la fixation symbiotique de l'azote (Badou, 2013). Malgré ce potentiel, l'Afrique contribue à moins de 2 % de la production mondiale, dominée par les États-Unis, le Brésil et l'Argentine (FAO, 2021). En République Démocratique du Congo, et particulièrement à Ngandajika, les rendements restent faibles, souvent inférieurs à 1 t/ha (Tshilumba et al. 2021).

Ces faibles performances sont liées à la dégradation des sols, aux maladies et surtout à des pratiques culturales inadéquates. Parmi celles-ci, la **densité de semis** est déterminante : trop faible, elle favorise les adventices ; trop élevée, elle intensifie la compétition entre plants et réduit le rendement (Baboy Longanza et *al.* 2015). Au-delà du rendement, l'**indice de récolte** – rapport entre la biomasse économique (grains) et la biomasse totale – constitue un indicateur essentiel de l'efficacité agronomique (Donald & Hamblin, 1976; Hay, 1995; Sinclair, 1998), mais reste peu étudié dans les conditions locales de Ngandajika.

La question centrale est donc : la densité de semis influence-t-elle la production et l'indice de récolte des géotypes élités de soja dans les conditions culturales de Ngandajika ?

L'étude repose sur l'hypothèse que la densité de semis affecte significativement la croissance, la production et l'indice de récolte des géotypes élités, et qu'un géotype se distingue par des performances supérieures. Les objectifs sont de déterminer la densité optimale et d'identifier le géotype le plus performant. Cette recherche vise à fournir des recommandations pratiques adaptées aux réalités locales, contribuant à l'amélioration de la productivité, à la sécurité alimentaire et au développement agricole durable en RDC

2. Matériels et méthodes

2.1. Cadre physique

L'étude a été réalisée sur le site de la Station de l'Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomique (INERA) de Ngandajika, située à 7 km de la cité de Ngandajika, dans le territoire du même nom. Les coordonnées géographiques ont été prélevées à l'aide d'un système de positionnement global (GPS GARMIN eTrex HC, relevé le 13 octobre 2025). Elles sont de 06°48,497'' de latitude Sud et 23°57,488'' de longitude Est, pour une altitude moyenne de 765 m. Les données enregistrées entre 1980 et 2014 à la station indiquent une pluviométrie annuelle moyenne de 1216,14 mm. Les températures moyenne annuelle est de 24°C.

