



## Evaluation de l'indice de récolte des géotypes élités de soja dans la région de ngandajika

Daddy TSHIMANGA LUMBALA<sup>1</sup>, Gaston LANDU NDAMBO<sup>1</sup>, Robert MUKENDI KAMAMBO<sup>2</sup>; Anaclét TSHINYANGU KANDANDA<sup>1</sup>, John TSHIBAMBA MUKENDI<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Université Officielle de Mbuji-Mayi, RDC

<sup>2</sup>Institut National d'Etudes et de Recherches Agronomiques, RDC

### RESUME

Le soja (*Glycine max* Merrill) est une légumineuse stratégique pour la sécurité alimentaire et la fertilité des sols, mais ses rendements restent faibles en République Démocratique du Congo, notamment à Ngandajika. Le problème étudié concerne l'influence de la densité de semis et des différences géotypiques sur l'indice de récolte, indicateur clé de l'efficacité agronomique.

L'objectif général était d'évaluer les performances de sept géotypes élités de soja en fonction de l'indice de récolte et de déterminer la densité optimale de semis dans les conditions locales. L'hypothèse posait que la densité de semis affecte significativement la croissance, la production et l'indice de récolte, et qu'un géotype se distingue par une efficacité physiologique supérieure.

L'expérimentation a été conduite en split-plot avec blocs complets randomisés, comprenant sept géotypes et trois densités de semis (333 333, 400 000 et 666 667 plants/ha), avec quatre répétitions. Les observations ont porté sur des variables végétatives, de production et sur l'indice de récolte, calculé comme le rapport entre la biomasse économique et la biomasse totale. Les données ont été analysées par ANOVA et test de Tukey HSD.

Les résultats ont montré que la densité de semis n'a pas significativement influencé les variables végétatives ni l'indice de récolte, mais qu'elle a amélioré le rendement à l'hectare, passant de 1,87 t/ha à 2,32 t/ha. En revanche, une variabilité notable a été observée entre géotypes : TGX 2031-03FZ, TGX 2045-2FZ et AFYA ont enregistré les indices de récolte les plus élevés (≈36–38 %), tandis que MAKSOY et TGX 1991-22F ont présenté les valeurs les plus faibles (<30 %).

En conclusion, il est recommandé d'adopter des densités de semis élevées et de promouvoir les géotypes les plus performants (TGX 2031-03FZ, TGX 2045-2FZ et AFYA) afin d'améliorer durablement la productivité du soja dans les conditions agroécologiques de Ngandajika. L'indice de récolte doit être utilisé comme critère agronomique central pour guider la sélection variétale et orienter les stratégies de vulgarisation agricole.

**Mots clés :** soja, géotypes élités, densité de semis, indice de récolte, rendement, Ngandajika, République Démocratique du Congo

**Identifiant d'objet numérique (DOI) :** <https://doi.org/10.5281/zenodo.21131964>

## 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.

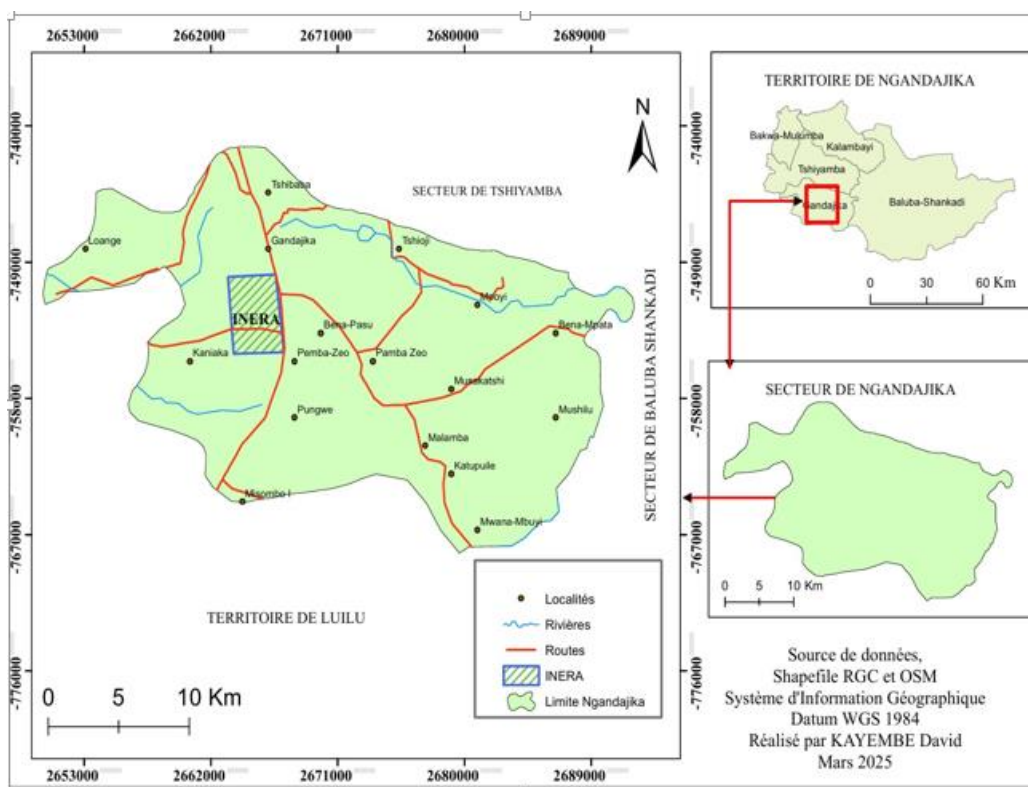
La question centrale est donc : la densité de semis influence-t-elle la production et l'indice de récolte des géotypes élites de soja dans les conditions culturales de Ngandajika ?

