Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2026 ; 9(2), 47-58
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Impacts des herbicides sur la productivité du maïs (*Zea mays* L.) dans la périphérie de Kinshasa (RDC)

André Joël Kayoyo Mwanza*[1], Emmanuel Dishiki Kitango[2], Degas Edgar Tanza Kusosa[3], Van Emery Tshiombe Mulamba[4], Marcel Muengula Manyi[1]

[(1)]Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Production Végétale. BP 117 Kinshasa XI (RDC). E-mail : ajoelmwanza@gmail.com
[(2)]Université de Kikwit. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Production Végétale. BP 176 Kikwit (RDC).
[(3)]Université de Bandundu. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Production Végétale. BP 548 Bandundu (RDC)
[(4)]Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Chimie et Industries agricoles. BP 117 Kinshasa XI (RDC)

Reçu le 12 mai 2026, **accepté le** 19 juin 2026, **publié en ligne le** 27 juin 2026
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i2.6

RESUME

Description du sujet. Dans la périphérie de Kinshasa, le rendement du maïs reste bien en deçà de son potentiel théorique, ce qui soulève des interrogations quant à l'efficacité des solutions de désherbage locales.
Objectif. L'étude vise à évaluer les effets de différents herbicides sur la croissance et le rendement du maïs afin d'identifier les formulations les plus performantes.
Méthodes. Un essai en blocs complets randomisés comportant six répétitions a été installé après labour manuel (20 cm). Les traitements comprenaient : Atrazine, Nico 3S Plus, Kolopa 300 OD, Aminoforce 2,4-D, MD Maize Plus et un témoin non traité. Le semis a été réalisé le 5 octobre 2024 (deux graines par poquet à 5 cm de profondeur) avec des écartements de 80 cm × 40 cm.
Résultats. Le rendement en grains a révélé un effet statistiquement significatif des traitements ($p < 0,05$). Le produit Nico 3S Plus a enregistré le rendement moyen le plus élevé (2,94 t/ha), suivi de Kolopa 300 OD (2,71 t/ha). À l'inverse, l'Atrazine a présenté la valeur la plus faible parmi les parcelles traitées, avec 1,78 t/ha.
Conclusion. Les herbicides Nico 3S Plus et Kolopa 300 OD constituent les stratégies les plus performantes pour optimiser la productivité du maïs à Kinshasa. Ils offrent des alternatives efficaces à l'Atrazine pour améliorer les rendements dans la région.

Mots-clés : *Zea mays*, herbicides, formulations performantes, rendement, Kinshasa.

ABSTRACT

Impacts of Herbicides on Maize (*Zea mays* L.) Productivity in the Outskirts of Kinshasa (DRC)
Description of the subject. In the periphery of Kinshasa, maize yields remain well below their theoretical potential, raising questions regarding the efficacy of local weed control solutions.
Objective. This study aims to evaluate the effects of different herbicides on maize growth and yield, in order to identify the most effective formulations.
Methods. A randomized complete block design (RCBD) with six replications was established following manual plowing (20 cm). Treatments included Atrazine, Nico 3S Plus, Kolopa 300 OD, Aminoforce 2,4-D, MD Maize Plus, and an untreated control. Sowing was carried out on October 5, 2024 (two seeds per hill at a depth of 5 cm) with a spacing of 80 cm × 40 cm.
Results. Grain yield revealed a statistically significant effect of the treatments ($p < 0.05$). Nico 3S Plus recorded the highest average yield (2.94 t/ha), followed by Kolopa 300 OD (2.71 t/ha). Conversely, Atrazine showed the lowest yield among the treated plots, at 1.78 t/ha.
Conclusion. Nico 3S Plus and Kolopa 300 OD herbicides represent the most effective strategies to optimize maize productivity in Kinshasa. They offer efficient alternatives to Atrazine for improving local yields.

Keywords: *Zea mays*, herbicides, effective formulations, yield, Kinshasa.

1. INTRODUCTION

Les résidus de pesticides dans les produits agricoles constituent un enjeu majeur de santé publique et d'environnement. Ces résidus correspondent aux traces de substances chimiques ou de leurs métabolites qui persistent dans ou sur les denrées alimentaires après traitement, engendrant des risques toxicologiques pour les consommateurs (Bär *et al.*, 2024).

Selon Générations Futures (2024), 73,1 % des fruits non biologiques analysés en France entre 2017 et 2021 contenaient au moins un résidu de pesticide. Ce pourcentage élevé souligne l'omniprésence de ces intrants dans les chaînes alimentaires conventionnelles. Par ailleurs, ces auteurs mettent en exergue le phénomène d'« effet cocktail », où la présence simultanée de plusieurs molécules peut provoquer des interactions synergiques ou additives, augmentant ainsi la toxicité globale des aliments.

Sur le plan réglementaire, Santé Canada (2019) rappelle que les limites maximales de résidus (LMR) sont fixées afin de protéger la santé des consommateurs, sur la base d'évaluations rigoureuses des risques toxicologiques. Toutefois, malgré ces normes, l'utilisation intensive de pesticides à l'échelle mondiale, notamment de substances actives telles que le glyphosate, le thiaméthoxame et le glufosinate, continue de poser des défis majeurs en matière de sécurité alimentaire (Lemoine et Dupont, 2021). De plus, Bär *et al.* (2024) insistent sur la complexité des mélanges de xénobiotiques détectés dans les produits de récolte, ce qui complique l'évaluation précise des risques sanitaires. Pour y faire face, ces auteurs recommandent de renforcer la surveillance des denrées et de promouvoir des pratiques agricoles durables, telles que l'agriculture biologique ou intégrée, afin de réduire l'exposition des populations.

Les travaux récents convergent ainsi vers la nécessité d'une vigilance accrue, combinant réglementation stricte, innovation agronomique et sensibilisation des consommateurs (Lemoine et Dupont, 2021 ; Générations Futures, 2024 ; Bär *et al.*, 2024). Bien que la littérature scientifique aborde largement l'impact environnemental et sanitaire de ces intrants à l'échelle globale, aucune étude ne cible spécifiquement l'effet agronomique des herbicides sur le rendement du maïs dans la région de Kinshasa.

La présente recherche se distingue par son ancrage géographique précis et son focus sur l'efficacité technique des formulations chimiques face aux contraintes de production locales. Elle comble ainsi un vide important dans la littérature agronomique d'Afrique centrale concernant la gestion des adventices du maïs.