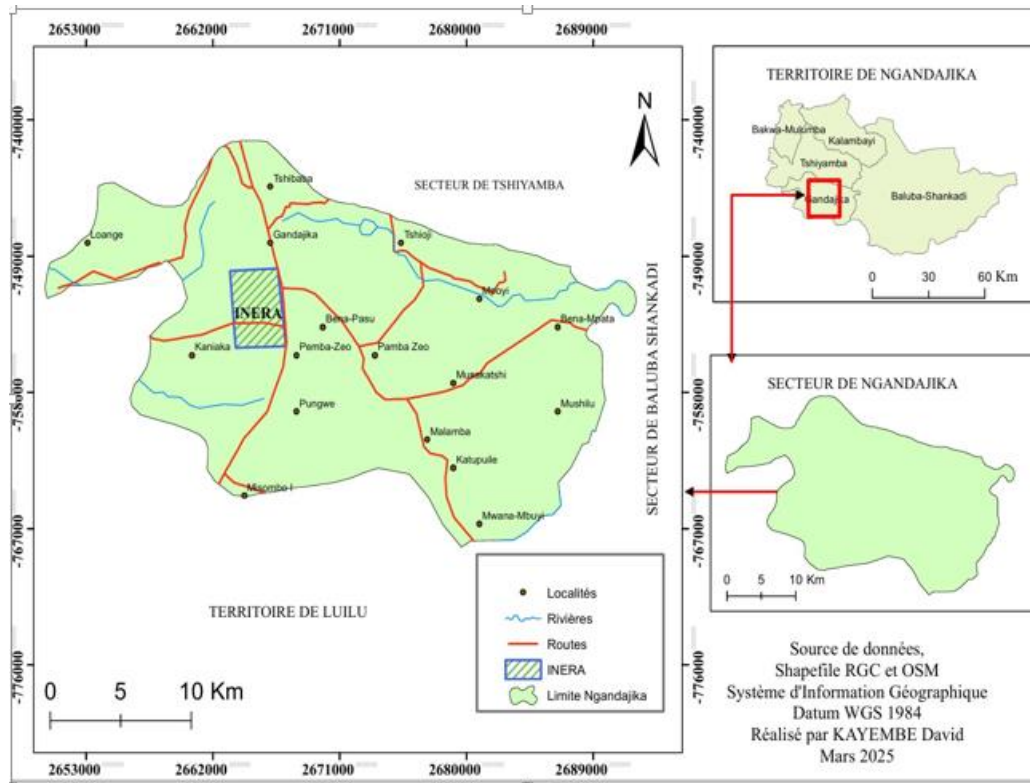


Figure 1 : Localisation de site d'étude INERA Ngandajika (carré hachuré) sur la carte administrative de territoire de Ngandajika

2.2. Climat

La station de recherche de l'INERA/Ngandajika est située dans un climat tropical chaud et humide de type Aw3, caractérisé par une longue saison pluvieuse (août–mai) et une courte saison sèche (mi-mai–mi-août). Les données de 1980 à 2014 indiquent une pluviométrie annuelle moyenne de $\approx 1\,216$ mm, des températures comprises entre 18–33 °C et une insolation annuelle estimée à $\approx 2\,400$ heures (INERA/Ngandajika, 2014).

2.3. Sols

Les sols, de texture argilo-sableuse et de fertilité moyenne, reposent sur une dalle latéritique et sont classés parmi les sols ferrallitiques typiques des savanes du Kasai Oriental, adaptés aux cultures vivrières et industrielles (Muyaya et al., 2023). Le relief est dominé par des plateaux et bas plateaux, favorables à l'agriculture.

2.4. Végétation

La végétation est une savane herbeuse boisée, dominée par les poacées, avec la présence de légumineuses dans les bas-fonds et des galeries forestières le long des cours d'eau (PRODAN, 2025)

2.5. Matériels

2.5.1. Matériel Biologique

L'étude a porté sur sept génotypes élités de soja (*Glycine max* Merrill) : SOPROSOY, MAKSOY, TGX2A33-53GZ, TGX1991-22F, TGX2031-03FZ, TGX2045-2FZ (provenant de l'IITA et caractérisés par l'INERA/Ngandajika), ainsi que AFYA, génotype local utilisé comme témoin positif.

2.5.2. Densité de semis

Trois densités de semis ont été considérées, définies par l'espacement interlignes et intralignes, ainsi que par le nombre de graines par poquet :

- **D1 (333 333 graines/ha)** : espacement de $0,60 \times 0,10$ m, correspondant à 166 667 poquets/ha avec deux graines par poquet.
- **D2 (400 000 graines/ha)** : espacement de $0,50 \times 0,10$ m, correspondant à 200 000 poquets/ha avec deux graines par poquet.
- **D3 (666 667 graines/ha)** : espacement de $0,60 \times 0,05$ m, correspondant à 333 333 poquets/ha avec deux graines par poquet.

La densité réelle à 100 % correspond au nombre de graines par hectare pour une levée complète.