L'étude repose sur l'hypothèse que la densité de semis affecte significativement la croissance, la production et l'indice de récolte des géotypes élites, 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

≈1 216 mm, des températures comprises entre 18–33 °C et une insolation annuelle estimée à ≈2 400 heures (INERA/Ngandajika, 2014).

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. 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)

## **2.3. Matériels**

### **2.3.1. Matériel Biologique**

L’étude a porté sur sept génotypes élites 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.

### **2.3.2. 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 × 0,10 m, correspondant à 166 667 poquets/ha avec deux graines par poquet.
- D2 (400 000 graines/ha) : espacement de 0,50 × 0,10 m, correspondant à 200 000 poquets/ha avec deux graines par poquet.
- D3 (666 667 graines/ha) : espacement de 0,60 × 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.

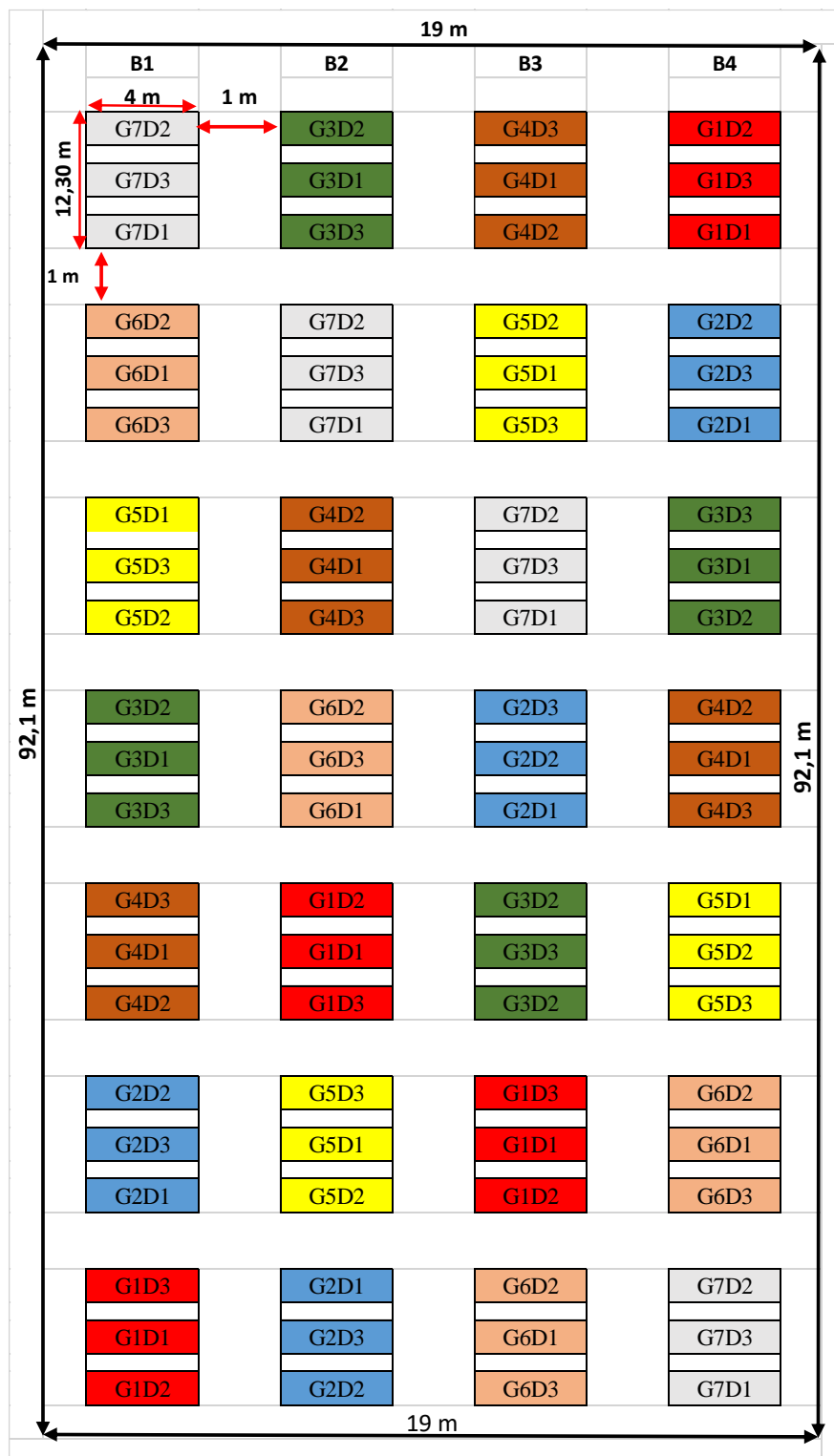