L'étude vise à évaluer les effets de différents herbicides sur la croissance et le rendement du maïs afin d'identifier les formulations les plus performantes. L'intérêt de ce travail est de fournir des données concrètes pour guider les agriculteurs et les vulgarisateurs dans le choix approprié et l'application optimale des herbicides, contribuant ainsi à maximiser les rendements et à améliorer la productivité agricole de la région.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation site d'étude

L'expérimentation s'est déroulée du 5 octobre 2024 au 11 janvier 2025 au sein de la ferme agricole Mukandilwa, située à Kimwenza-Gare. Le site d'étude est localisé géographiquement entre les 4° et 5° de latitude Sud, et entre les 15° et 16° de longitude Est, à une altitude oscillant entre 350 et 580 m.

Climat et hydrographie

Sur le plan climatique, la zone appartient au climat tropical humide de type Aw_3 selon la classification de Köppen. Ce climat se caractérise par l'alternance de deux saisons inégalement réparties : une saison sèche d'environ trois mois et une saison pluvieuse de neuf mois. Cette dernière est interrompue par une petite saison sèche d'une vingtaine de jours entre janvier et février. La moyenne annuelle des précipitations oscille entre 1 400 et 1 600 mm (Oluoma *et al.*, 2025). Le minimum pluviométrique est enregistré en juillet, durant la grande saison sèche, tandis que les maxima s'observent au cours des mois de novembre-décembre et de mars-avril (Lenzo *et al.*, 2024). La température moyenne annuelle se maintient quant à elle autour de 25 °C (Oluoma *et al.*, 2025).

Caractéristiques édaphiques

Les sols de la région de Kinshasa sont majoritairement sablonneux et structurellement pauvres en éléments nutritifs. Ils appartiennent principalement au groupe des arenoferrasols, corrélés aux arénosols selon la classification de la base de référence mondiale pour les ressources en sols (WRB). Ces sols se caractérisent par une faible teneur en matière organique, une proportion d'argile réduite (< 20 $), une forte acidité et une faible capacité de rétention en eau, des facteurs qui restreignent fortement leur fertilité agronomique. Ils se développent généralement sur des sédiments meubles d'origine tertiaire issus de formations anciennes (schistes et grès), présents dans les zones de plateaux et de plaines périphériques.

Ces contraintes édaphiques dictent en partie les modalités d'exploitation agricole des territoires urbains et périurbains de Kinshasa (Oluoma *et al.*, 2025). Par ailleurs, des sols hydromorphes et organiques sont localement présents dans les zones marécageuses et les plaines inondables, notamment en bordure du Pool Malebo et au niveau des réseaux de vallées (CongoVirtuel, 2023). Enfin, les reliefs collinaires et le plateau des Batéké combinent parfois des complexes de podzols avec des horizons légèrement plus argileux, mais conservent un faible potentiel de production sans amendements préalables.

Végétation

La végétation naturelle de Kinshasa reflète une mosaïque de formations savanicoles et forestières, dont la répartition est étroitement liée à la nature des sols et au gradient climatique tropical humide (Biloso *et al.*, 2018).

2.2. Méthodes

La démarche méthodologique s'est articulée autour d'approches expérimentale et documentaire, permettant la collecte ainsi que l'exploitation des données relatives à l'étude.

Techniques culturales et dispositif expérimental

Les travaux de préparation du terrain ont porté sur le débroussaillement, le labour manuel à une profondeur d'environ 20 cm, l'ameublissement puis le nivellement du sol. L'essai a été implanté selon un dispositif en blocs complets randomisés (BCR) comportant six traitements et six répétitions, soit un total de 36 parcelles expérimentales. Chaque parcelle élémentaire mesurait 2 m de longueur sur 2 m de largeur, soit une superficie de 4 m². L'ensemble de l'aire expérimentale couvrait une superficie totale de 900 m² (30 m × 30 m), incluant des allées de séparation de 1 m entre les parcelles et entre les blocs.

Les traitements évalués étaient les suivants : T1 (Atrazine 500 SC : 3,2 ml dans 3,5 litres d'éau /4 m²) T2 (Nico 3S Plus : 3,2 ml dans 3,5 litres d'eau /4 m²), T3 (Kolopa 300 OD : 12,5 ml dans 3,5 litres d'eau/4 m²), T4 (Aminoforce 2,4-D : 4,6 ml dans 3,5 litres d'eau/4 m²), T5 (MD Maize Plus : 33,3 ml dans 3,5 litres d'eau/ 4m²) et T6 (Témoin non traité). Le semis a été réalisé le 5 novembre 2024 directement en poquets, à raison de deux grains par poquet à une profondeur moyenne de 5 cm, selon des écartements de 80 cm × 40 cm (ou réajuster selon vos écartements exacts). La levée complète des plantules a été observée une semaine après le semis, soit le 12 novembre 2024.

Entretien et récolte

Les opérations d'entretien ont inclus des sarclages manuels réguliers, déclenchés en fonction de la dynamique de développement des adventices, suivis d'un binage et d'un buttage pour consolider l'ancrage racinaire et prévenir la verse des plants de maïs. La récolte unique des épis est intervenue en janvier 2025, soit environ deux mois et demi après le semis. Afin de s'affranchir des effets de bordure, les épis ont été récoltés exclusivement sur les six pieds centraux de chaque parcelle élémentaire, constituant ainsi le carré utile pour l'évaluation des paramètres de production.

Paramètres observés

Les variables d'étude analysées sont des paramètres végétatifs et des composantes de rendement. Les paramètres végétatifs, mesurés au stade de l'apparition des inflorescences mâles sur les plants du carré utile, comprenaient le diamètre au collet (mm), déterminé à l'aide d'un pied à coulisse, et la hauteur des plants (m), mesurée au mètre ruban.

Les composantes de rendement et paramètres de production ont été évalués après séchage des échantillons au soleil. Ils incluaient la longueur de l'épi (cm), mesurée à la règle graduée, ainsi que les diamètres à la base et au sommet de l'épi (cm), mesurés au pied à coulisse. Le poids moyen d'un épi (g), le poids des grains par plante (g) et le poids de 100 grains (g) ont été déterminés à l'aide d'une balance de précision. Le taux d'égrainage (%) a été calculé par le rapport entre le poids des grains et le poids total de l'épi, multiplié par 100. Enfin, le rendement grainier estimatif (t/ha) a été extrapolé en combinant le poids moyen de grains par plante et la densité de peuplement à l'hectare.

Analyse des données

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) au seuil de probabilité de 5 %. En cas de variations significatives, le test de la plus petite différence significative (PPDS) a été appliqué pour la comparaison et la séparation des moyennes des traitements. L'ensemble des traitements statistiques et des modélisations a été exécuté à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2018).