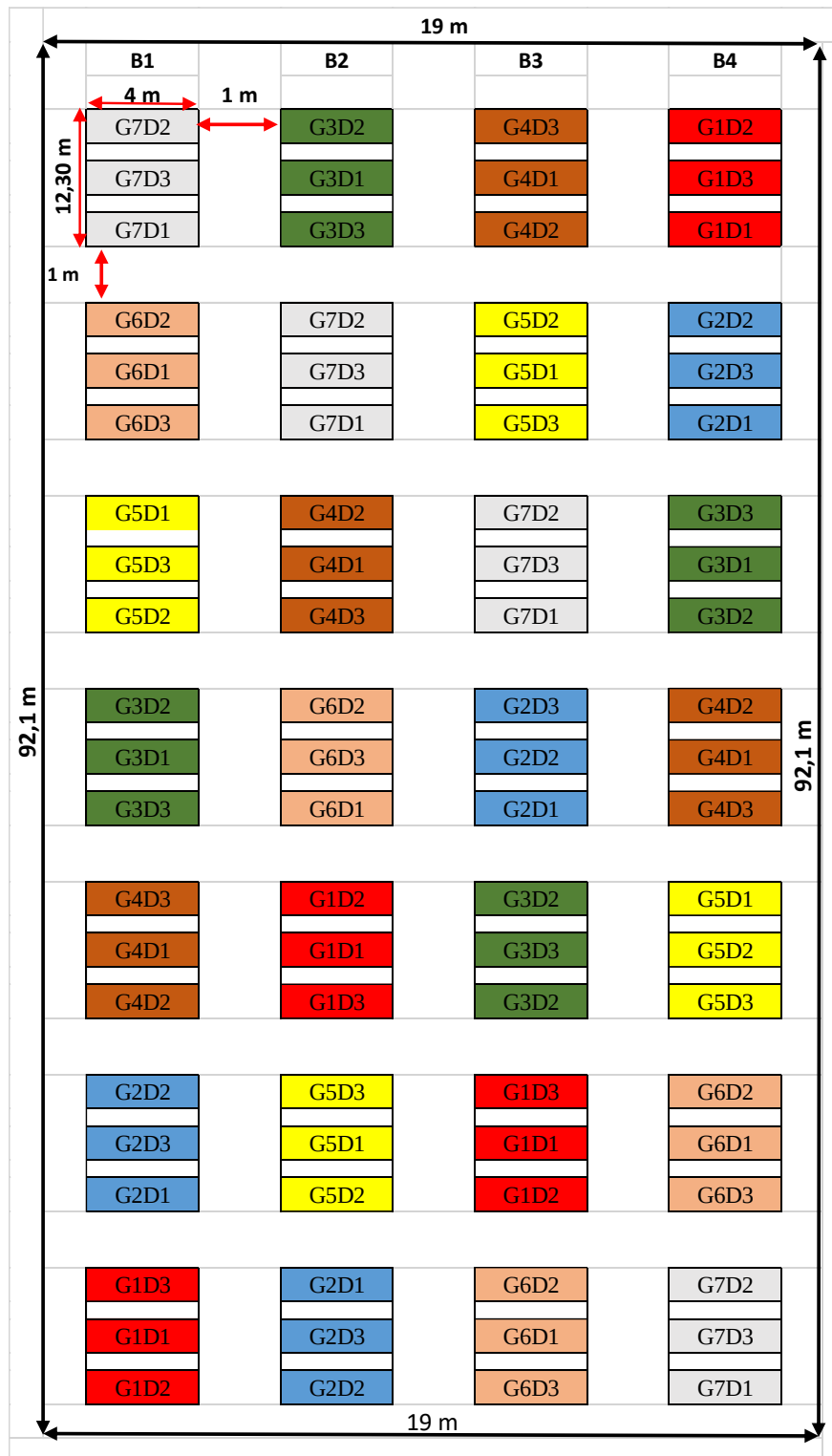
2.5.3. Méthode

2.5.3.1. Dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en split-plot avec blocs complets randomisés, comprenant quatre répétitions. Le **facteur principal** correspondait aux sept génotypes élités de soja (TGX 1991-22F, SOPROSOY, TGX 2033-53GZ, TGX 2031-03FZ, TGX 2045-02FZ, MAKSOY et AFYA comme témoin). Le **facteur secondaire** était constitué de trois densités de semis (333 333 graines/ha, 400 000 graines/ha et 666 667 graines/ha), obtenues par variation des espacements interlignes et intralignes.

Chaque bloc comportait sept parcelles élémentaires de 49,2 m², séparées par des allées de 1 m et subdivisées en trois compartiments correspondant aux densités appliquées. La superficie totale du champ expérimental, incluant une bordure périphérique de 1 m, était de 1 976,1 m². Le dispositif représentait un total de 84 unités expérimentales (7 génotypes $\times$ 3 densités $\times$ 4 répétitions), garantissant une évaluation statistiquement robuste de l'effet des densités de semis sur la croissance, la production et l'indice de récolte des génotypes étudiés.