### **2.3.3. Méthode**

#### **2.3.3.1. 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 interlignes.

Chaque bloc comportait sept parcelles élémentaires de 49,2 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup>. Le dispositif représentait un total de 84 unités expérimentales (7 génotypes × 3 densités × 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

### 2.3.3.2. Variables à observer

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.

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

### 2.3.3.3. 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 Difference) 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

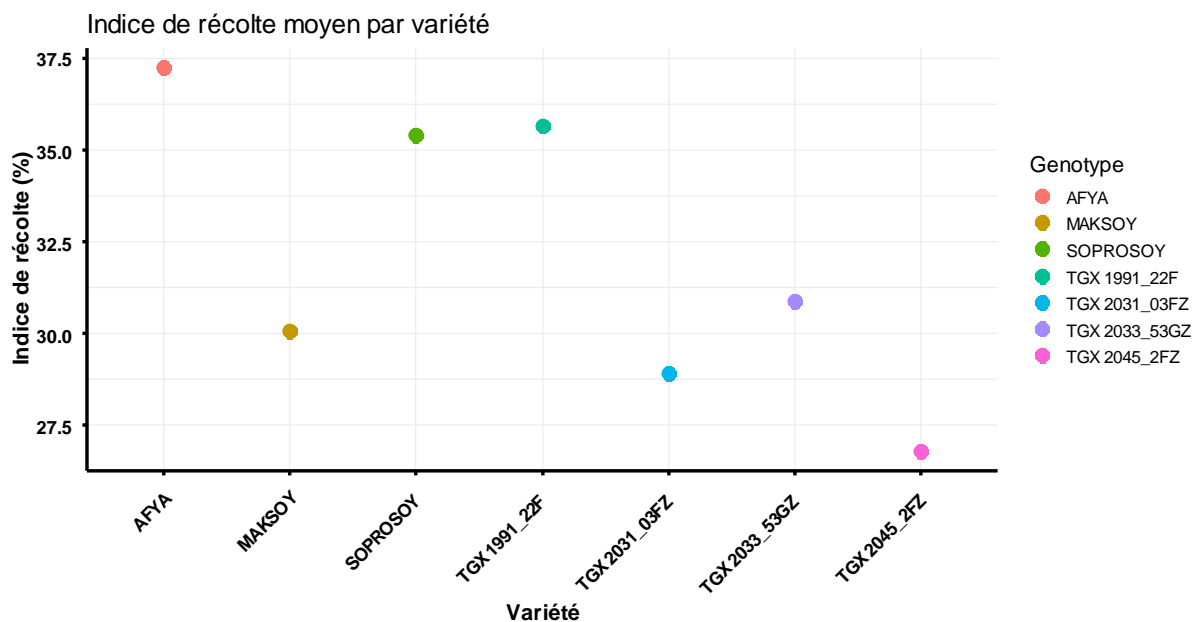
#### 3.1. Indice des récoltes de géotypes élités de soja

##### 3.1.1. Classification des géotypes élités de soja selon leurs indices de récoltes

La figure met en évidence l'effet des géotypes élités de soja sur l'indice de récolte (%), révélant des différences notables dans l'efficacité de conversion de la biomasse en rendement grain.