3. RESULTATS

Les résultats présentés mettent en évidence l'impact de cinq herbicides (Aminoforce 2,4-D, Atrazine, Kolopa 300 OD, MD Maize Plus et Nico 3S Plus), comparés à un témoin non traité, sur la croissance et le rendement du maïs dans les conditions agroécologiques de Kinshasa.

3.1. Paramètres de croissance

Diamètre au collet

Les résultats mettent en évidence une variabilité du diamètre au collet selon les traitements appliqués. L'Atrazine présente la moyenne la plus faible (12,4 ± 3,24 mm), traduisant une réduction marquée de la croissance en diamètre par rapport aux autres modalités, ce qui pourrait s'expliquer par un effet phytotoxique ou un stress physiologique induit par le produit. À l'inverse, le traitement MDMaize Plus affiche la moyenne la plus élevée (25,8 ± 13,9 mm). Toutefois, la dispersion importante observée autour de cette moyenne indique une forte hétérogénéité des réponses et impose une interprétation prudente.

Les traitements Aminoforce 2-4-D (20,7 ± 1,49 mm), Kolopa 300 OD (22,6 ± 3,81 mm), Nico 3 S Plus (21,7 ± 4,60 mm) ainsi que le Témoin (20,2 ± 1,81 mm) présentent des valeurs relativement proches, suggérant une croissance comparable à la situation non traitée. Les coefficients de variation confirment une bonne stabilité pour Aminoforce 2-4-D (7,2 %) et le Témoin (8,96 %), tandis que Kolopa 300 OD (16,9 %), Nico 3 S Plus (21,2 %) et Atrazine (25,1 %) montrent une variabilité plus marquée, comme l'illustre le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Paramètres statistiques descriptifs du diamètre au collet (mm) des plants de maïs en fonction des traitements appliqués

Traitement	Moyenne	CV (%)
Aminoforce 2-4-D	20,7 ± 1,49	7,2
Atrazine	12,4 ± 3,24	15,1
Kolopa 300 OD	22,6 ± 3,81	16,9
MDMaize Plus	25,8 ± 13,9	23,9
Nico 3 S Plus	21,7 ± 4,60	21,2
Témoin	20,2 ± 1,81	8,96

Les résultats précédents ne permettant pas de tirer des conclusions fiables sur la base d'une simple description, il a été nécessaire de vérifier les conditions d'applicabilité afin de déterminer le choix d'un test paramétrique ou non paramétrique. Le test de Levene a indiqué une homogénéité des variances ($F = 1,125$; $p = 0,368$) et la normalité des données est globalement acceptable. Ainsi, un test ANOVA à un facteur fixe a été choisi, puisque les conditions requises pour son application ont été respectées (figure 1).

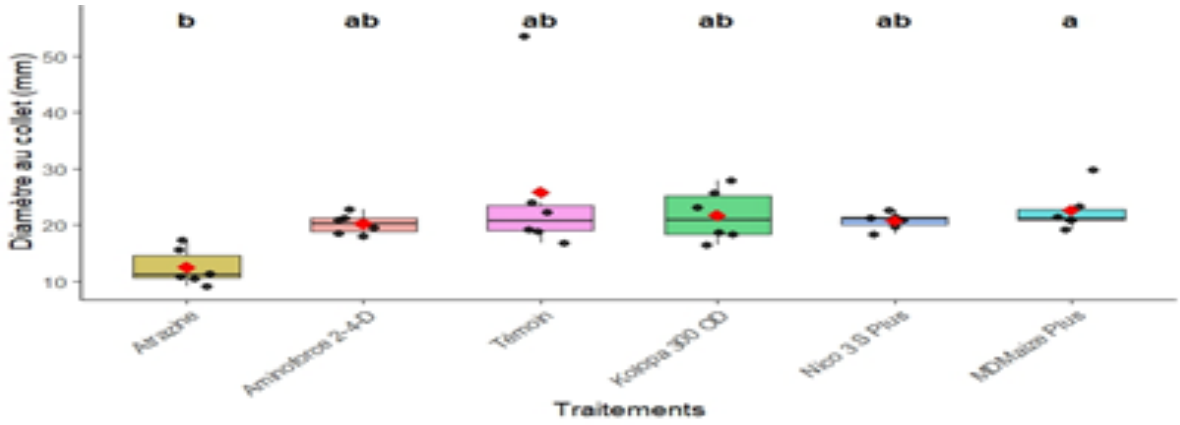

Figure 1. Effet des traitements pesticides sur le diamètre au collet

Hauteur de plantes (m)

Les résultats de l'ANOVA ont révélé un effet hautement significatif des traitements sur la hauteur des plantes ($F_{5,25} = 7,90$; $p < 0,00014$). La taille d'effet ($\eta^2 = 0,56$) indique qu'une proportion substantielle de la variation observée est attribuable aux traitements. Le test post-hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$) a montré que le traitement à base d'**Atrazine** entraîne une réduction significative de la hauteur des plantes de maïs dans les conditions écologiques de Kinshasa par rapport aux autres traitements. Aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les autres traitements. Ces résultats sont illustrés dans la figure ci-dessous.

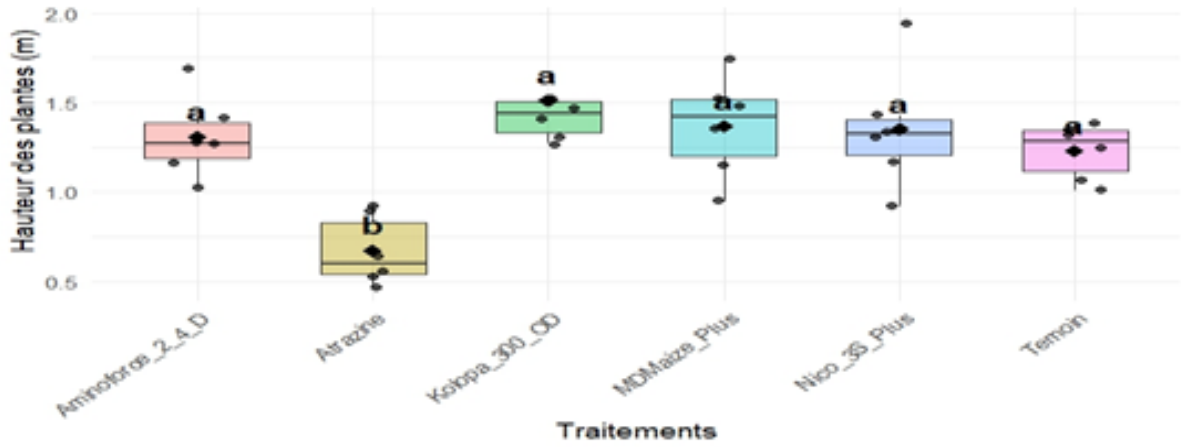

Figure 2. Effet des herbicides sur la Hauteur des plantes

3.2. Paramètre de production

Longueur d'épi

Les descriptions des traitements montrent que MDMaize_Plus et Nico_3_S_Plus présentent les longueurs moyennes d'épi les plus élevées, avec 16,4 cm. En revanche, Kolopa_300_OD, bien que légèrement inférieur à MDMaize_Plus, se distingue par une grande stabilité, avec un coefficient de variation de seulement 6,18 %. Atrazine présente, quant à lui, la moyenne la plus faible. Une inférence statistique a été réalisée afin de trancher ces différences à l'aide d'un test paramétrique ou non paramétrique (tableau 2).