La superficie utile a été calculée en soustrayant la surface des bordures de la surface totale de la parcelle, ce qui a permis d'extrapoler la production obtenue à l'échelle de rendement à l'hectare.



Figures 2. Schéma du dispositif expérimental split plot incluant les génotypes élités de soja (facteur 1) et la densité de semis (facteur 2)

Légende : B1= bloc 1, B2= bloc 2, B3= bloc 3

Facteur principal (parcelles principales) : G1 = TGX 1991-22F, G2 = SOPROSOY, G3 = TGX 2033-53GZ, G4 = TGX 2031-03FZ, G5 = TGX 2045-02FZ, G6 = MAKSOY, G7 = AFYA (témoin positif),

Facteur secondaire (sous-parcelles) : D1= 333 333 plants/ha, D2 = 400 000 plants/ha, D3 = 666 667 plants/ha

Les observations ont été réalisées sur un échantillon représentatif de dix plants par parcelle et ont porté sur les variables végétatives, de production ainsi que sur l'indice de récolte. Les variables végétatives ont permis de caractériser la croissance et la vigueur des plants, en établissant la relation entre la morphologie et la capacité de production en fonction de la densité de semis. Elles ont concerné la hauteur des plants, le diamètre au collet, le nombre de feuilles, la surface foliaire, la date de floraison et le nombre de ramifications. Les variables de production ont traduit directement la performance productive des génotypes étudiés. Elles ont inclus le nombre de gousses par plant, le nombre de graines par gousse, le poids total des graines récoltées par parcelle, le poids de mille grains, la production parcellaire et le rendement à l'hectare. Ce dernier a été calculé à partir de la production de la parcelle utile, en tenant compte de la surface totale diminuée des bordures, selon la formule :

$$\text{Rendement (kg/ha)} = \frac{\text{Production de la parcelle utile (kg)}}{\text{Superficie utile (m}^2\text{)}} \times 10000 \text{ m}^2$$

Enfin, l'indice de récolte a constitué une variable centrale de l'étude. Il exprime le rapport entre la biomasse économique (grains) et la biomasse totale produite par la plante (grains, tiges et feuilles). Calculé selon la formule proposée par Donald et Hamblin (1976), il permet d'évaluer l'efficacité physiologique des génotypes à convertir leur biomasse totale en produit utile. Un indice élevé (0,40–0,60) traduit une bonne efficacité économique, tandis qu'un indice faible (<0,30) indique une forte allocation à la biomasse végétative au détriment du rendement utile. L'indice de récolte est ainsi un paramètre déterminant pour comparer les performances génotypiques et identifier les variétés les plus adaptées aux conditions agroécologiques de Ngandajika.

$$\text{Indice de récolte (IR)} = \frac{\text{Poids des graines}}{\text{Biomasse totale (graines+tiges+feuilles)}}$$

2.5.3.3.. Analyses statistiques

Les données collectées seront saisies et traitées à l'aide du logiciel **R**. Une analyse de variance (ANOVA) sera réalisée afin d'évaluer l'effet des différents traitements (par exemple la densité de semis, les traitements phytosanitaires) sur les variables agronomiques et phytosanitaires du soja, notamment le rendement en grains, l'incidence et la sévérité des maladies.

En cas de différences significatives entre les traitements, les moyennes seront comparées à l'aide d'un test de séparation des moyennes. Le test de Tukey HSD (Honest Significant

Différence) sera utilisé, car il est reconnu pour sa rigueur statistique et sa capacité à comparer toutes les paires de moyennes tout en contrôlant le risque d'erreur de type I.