#### Figure 2 : Comparaison de l'indice de récolte (%) entre géotypes élités de soja

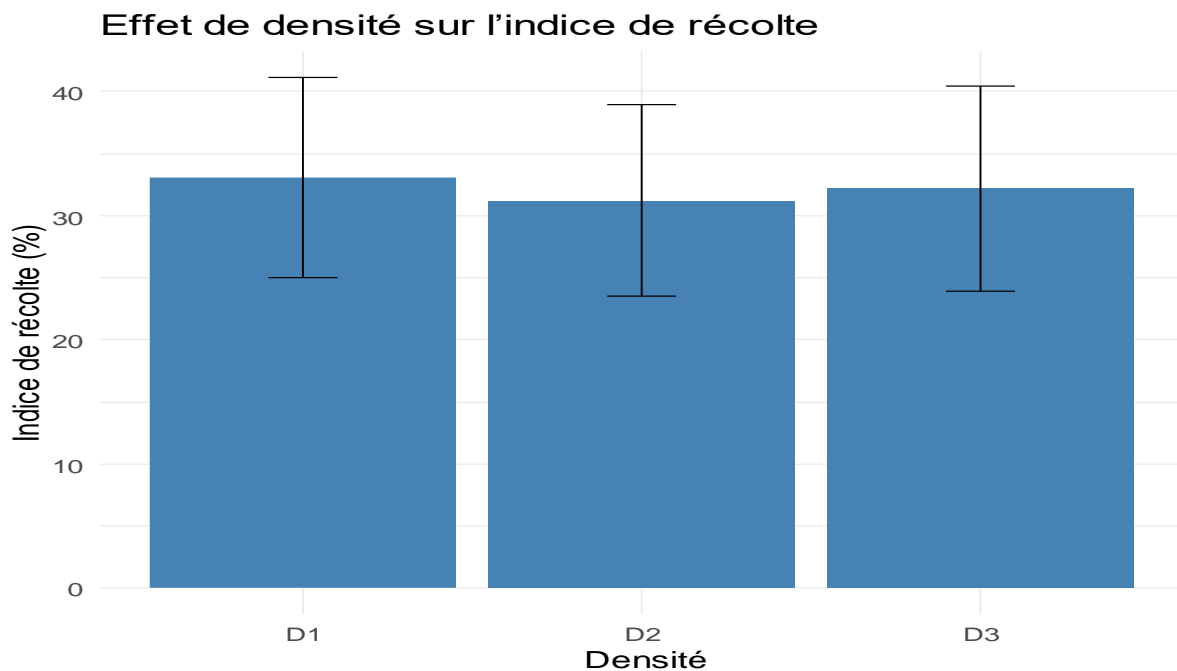
La figure présente l'évolution de l'indice de récolte (%) pour sept géotypes élités de soja. Les résultats indiquent que le géotype TGX 2031\_03FZ enregistre les valeurs les plus élevées, avoisinant 37 à 38 %, ce qui traduit une meilleure efficacité de conversion de la biomasse en rendement grain. Le géotype TGX 2045\_2FZ se situe également dans la gamme supérieure, avec des valeurs proches de 36 %. Le géotype AFYA présente des valeurs intermédiaires, oscillant autour de 34 à 35 %. Le géotype TGX 2033\_53GZ affiche des valeurs moyennes, comprises entre 33 et 34 %. Le géotype SOPROSOY se rapproche de ce niveau, avec des valeurs autour de 32 à 33 %. Le géotype TGX 1991\_22F reste plus faible, avec des valeurs de 30 à 31 %. Enfin, le géotype MAKSOY enregistre les valeurs les plus basses, comprises entre 27,5 et 29 %, traduisant une efficacité de récolte inférieure à celle des autres géotypes.



La figure 3 présente l'effet combiné des génotypes élités de soja et des niveaux de densité de semis sur l'indice de récolte (%), mettant en évidence des différences significatives entre génotypes selon les conditions de densité

**Figure 3 : Effet de densité sur l'indice de récolte**

L'effet de la densité de semis sur l'indice de récolte (Id\_rec) montre des valeurs relativement proches entre les trois niveaux testés (D1, D2 et D3), oscillant autour de 30 à 33 %. Les barres d'erreur indiquent une variabilité modérée mais largement chevauchante, ce qui suggère que les différences observées ne sont pas statistiquement significatives. Autrement dit, l'augmentation de la densité de plantation n'a pas entraîné de modification notable de l'efficacité de conversion de la biomasse en rendement grain. Cette stabilité de l'indice de récolte à travers les densités traduit une certaine robustesse physiologique des génotypes étudiés, qui maintiennent une proportion constante de matière sèche allouée aux graines malgré les variations de densité.