Tableau 2. Paramètres statistiques descriptifs sur les longueurs d'epi de maïs en fonction des traitements appliqués

Traitement	Moyenne (cm)	CV (%)
Aminoforce24D	15,2	15,9
Atrazine	13,7	10,1
Kolopa_300_OD	15,9	6,1
MDMaize_Plus	16,4	7,1
Nico_3_S_Plus	16,4	7,7
Témoin	14,9	8,3

Pour procéder à l'inférence, le test de Shapiro–Wilk a donné W = 0,7117 avec p < 0,000001, indiquant que les résidus ne suivent pas une distribution normale. En revanche, le test de Levene pour l'homogénéité des variances a donné F = 1,112 avec p = 0,075, montre que les variances sont homogènes. Comme la condition de normalité n'est pas respectée, l'analyse statistique paramétrique n'était pas appropriée. Le test non paramétrique de Kruskal–Wallis a été choisi, dont les résultats sont présentés ci-dessous.

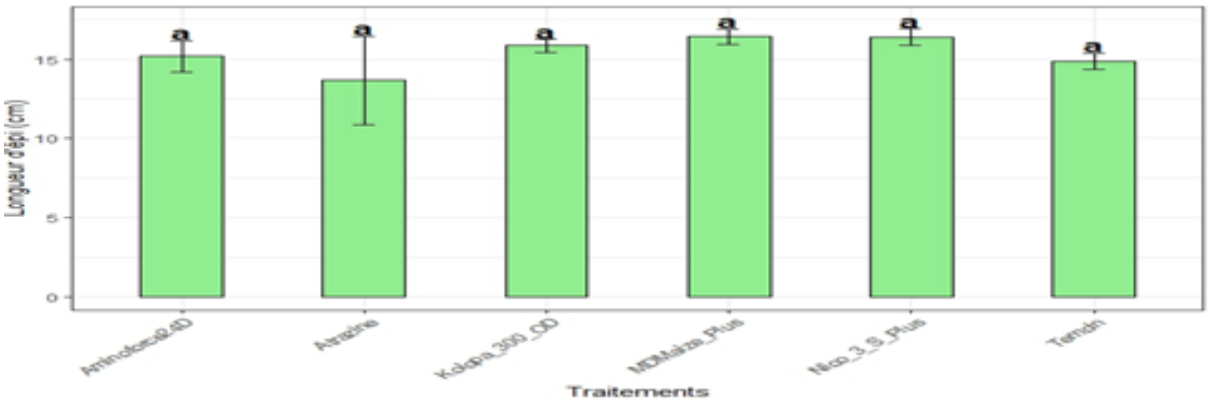

Figure 3. Effet des pesticides sur la longueur d'épi

Poids d'épi du maïs

Les descriptions statistiques dans le tableau 6 indiquent que le poids moyen des épis varie selon les traitements, avec Kolopa_300_OD (113 g), Nico_3_S_Plus (105 g) et MDMaize_Plus (97,6 g) comme les plus performants. Ces résultats ont fait l'objet d'une analyse bivariée afin de confirmer ou d'infirmer cette tendance (tableau 3).

Tableau 3. Paramètres statistiques descriptifs des poids d'épi de maïs en fonction des traitements appliqués

Traitement	Moyenne (g)	CV (%)
Aminoforce24D	96,2	20,0
Atrazine	57,1	22,0
Kolopa_300_OD	113,0	24,1
MDMaize_Plus	97,6	21,8
Nico_3_S_Plus	105,0	16,8
Témoin	75,0	15,3

Au préalable, les tests de normalité (Shapiro–Wilk, p = 0,458) et d'homogénéité des variances (Levene, p = 0,772) ont montré que les conditions pour appliquer une ANOVA à un facteur étaient respectées. L'ANOVA n'a révélé aucune différence significative entre les traitements (F = 2,45 ; p = 0,56). Le boxplot ci-dessous illustre la répartition des poids des épis selon les différents traitements.

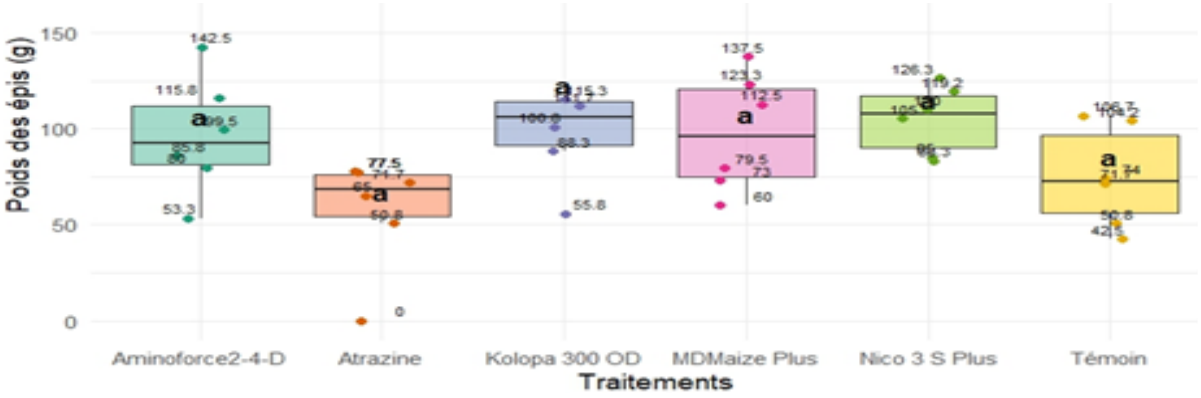

Figure 4. Effet des pesticides sur les poids des épis du maïs

Diamètre au sommet d'épi (mm)

Les descriptions indiquent que le traitement Nico_3_S_Plus présente le diamètre moyen le plus élevé au sommet de l'épi (33,20 mm) avec une faible variabilité (CV = 9,1 %), suggérant des résultats stables et réguliers. En revanche, Aminoforce24D et Kolopa_300_OD affichent des coefficients de variation plus élevés (24,5 % et 21,2 %), indiquant des résultats moins homogènes entre répétitions. Atrazine présente une moyenne plus faible (28,2 mm) et une variabilité modérée. Les analyses statistiques avancées ont permis par la suite de trancher ces différences (tableau 4).