3. RESULTATS

3. 1. RESULTATS

Densité	Variables végétatives			
	Diamètre au Colet	Hauteur des Plants	Surface foliaire	NBR
D1	6.42 ±1.62a	61.5±17.0a	52.5±18.1b	3.21±1.03a
D2	6.48± 1.71a	64.1± 17.2a	55.1±16.4a	3.21± 1.17a
D3	5.69 ±1.29b	69.0± 15.5a	52.0± 15.2b	2.96±0.838b
Moyenne	6.19±1.54	64,86±16,5	53,2±16,56	3,12±1,01
CV	24,76	25,66	31,13	32,23
p-Value	0.11	0.23	0.75	0.57

3.1.1. Effets de densité sur les variables végétatives de génotypes élités de Soja

Tableau 1 : Effets de densité sur les variables végétatives des génotypes élités de Soja

L'analyse de l'effet de la densité sur les variables végétatives de génotypes élités de Soja montre que les différences observées entre les trois niveaux de densité ne sont pas statistiquement significatives. En effet, pour le diamètre au collet, les valeurs moyennes varient de 5,69 à 6,48 avec un coefficient de variation de 24,8 %, et la p-value de 0,11 indique l'absence d'effet significatif de la densité. Concernant la hauteur des plants, une tendance à l'augmentation est observée, passant de 61,5 cm à D1 à 69,0 cm à D3, mais la variabilité élevée (CV = 25,7 %) et la p-value de 0,23 confirment que cette différence n'est pas significative. Enfin, la surface foliaire reste globalement stable entre les densités (52,0 à 55,1), avec un coefficient de variation de 31,1 % et une p-value de 0,75, ce qui traduit une absence totale d'effet de la densité sur ce paramètre. En effet, pour le nombre de ramifications (NBR), les moyennes varient de 2,96 à 3,21 avec un coefficient de variation de 32,2 %, et la p-value de 0,57 indique l'absence d'effet significatif.

Ces résultats suggèrent que, malgré certaines tendances descriptives (augmentation de la hauteur et légère diminution du diamètre au collet à forte densité), la densité de semis n'a pas exercé d'influence significative sur les variables végétatives étudiées. La forte variabilité observée au sein des répétitions explique en partie cette absence de significativité statistique.

3.1.2. Effet de densité sur les variables de production des génotypes élités de Soja

L'analyse de l'effet de la densité sur les variables de production montre que la majorité des paramètres ne sont pas significativement influencés par les trois niveaux de densité testés. De même, le nombre de graines par gousse oscille entre 49,2 et 54,9, avec un CV élevé (36 %) et une p-value de 0,52, traduisant une variabilité importante mais sans différence statistique entre densités. Le nombre de gousses par ramification reste stable (10,7 à 10,9), avec une p-value de 0,99 confirmant l'absence totale d'effet de la densité.

Pour les panicules par branche, les valeurs moyennes se situent entre 3,12 et 3,26, avec une faible variabilité (CV = 13,9 %) et une p-value de 0,47, ce qui traduit une stabilité entre densités. Le nombre de panicules principaux varie légèrement (0,986 à 1,04), mais la p-value de 0,65 confirme que cette différence n'est pas significative.

En revanche, le rendement par hectare présente une évolution plus marquée : les moyennes augmentent de 1,87 t/ha à D1 à 2,32 t/ha à D3. La p-value associée est de 0,003 (<0,05), ce qui indique un effet significatif de la densité sur le rendement, avec une tendance à l'amélioration lorsque la densité augmente. Enfin, l'indice de récolte varie entre 31,2 et 33,1 %, avec une p-value de 0,69, ce qui traduit une absence d'effet significatif de la densité sur ce paramètre.

Ces résultats montrent que, parmi les variables de production étudiées, seul le rendement par hectare est significativement influencé par la densité de semis, avec une augmentation notable à D3. Les autres variables (NBR, nombre de graines par gousse, NGR, panicules par branche, nombre de panicules principaux, rendement par hectare) présentent des tendances descriptives mais sans significativité statistique, ce qui suggère que la densité agit principalement sur le rendement global plutôt que sur les composantes végétatives ou reproductives individuelles.