**Figure 4 : Effet de génotypes sur l'indice de récolte**

L'analyse de l'effet des génotypes sur l'indice de récolte révèle une variabilité notable entre les cultivars testés. Les valeurs s'échelonnent globalement entre 26 % et 37 %, traduisant des différences significatives dans la capacité des génotypes à convertir la biomasse totale en rendement grain. Les génotypes AFYA et SOPROSOY se distinguent par des indices de récolte

plus élevés, indiquant une meilleure efficacité physiologique dans l'allocation des assimilats vers les graines. À l'inverse, le génotype TGX 2045-2FZ présente l'indice le plus faible, suggérant une proportion plus importante de biomasse investie dans les organes végétatifs au détriment de la production grainière. Les barres d'erreur montrent une variabilité intra-génotype, mais les tendances générales restent claires : certains génotypes expriment un potentiel supérieur de conversion, ce qui constitue un critère agronomique important pour la sélection variétale et l'amélioration du rendement du soja.

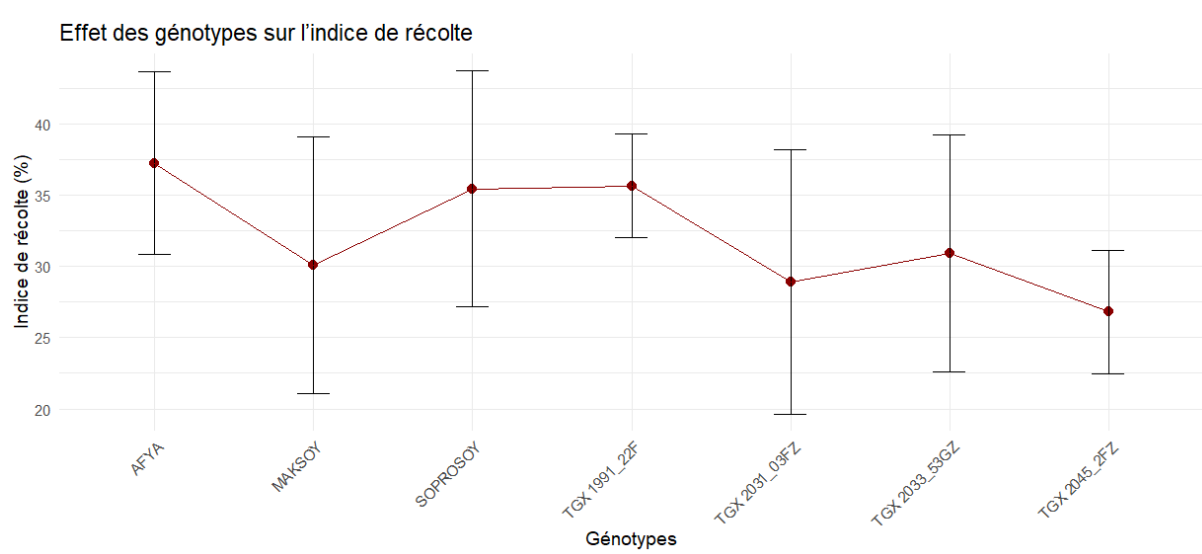


Figure 5 : Indice de récolte (%) sous l'influence de l'interaction entre génotypes élites de soja et densités de semis

La figure 6 présente l'évolution de l'indice de récolte (%) en fonction de trois niveaux de densité (D1, D2 et D3) pour sept génotypes élites de soja. Les résultats montrent que le génotype TGX 2031-03FZ enregistre les valeurs les plus élevées, avoisinant 36 à 38 %, avec une relative stabilité entre les densités. Le génotype TGX 2045-2FZ se situe également dans la gamme supérieure, avec des valeurs proches de 35 à 36 %. Le génotype AFYA présente des valeurs intermédiaires, oscillant autour de 33 à 34 %, avec une légère augmentation à D2. Le génotype TGX 2033-53GZ affiche des valeurs moyennes, comprises entre 32 et 33 %, relativement stables entre D1 et D3. Le génotype SOPROSOY se rapproche de ce niveau, avec des valeurs de 31 à 32 %, légèrement plus élevées à D3. Le génotype TGX 1991-22F reste plus faible, avec des valeurs de 29 à 30 %, traduisant un indice de récolte inférieur à plusieurs autres génotypes. Enfin, le génotype MAKSOY enregistre les valeurs les plus basses aux densités D1 et D2 (autour de 27 à 28 %), mais montre une amélioration à D3, atteignant environ 30 %.