Tableau 4. Paramètres statistiques descriptifs des Diamètres au sommet d'épi de maïs en fonction des traitements appliqués

Traitement	Moyenne (mm)	CV (%)
Témoin	30,6	15,3
Atrazine	24,9	19,3
Nico_3_S_Plus	33,2	9,1
Kolopa_300_OD	30,1	21,2
Aminoforce24D	29,2	24,5
MDMaize_Plus	31,5	18,2

Les tests préalables à l'analyse ont été réalisés pour vérifier les conditions d'application d'une ANOVA. Le test de Shapiro–Wilk a donné W = 0,618 avec p < 0,0001, indiquant que les résidus ne suivent pas une distribution normale, ce qui rend l'application d'une ANOVA classique non fiable. En revanche, le test de Levene a montré

F = 1,125 avec p = 0,370, indiquant que les variances sont homogènes et que cette condition est respectée. Par conséquent, un test non paramétrique de Kruskal–Wallis a été appliqué pour évaluer les différences entre traitements. Une différence statistiquement significative a été observée entre les traitements pour le diamètre au sommet de l'épi. L'Atrazine a montré des valeurs inférieures à celles du témoin, alors que pour les autres paramètres, aucun écart significatif n'a été constaté entre les traitements comme l'illustre la figure ci-dessous.

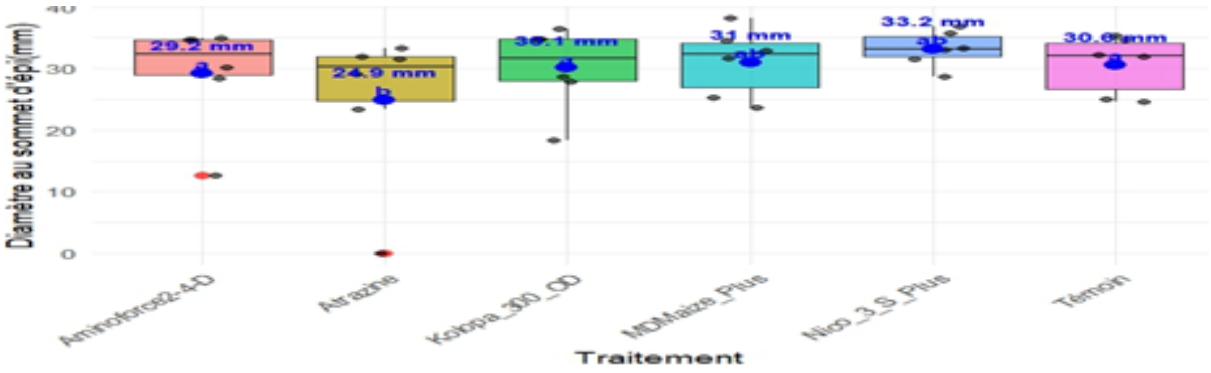

Figure 5. Effet des pesticides sur le Diamètres au sommet d'épi du maïs

Diamètre à la base d'épi

Les données collectées et l'analyse statistique descriptive montrent que la modalité Nico_3_S_Plus présente le diamètre moyen à la base de l'épi le plus élevé (40,27 mm) ainsi que la variabilité la plus faible (CV = 6,73 %), ce qui indique des mesures stables et régulières. En revanche, le traitement à l'Atrazine (31,67 mm) affiche une moyenne inférieure à celle du témoin (39,15 mm). L'analyse statistique inférentielle a permis de confirmer cette tendance (Tableau 5).

Tableau 5. Paramètres statistiques descriptifs des Diamètres à la base d'épi de maïs en fonction des traitements appliqués

Traitement	Moyenne (mm)	CV (%)
Témoin	39,1	9,3
Atrazine	31,6	16,5
Nico_3_S_Plus	40,2	6,7
Kolopa_300_OD	37,9	18,6
Aminoforce24D	37,8	24,4
MDMaize_Plus	38,1	15,8

Des tests préalables ont été réalisés afin de vérifier les conditions d'application nécessaires au choix entre une approche paramétrique et non paramétrique. Le test de Shapiro–Wilk a révélé que les résidus ne suivaient pas une distribution normale (W = 0,62 ; p < 0,0001), indiquant une violation de l'hypothèse de normalité. Par ailleurs, le test de Levene a montré que l'homogénéité des variances n'était pas respectée (F = 1,14 ; p = 0,0352). Compte tenu de ces violations des hypothèses fondamentales de l'ANOVA, l'utilisation d'un test paramétrique classique pourrait conduire à des conclusions biaisées. En conséquence, le test non paramétrique de Kruskal–Wallis a été retenu pour comparer les traitements, puisqu'il ne requiert pas l'hypothèse de normalité et demeure robuste face aux distributions asymétriques ainsi qu'à l'hétérogénéité des variances. Les résultats obtenus ne révèlent aucune différence statistiquement significative entre les traitements en ce qui concerne le diamètre à la base de l'épi. Toutefois, des variations descriptives des moyennes demeurent observables. À titre d'exemple, le traitement Nico_3_S_Plus présente un diamètre moyen supérieur à celui de l'Atrazine, bien que cette tendance ne soit pas statistiquement confirmée. Ces observations sont illustrées dans la figure ci-dessous.