Tableau 2 : Effets de densité sur les variables de production de géotypes élités de Soja

Densité	Variables				Rendement par hectare
	Nombre de gousses par plant	Nombre de gousses par ramification	Panicules par branche	Nombre de panicules principaux	
D1	51.3±19.6 b	10.7±4.78a	3.12±0.436a	1.01± 0.203a	1.87±0.377b
D2	54.9±19.4a	10.8± 5.20a	3.22±0.498a	0.986±0.209a	2.19±0.465a
D3	49.2±17.0b	10.9±4.96a	3.26±0.396a	1.04±0.270a	2.32±0.600a
Moyenne	51,8±18,66	10,8±4,98	3,2±0,443	1,01±0,22	2,12±0,480
CV	36	46,16	13,86	22,4	22,4
p-Value	0.52	0.99	0.47	0.65	0.003

4. DISCUSSION

Les résultats ont montré que la densité de semis n'a pas exercé d'effet statistiquement significatif sur les variables végétatives des génotypes élités de soja. Le diamètre au collet est resté relativement stable entre 6,4 mm à 333 333 plants/ha – 400 000 plants/ha et 5,7 mm à 666 667 plants/ha, traduisant une légère réduction de la robustesse basale en forte densité, mais sans significativité. La hauteur des plants a augmenté progressivement avec la densité (61,5 cm à D1 contre 69,0 cm à D3), reflétant une stratégie d'étiollement en réponse à la compétition lumineuse. La surface foliaire est demeurée stable (52–55 cm²), indiquant que la densité n'a pas limité la capacité photosynthétique. Enfin, le nombre de ramifications est resté proche de trois par plant, confirmant la stabilité génétique de ce caractère.

Ces tendances morphologiques, bien que cohérentes avec une adaptation à la compétition, n'ont pas atteint le seuil de significativité statistique, en partie à cause de la forte variabilité observée entre répétitions (CV > 25 %). Comparées à la littérature, les observations diffèrent de celles de Kasongo (2015) et Kabongo (2020), qui rapportaient une réduction significative du diamètre au collet et de la surface foliaire en forte densité. En revanche, elles confirment la résilience morphologique des génotypes élités par rapport aux variétés locales, moins stables face aux contraintes de densité.

Concernant les variables de production, les composantes individuelles du rendement (nombre de graines par gousse, poids de 100 graines, poids de gousse) n'ont pas varié significativement selon la densité. En revanche, le rendement par hectare a augmenté de manière significative, passant de 1,87 t/ha à 333 333 plants/ha (D1) à 2,32 t/ha à 666 667 plants/ha (D3). Cette progression traduit une meilleure occupation de l'espace et une utilisation plus efficace des ressources en forte densité.

L'intégration de l'indice de récolte a mis en évidence une efficacité physiologique supérieure pour AFYA (37,3 %) et SOPROSOY (35,4 %), comparativement à TGX 2045-2FZ (26,8 %). Ces résultats rejoignent les travaux de Baboy et al. (2015) et de Tshilumba et al. (2021), qui soulignent l'importance d'adapter la densité de semis aux conditions locales pour optimiser la productivité.

Conclusion

L'expérimentation a démontré que la densité de semis n'a pas significativement affecté les variables végétatives des génotypes élités de soja, malgré certaines tendances morphologiques (augmentation de la hauteur, réduction du diamètre au collet). En revanche, elle a exercé un effet décisif sur les variables de production, avec une augmentation significative du rendement à l'hectare lorsque la densité est passée de 333 333 plants/ha à 666 667 plants/ha.

Ces résultats confirment que l'optimisation de la densité constitue un levier agronomique majeur pour accroître la productivité du soja dans les conditions locales du Kasai. Les génotypes AFYA, TGX 2031-03FZ et TGX 2045-2FZ se sont distingués par leurs performances supérieures, ce qui justifie leur promotion dans les programmes de vulgarisation et leur intégration dans les stratégies nationales de développement du soja.

Ainsi, il est recommandé :

- d'adopter des densités élevées ($\approx 666\ 667$ plants/ha) pour maximiser le rendement,
- de privilégier les génotypes les plus performants (AFYA, TGX 2031-03FZ, TGX 2045-2FZ) dans les zones de savane du Kasai,
- et de poursuivre des essais multi-sites afin de confirmer ces résultats dans différents contextes pédoclimatiques.