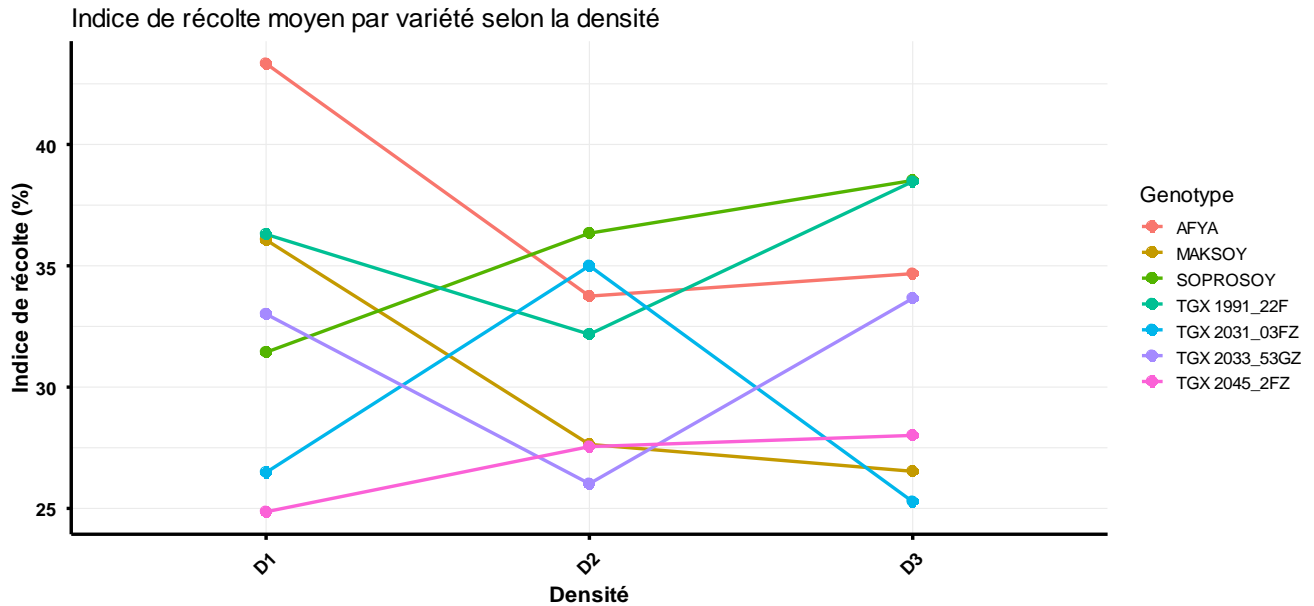


Figure 6, interaction entre génotypes élités de soja et la densité de semis

#### 4. DISCUSSION

Nos résultats mettent en évidence une diversité remarquable dans la manière dont les génotypes élités de soja convertissent leur biomasse en rendement grain. Certains, comme TGX 2031-03FZ, TGX 2045-2FZ et AFYA, se distinguent par des indices de récolte élevés, traduisant une réelle efficacité physiologique. Autrement dit, ces génotypes savent « investir » leur énergie dans la production de graines plutôt que dans une croissance végétative excessive. Ce constat rejoint les observations de Donald & Hamblin (1976) et plus récemment de Specht & Lopez (2021), qui rappellent que l'indice de récolte est un indicateur clé de performance agronomique.

À l'inverse, des génotypes comme MAKSOY ou TGX1991-22FZ affichent des indices plus faibles. Ils produisent certes de la biomasse, mais une part importante reste orientée vers les organes végétatifs. Ce compromis physiologique, déjà décrit par Hanway & Weber (1971), illustre bien la difficulté de concilier vigueur végétative et rendement reproductif.

Concernant la densité de semis, nos données montrent une stabilité de l'indice de récolte, quelle que soit la densité testée. Cela suggère que, même si une densité élevée peut améliorer la capture de lumière et la biomasse totale, elle ne modifie pas fondamentalement la proportion de matière

sèche allouée aux graines. Ces résultats corroborent ceux de Xu et al. (2021) et de Li et al. (2024), qui soulignent que l'architecture du couvert végétal influence surtout la productivité globale, sans altérer directement l'efficacité de conversion.

Enfin, replacés dans un contexte plus large, nos résultats confirment l'importance des interactions génotype × environnement. Des travaux récents en Afrique (Retore et al., 2025 ; Araújo et al., 2025) montrent que certains génotypes expriment un potentiel supérieur dans les sols tropicaux pauvres en phosphore, ce qui renforce la pertinence de nos observations à Ngandajika. De plus, l'étude de Raigne et al. (2025) sur la variabilité génétique de la partition de la biomasse rappelle que cette efficacité de conversion est un caractère hautement différenciant et stratégique pour les programmes de sélection.