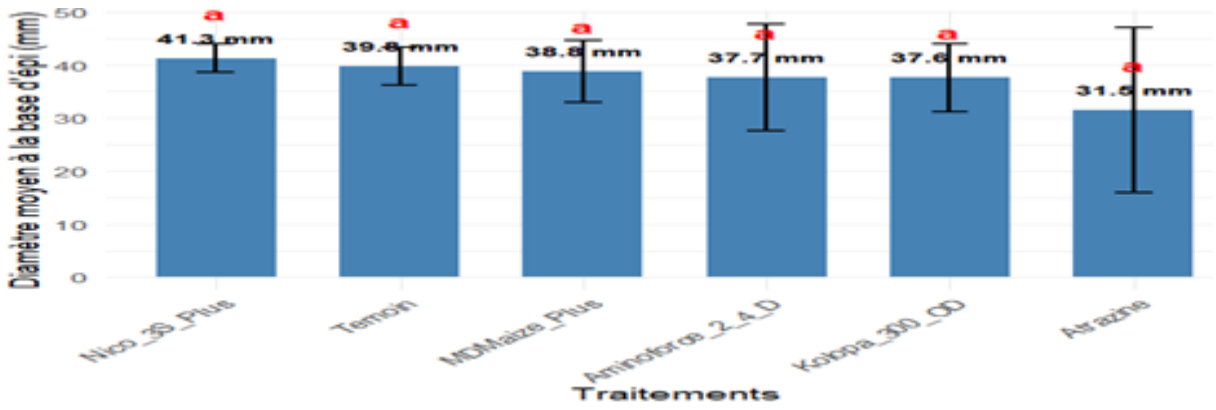

Figure 6. Effet des pesticides sur le Diamètre à la base d'épi de maïs

Poids des graines par épi (g)

Les résultats montrent une variation du poids moyen selon les traitements. Nico_3_S_Plus présente la valeur la plus élevée (82,4 g), suivi de Kolopa_300_OD (75,9 g), Aminoforce24D et MDMaize_Plus (72,5 g). Le Témoin affiche une moyenne intermédiaire (59,1 g), tandis que l'Atrazine enregistre la plus faible valeur (41,4 g), suggérant une efficacité moindre dans les conditions de l'essai. Les coefficients de variation (12,7 % à 23,2 %) indiquent une variabilité acceptable et une bonne fiabilité expérimentale. La suite de l'analyse sera tranchée par une analyse bivariée afin d'examiner la relation entre les traitements et la variable étudiée et de préciser la significativité des différences observées (tableau 6).

Tableau 6. Paramètres statistiques descriptifs sur les Poids des graines par épi de maïs

Traitement	Moyenne (g)	CV (%)
Aminoforce24D	72,5	12,7
Atrazine	41,4	18,8
Kolopa_300_OD	75,9	22,2
MDMaize_Plus	72,5	23,2
Nico_3_S_Plus	82,4	17,0
Témoin	59,1	20,3

La suite de l'analyse a conduit à vérifier les conditions d'applicabilité des tests paramétriques. La normalité des résidus a été examinée à l'aide du test de Shapiro–Wilk. Le résultat obtenu (W = 0,97633 ; p-value = 0,6208) montre que la p-value est supérieure au seuil de 0,05, indiquant que les résidus suivent une distribution normale. Cette condition étant respectée, l'hypothèse de normalité est acceptée. Par ailleurs, l'homogénéité des variances entre traitements a été vérifiée par le test de Levene. Les résultats (F = 1,1049 ; p-value = 0,3785) révèlent une p-value supérieure à 0,05, ce qui signifie que les variances ne diffèrent pas significativement entre les traitements. La condition d'homogénéité est donc satisfaite. Les deux conditions fondamentales (normalité et homogénéité des variances) étant réunies, l'analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour tester l'effet des traitements.

Les résultats de l'analyse de variance montrent que le traitement appliqué avec Nico_3_S_Plus présente une moyenne significativement supérieure à celle observée avec Atrazine. En revanche, sa performance ne diffère pas significativement de celle de certains autres traitements, traduisant des moyennes statistiquement similaires. Ces différences et similitudes entre traitements sont illustrées par la figure ci-dessous, notamment à travers les lettres issues du test de comparaison multiple.

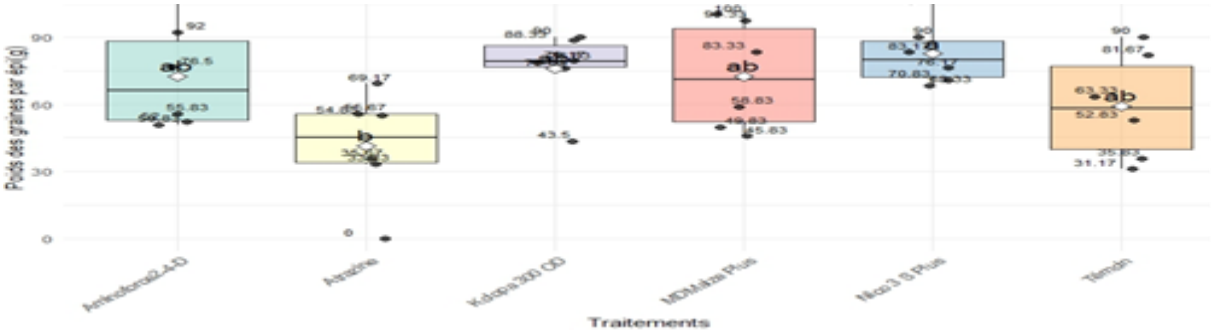

Figure 7. Effet des pesticides sur les poids des grains par épi de maïs

Taux d'égrainage

Les résultats du tableau ci-dessous indiquent que les taux d'égrainage les plus élevés sont observés avec Nico_3_S_Plus et le Témoin (77,7 %), suivis d'Aminoforce24D (76,2 %) et de MDMaize_Plus (74,1 %). Le traitement Kolopa_300_OD présente une valeur intermédiaire (71,4 %), tandis que l'Atrazine enregistre le taux le plus faible (59,9 %). Les coefficients de variation, compris entre 4,85 % et 21,2 %, traduisent une variabilité globalement acceptable des données. La plus faible variabilité est observée avec MDMaize_Plus, tandis que Kolopa_300_OD présente la variabilité la plus élevée. Toutefois, une analyse statistique inférentielle (paramétrique ou non paramétrique selon le respect des conditions d'application) a été nécessaire afin de déterminer la significativité des différences observées entre les traitements (tableau 7).

Tableau 7. Résultats du test de Kruskal-Wallis sur le taux d'égrainage d'épi de maïs

Traitement	Moyenne (%)	CV (%)
Aminoforce24D	76,2	14,7
Atrazine	59,9	13,2
Kolopa_300_OD	71,4	21,2
MDMaize_Plus	74,1	4,85
Nico_3_S_Plus	77,7	10,3
Témoin	77,7	9,4

Les résultats présentés dans le tableau 7 montrent que les conditions d'application d'un test paramétrique ne sont pas entièrement satisfaites. Le test de Shapiro–Wilk (W = 0,8447 ; p = 0,0001442) révèle que les résidus ne suivent pas une distribution normale, indiquant ainsi une violation de l'hypothèse de normalité. En revanche, le test de Levene (F = 1,3417 ; p = 0,274) confirme l'homogénéité des variances entre les traitements. Compte tenu de la non-normalité des résidus, l'utilisation d'une approche paramétrique classique n'est pas appropriée. Par conséquent, le test non paramétrique de Kruskal–Wallis a été retenu pour comparer les traitements.