Cette étude apporte des éléments décisionnels pour la **sélection variétale** et l'amélioration des pratiques culturales, ouvrant la voie à une intensification durable de la production de soja en République Démocratique du Congo et en Afrique centrale

Références bibliographiques

- Amani, J. (2020). Croissance et productivité du soja en Côte d'Ivoire. Abidjan : Université Félix Houphouët-Boigny, pp. 45–62.
- Baboy Longanza, L., Kidinda Kidinda, L., Kilumba Kabemba, M., Langunu, S., Mazinga Kwey, M., Tshipama Tamina, D., & Nyembo Kimuni, L. (2015). Effet de la densité de semis sur la productivité du soja à Lubumbashi. *Revue Congolaise d'Agronomie*, 12(2), 45–56.
- Diallo, M. (2019). Influence de la densité de semis sur la ramification du soja en RCA. Bangui : Institut Agronomique, pp. 33–47.
- Donald, C. M., & Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in Agronomy*, 28, pp. 361–405.
- Huang, Y., Raja, R., Ning, S., Hu, B., Siyal, M., Li, W.-X., & Ning, H. (2026). Harvest index as a key indicator of soybean productivity. *Journal of Crop Science*, 62(1), 15–27..
- INERA. (2020). Rapport annuel sur les essais de densité de semis du soja. Ngandajika : Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomiques, pp. 12–29.
- Kasongo, P. (2015). Analyse de la filière légumineuse au Kasai Oriental. Mbuji-Mayi : Université de Mbuji-Mayi, pp. 77–95.
- Kasongo, P., & Mukonzo, J. (2015). Effet de la densité sur le rendement du soja à Lubumbashi. *Revue Africaine d'Agronomie*, 8(1), pp. 23–34.
- Kabongo, J. (2020). Essais de densité de semis du soja à Mbuji-Mayi. *Cahiers Scientifiques du Kasai*, 5(3), pp. 67–78.
- Kafirongo, B. (2015). Impact de la densité de semis sur la croissance du soja au Sud-Kivu. Bukavu : Université Catholique de Bukavu, pp. 101–118.
- Karaboneye, M. (2013). Surface foliaire et productivité du soja en Afrique. *African Journal of Plant Science*, 7(4), pp. 112–120.
- Manda, R., & Musenge, P. (2026). Optimisation de la densité de semis pour le soja en Afrique centrale. Kinshasa : Université de Kinshasa, pp. 54–70.
- Merrien, A. (1994). *Physiologie et agronomie du soja*. Paris : INRA Éditions, pp. 89–115.
- Mauray, O., *et al.* (2015). Facteurs morphologiques et productivité du soja. *Agronomie Africaine*, 25(2), pp. 89–102.
- Moukoko, J. (2021). Effet de la densité sur la croissance du soja au Congo. Brazzaville : Université Marien Ngouabi, pp. 63–79.
- Mulinganya, C. (2011). Influence des conditions édaphiques sur la croissance du soja à Bukavu. Bukavu : Université Catholique de Bukavu, pp. 40–58.

- Ndombo, A. (2018). Croissance du soja en fonction de la densité au Cameroun. Yaoundé : Institut de Recherche Agricole, pp. 72–88.
- Soares, I. O., de Rezende, P. M., Bruzi, A. T., Zuffo, A. M., Zambiazzi, E. V., Fronza, V., & Teixeira, C. M. (2015). Adaptation de la densité de semis aux conditions locales pour optimiser la productivité du soja. *Journal of Agronomy*, 14(3), 201–210..
- Shev.io, L. (2026). Productivité du soja en Afrique centrale : rôle de la surface foliaire et de la fertilité des sols. *African Crop Science Journal*, 34(2), pp. 55–70.
- Tshilumba, T. M., Kabeya Kasongo, D., Kazadi Batubenga, A., & Chiwengo Banda, D. (2021). Essais sur la densité de semis du soja à Ngandajika. *Revue Congolaise d'Agronomie*, 15(1), 77–88.
- Xu, H., *et al.* (2021). Soybean yield response to plant density: global meta-analysis. *Field Crops Research*, 270, pp. 108–118.
- Setiyono, T. D., Bastidas, A. M., Cassman, K. G., Weiss, A., Dobermann, A., & Specht, J. E. (2011). Soybean plant density and yield stability. *Agronomy Journal*, 103(3), 123–134.