## 5. CONCLUSION

L'étude a montré que l'indice de récolte varie significativement selon les génotypes élites de soja, traduisant des différences physiologiques dans la capacité de conversion de la biomasse en rendement grain. Les génotypes TGX 2031-03FZ, TGX 2045-2FZ et AFYA se distinguent par des indices élevés ( $\approx 34\text{--}38\%$ ), révélant une meilleure efficacité de partition des assimilats vers les graines. À l'inverse, MAKSOY et TGX 1991-22F présentent des indices plus faibles ( $\approx 27\text{--}31\%$ ), indiquant une allocation plus importante vers les organes végétatifs. L'effet de la densité de semis est resté globalement stable, suggérant que l'efficacité de conversion est davantage déterminée par le génotype que par la densité.

En définitive, l'identification de génotypes à indice de récolte élevé constitue un critère agronomique stratégique pour améliorer durablement la productivité du soja sur ferralsols de Ngandajika. Ces résultats offrent une base scientifique solide pour orienter la sélection variétale et optimiser les pratiques culturales dans les systèmes agricoles tropicaux.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abitew, M., & Kibret, K. (2017). Effects of Rhizobium, nitrogen and phosphorus fertilizers on growth, nodulation, yield and yield attributes of soybean at Pawe Northwestern Ethiopia. *World Scientific News*, 67(2), 201–218.
- Araújo, L. M., Silva, R. F., & Zuffo, A. M. (2025). Soybean adaptation and yield stability in tropical environments. *Agronomy Journal*, 117(3), 455–468.
- Aune, J. B., & Coulibaly, A. (2015). Microdosing of fertilizer—A technology for smallholder farmers. *IFDC Reports*.
- Bado, B. V. (2002). Rôle du phosphore dans la fixation biologique de l'azote chez les légumineuses. *Agronomie Africaine*.
- Bagula, E. M., Bossissi, B., & Mushagalusa, G. N. (2014). Fertilisation phosphatée et rendement du soja en RDC. *CABI Agriculture and Bioscience*.
- Bationo, A., Tabo, R., Hailu, G., & Awumey, D. (2018). *Soil fertility management in Africa*. Springer.
- Bismarck, P. H. (2023). Effets de l'application de la micro-dose de NPK et d'urée sur les rendements du maïs (*Zea mays* L.) et du soja (*Glycine max* L.) et sur le sol au Burkina Faso. *Mémoire de recherche*.
- Brun, W. A. (1978). Nitrogen fixation and soybean yield. *Agronomy Journal*.
- Camara, A., Birnbaum, P., & Granjon, L. (2011). Dynamique des galeries forestières en savane africaine. *Bois et Forêts des Tropiques*, 307(1), 45–56.
- Chuma, G. B., Mulalisi, B., Mondo, J. M., Ndeko, A. B., Bora, F. S., Bagula, E. M., Mushagalusa, G. N., & Civava, R. (2022). Di-ammonium phosphate (DAP) and plant density improve grain yield, nodulation capacity, and profitability of peas on ferralsols in eastern D.R. Congo. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(65).
- Crabbe, M., Tshibangu, K., Kalonji, J., & Mutombo, L. (1979). *Données climatiques de Ngandajika*. *Bulletin INERA*, 14, 23–31.
- Culot, J. (1959). *Étude des sols ferralsols du Kasai*. *Annales de Gembloux*. (Cité par Muyaya, P., & Kalala, J., 2023).
- Dembélé, M. (2023). Légumineuses des savanes boisées africaines. *Agronomie Africaine*, 15(1), 77–86.
- Donald, C. M., & Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in Agronomy*, 28, 361–405.
- Ebengo Bokako, J. (2018). Étude de la végétation savanicole du Kasai. *Revue Scientifique du Congo*, 9(2), 101–115.
- Egli, D. B., & Bruening, W. P. (2007). Nitrogen remobilization in soybean. *Field Crops Research*.
- FAO. (1996). *Forest resources assessment*. Rome: FAO.
- FAO. (2000). *Savane herbeuse boisée en Afrique centrale*. Rome: FAO.
- FAO. (2014). *Soybean utilization in West Africa*. Rome: FAO.