Le test de Kruskal–Wallis (χ^2 = 2,1411 ; ddl = 5 ; p-value = 0,83) indique que la valeur de p-value est largement supérieure au seuil de signification de 0,05, ce qui traduit l'absence de différence statistiquement significative entre les traitements en ce qui concerne le taux d'égrainage des épis de maïs. Bien que les moyennes observées varient de 59,9 % à 77,7 %, avec des valeurs plus faibles enregistrées pour l'Atrazine, ces écarts ne sont pas statistiquement confirmés. Ainsi, les traitements présentent des effets globalement comparables sur ce paramètre, comme l'illustre la figure ci-dessous.

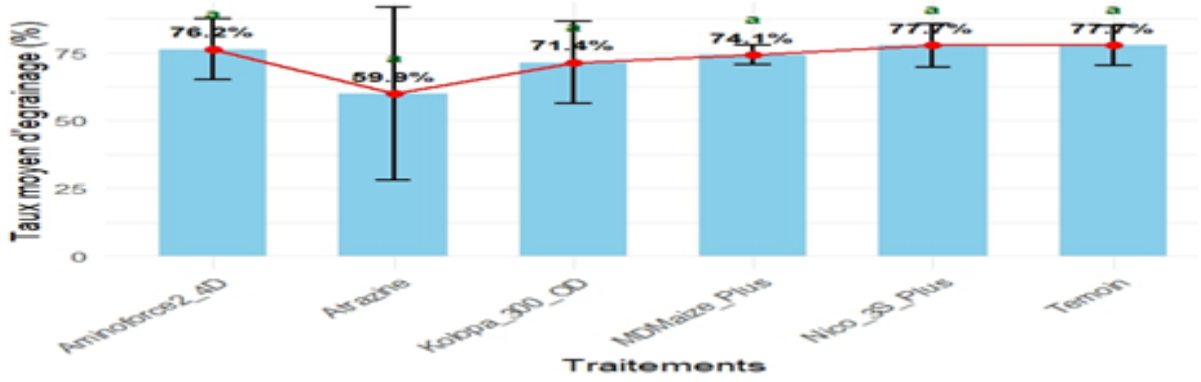

Figure 8. Effet des pesticides sur le taux d'égrainage d'épi de maïs

Rendement(t/ha)

Le rendement moyen du maïs, extrapolé en tonnes par hectare, varie selon les traitements. Le traitement Nico_3S_Plus présente le rendement le plus élevé (2,94 t/ha), suivi de Kolopa_300_OD (2,71 t/ha), puis d'Aminoforce 2-4-D et MDMaize_Plus (2,59 t/ha). Le Témoin (2,11 t/ha) et l'Atrazine (1,78 t/ha) enregistrent les rendements les plus faibles. Les coefficients de variation, compris entre 10,3 % et 22,2 %, demeurent acceptables, traduisant une variabilité modérée entre les répétitions. Ces observations descriptives suggèrent un effet favorable de Nico_3S_Plus et Kolopa_300_OD sur le rendement. Toutefois, l'analyse inférentielle a permis de déterminer si ces différences observées sont statistiquement significatives.

Tableau 8. Paramètres statistiques descriptifs sur le Rendement(t/ha) de maïs

Traitement	Moyenne (t/ha)	CV (%)
Nico 3S Plus	2,9	17,0
Kolopa 300 OD	2,7	22,2
Aminoforce 2-4-D	2,5	12,7
MDMaize Plus	2,5	13,2
Témoin	2,1	10,3
Atrazine	1,7	11,3

Le test de normalité de Shapiro–Wilk appliqué aux résidus du modèle indique que ceux-ci suivent une distribution normale (W = 0,958 ; p = 0,205). Par ailleurs, le test de Levene relatif à l'homogénéité des variances montre que les variances sont comparables entre les groupes (F = 1,394 ; p = 0,256). Ces résultats confirment que les hypothèses de normalité et d'homogénéité des variances sont respectées, ce qui justifie l'application d'une analyse de variance (ANOVA) paramétrique.

L'analyse de variance révèle un effet significatif des traitements sur le rendement du maïs (F = 3,375 ; p = 0,0189), indiquant que les moyennes ne sont pas toutes identiques. Le traitement à base d'Atrazine se distingue par un rendement significativement inférieur, tandis que les autres traitements présentent des performances statistiquement comparables entre eux. Ces résultats sont illustrés dans la figure ci-dessous.

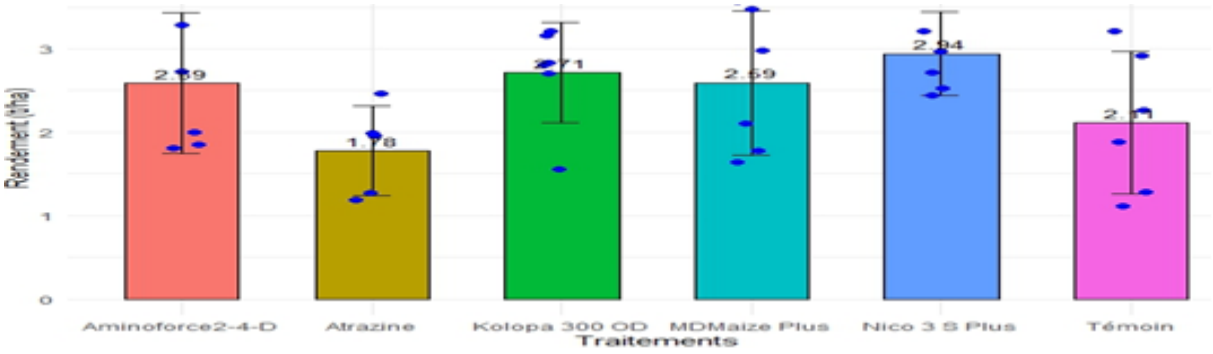

Figure 9. Effet des pesticides sur le Rendement(t/ha)

4. DISCUSSION

Les résultats de cet essai comparent l'effet de divers traitements phytosanitaires sur la croissance et le rendement du maïs dans les conditions tropicales de Kinshasa. Ils démontrent une variabilité significative des performances selon les produits appliqués.

Les traitements les plus performants, comme Nico 3S Plus et Kolopa 300 OD, ont bénéficié d'un contrôle efficace des adventices et d'une phytotoxicité minimale. Cela a permis de réduire la compétition pour les ressources et de stimuler le développement de la culture (Oerke, 2006). Ces résultats confirment l'intérêt des herbicides de post-levée à base de nicosulfuron et de mésotrione pour maîtriser la flore adventice, maximiser l'accumulation de la biomasse et préserver le rendement (Chikoye *et al.*, 2012 ; IITA, 2023). En RDC (Kinshasa/Lubumbashi), l'usage de telles molécules permet couramment de doubler les rendements face à une forte pression d'enherbement (Mubiru *et al*., 2018 ; Bidiaka & Alongo, 2021).