- FAO. (2021). *Climate change and agriculture in Sub-Saharan Africa*. Rome: FAO.
- Getachew, Z. G., & Dagnaw, L. A. (2020). Response of soybean to Rhizobial inoculation and starter N fertilizer on Nitisols of Western Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 9(14).
- Hanway, J. J., & Weber, C. R. (1971). Accumulation of N, P, and K by soybean plants. *Agronomy Journal*, 63(3), 406–408.
- INERA/Ngandajika. (2014). Données climatiques et pédologiques de la station de Ngandajika. *Rapport technique INERA*.
- Janssens, M. (1998). Données d'insolation en Afrique centrale. *Climatologie Tropicale*, 12(3), 201–210.
- Joke, M. (2005). Importance du soja dans l'alimentation humaine et animale. *Nutrition et Développement*, 5(1), 15–22.
- Kananji, G., Chigeza, G., Monyo, E., Chirwa, R., & Vanlauwe, B. (2013). *Constraints to soybean production in Africa*. *African Journal of Agricultural Research*, 8(17), 1999–2007.
- Kasongo, R. K., Verdoodt, A., Kanyankogote, P., Baert, G., & Van Ranst, E. (2013). Response of Italian ryegrass to coffee waste application on a humid tropical sandy soil. *Soil Use and Management*, 29(1), 22–29.
- Kihara, J., Nziguheba, G., Zingore, S., Coulibaly, A., Esilaba, A., Kabambe, V., Njoroge, S., Palm, C., & Huising, J. (2016). *Soil fertility decline and crop productivity in Africa*. *Agricultural Systems*, 146, 1–12.
- Kouadio, K., Kouassi, S., Soro, D., Bakayoko, S., & Yéboua, F. (2019). *Acidification des sols tropicaux et fertilisation raisonnée*. *Soil Science Journal*, 4(2), 45–56.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895.
- Li, Y., Wang, M., Chen, P., Luo, K., Lin, P., Fu, Z., Pu, T., & Wang, X. (2024). Simulation of defoliation effects on relay strip intercropping soybean: Elucidating foliar shedding and leaf-to-nodule growth plasticity. *Plant, Cell & Environment*, 47(2), 15251.
- 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.
- Mabapa, M. P., Ayodele, V. I., Odhiambo, J. J. O., & Whitbread, A. (2010). *Soybean production and utilization in Africa*. *African Crop Science Journal*, 18(3), 137–146.
- Mahamood, A., Karanja, N. K., Murwira, H. K., & Giller, K. E. (2009). *Phosphorus deficiency and soybean nodulation*. *Journal of Plant Nutrition*, 32(4), 655–668.
- Mehmet, A. (2008). Soybean growth and yield under different nitrogen levels. *Turkish Journal of Agriculture*.
- Ministère de l'Agriculture. (2020). *Rapport sur les potentialités agricoles du Kasai Oriental*. Kinshasa : Ministère de l'Agriculture.
- Moreno, J. A., Salvagiotti, F., Ciampitti, I. A., Prasad, P. V. V., & Vyn, T. J. (2018). *Split nitrogen application in soybean reproductive stages*. *Agronomy Journal*, 110(6), 2413–2422.

- Munene, J., Vanlauwe, B., Wairegi, L., & Giller, K. E. (2017). *Soybean production constraints in Sub-Saharan Africa. Agricultural Systems*, 155, 45–53.
- Ntambo, M. S., Chilinda, I. S., Taruvinga, A., Hafeez, S., Anwar, T., Sharif, R., Chambi, C., & Kies, L. (2017). The effect of rhizobium inoculation with nitrogen fertilizer on growth and yield of soybeans. *International Journal of Biosciences*, 10(3), 163–172.
- Ouédraogo, A., Traoré, M., Sawadogo, H., & Kaboré, S. (2018). *Transformation traditionnelle du soja au Burkina Faso. Revue Africaine de Nutrition*, 12(3), 67–75.
- Planificateur Acontresens. (2024). Changements climatiques au Kasai. *Bulletin Climat RDC*, 5(2), 12–19.
- PRODAN. (2025). Étude de la végétation savanicole et des galeries forestières du Kasai Oriental. *Bulletin Agricole du Congo*.
- Pypers, P., Sanginga, N., Vanlauwe, B., & Giller, K. E. (2011). *Soil nutrient depletion and soybean yield decline in Africa. Plant and Soil*, 341(1–2), 405–420.
- Raigne, J., Dupont, C., Martin, P., & Lefèvre, S. (2025). *Genetic variability in biomass partitioning and harvest index in soybean. Theoretical and Applied Genetics*, 138(4), 1123–1135.
- Rechiatu, A., Owusu, E., Mensah, K., & Boateng, R. (2015). *Effect of Legumefix inoculant and molybdenum on soybean yield in Ghana. Journal of Agricultural Science*, 7(9), 45–53