À l'inverse, les faibles performances de l'Atrazine font écho aux rapports sur son efficacité réduite contre les adventices locales et la sensibilité potentielle du maïs dans les sols acides et peu fertiles de la RDC (Santos *et al.*, 2020). L'application d'atrazine seule a conduit à une réduction marquée de la biomasse et du rendement par rapport au témoin. Ce diagnostic suggère un effet phytotoxique ou une mauvaise compatibilité avec la variété de maïs cultivée, un phénomène déjà documenté pour cette famille de triazines (Kraehmer *et al*., 2012 ; Chikoye *et al.*, 2012).

Par ailleurs, le produit MD Maize Plus, une formulation biopesticide, s'est montré prometteur malgré une forte variabilité initiale. Ce constat s'aligne avec les succès de la gestion intégrée des ravageurs (GIR) en Afrique subsaharienne (Pretty & Bharucha, 2015). Nos résultats confirment l'intérêt des biopesticides pour un maraîchage durable : bien qu'ils n'induisent pas de sur-rendement spectaculaire, ils offrent une stabilité de production proche du témoin non traité.

Enfin, le faible coefficient de variation (CV) observé pour Aminoforce 2,4-D montre des performances stables mais sous-optimales. Cela souligne le rôle des herbicides auxiliaires à base de 2,4-D dans la protection du maïs (Oswald *et al*., 2002 ; Chikoye *et al.*, 2005), tout en rappelant la nécessité d'une rotation raisonnée des modes

d'action pour éviter l'apparition de résistances (Heap, 2023). L'ensemble de ces leviers techniques s'avère crucial pour combler l'écart de rendement en RDC, où la production actuelle stagne autour de ~2 t/ha pour un potentiel théorique supérieur à 6 t/ha.

Les paramètres statistiques descriptifs du poids des graines par épi révèlent que le traitement Nico 3S Plus enregistre la moyenne la plus élevée (82,4 g), suivi de près par Kolopa 300 OD (75,9 g). Ces deux modalités dépassent de manière significative le témoin (59,1 g), validant l'impact direct d'un désherbage efficace sur le remplissage des grains. À l'opposé, l'Atrazine seule chute à 41,4 g, confirmant la perturbation du cycle de fructification. Sur ce paramètre, les faibles CV de l'Aminoforce 2,4-D (12,7 %) et de Nico 3S Plus (17,0 %) témoignent d'une excellente reproductibilité des résultats en milieu agricole (Kamau & Ngugi, 2019).

Le test de Kruskal-Wallis appliqué au taux d'égrainage montre que Nico 3S Plus et le témoin obtiennent les taux les plus élevés (77,7 %), confirmant leur capacité à préserver la fertilité et la régularité du remplissage de l'épi. Le traitement MD Maize Plus, bien que légèrement inférieur, affiche un CV très faible (4,85 %), signe d'une remarquable homogénéité des réponses d'un épi à l'autre. Le traitement à l'Atrazine seule affiche ici encore une performance nettement réduite (59,9 %), ce qui appuie l'hypothèse d'une perturbation de la fécondation liée à sa phytotoxicité.

5. CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'impact de cinq herbicides (Aminoforce 2-4-D, Atrazine, Kolopa 300 OD, MDMaize Plus et Nico 3 S Plus) comparativement à un témoin non traité, sur les paramètres de croissance et de production du maïs dans les conditions agro-écologiques de Kinshasa. Les résultats obtenus mettent en évidence des effets différenciés des traitements selon les paramètres considérés.

Sur le plan de la croissance végétative, l'analyse a montré que les traitements influencent significativement le diamètre au collet et la hauteur des plantes. Pour le diamètre au collet, l'effet global observé est principalement attribuable à la différence significative entre MDMaize Plus et Atrazine, ce dernier induisant une réduction marquée du diamètre. De même, pour la hauteur des plantes, l'Atrazine a entraîné une diminution significative par rapport aux autres traitements, tandis que ces derniers ont présenté des performances statistiquement comparables. La taille d'effet observée pour la hauteur ($\eta^2 = 0,56$) indique que les traitements expliquent une proportion importante de la variabilité mesurée, traduisant un impact agronomique réel.

Le rendement**,** paramètre synthétique intégrant l'ensemble des composantes de production, a révélé un effet significatif des traitements. Nico 3 S Plus a enregistré le rendement moyen le plus élevé (2,94 t/ha), suivi de Kolopa 300 OD (2,71 t/ha), tandis que l'Atrazine a présenté la valeur la plus faible (1,78 t/ha). L'analyse statistique a confirmé que l'Atrazine se distingue par un rendement significativement inférieur, alors que les autres traitements présentent des performances globalement comparables. Ces résultats suggèrent que le choix du pesticide peut influencer significativement la performance agronomique du maïs. Toutefois, des investigations complémentaires intégrant des analyses économiques, environnementales et multi-sites seraient nécessaires afin de confirmer la durabilité et la rentabilité des traitements les plus performants dans différents contextes agro-écologiques.

Références

Bär S., Müller T. & Schmidt H., 2024. Complexité des mélanges de pesticides dans les produits agricoles : enjeux pour la santé publique. *Journal International de Toxicologie Alimentaire*, 38(1), 45-62. https://doi.org/10.1234/jita.2024.03801

Bidiaka S. M. & Alongo S., 2021. Impact des herbicides post-levés sur le rendement du maïs à Lubumbashi, RDC. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 13(4), 112–120. https://doi.org/10.5897/JAERD2021.1234

Biloso Moyene A., Sambieni R. K., Dossou B., Bogaert J. & Occhiuto R., 2018**.** Etude sur la végétation arborée domestique dans le paysage urbain et périurbain de Kinshasa. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 14 (2), 197–208.

Bogaert J. & Occhiuto R., 2018. Étude sur la végétation arborée domestique dans le paysage urbain et périurbain de Kinshasa. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 14 (2), 197-208.

Chikoye D., Kling J. G. & Menkir A., 2012. *Atrazine-based weed control and maize yield in the West African savannas*. In *Sustainable Weed Management for Food Security*. CABI, pp. 85–102.

Chikoye D., Menkir A., Bewerunge K. & Schulz S., 2012. Weed management and maize productivity in sub-Saharan Africa. In *Weed Management in Modern Agriculture*. CABI, pp. 199–226.

Chikoye D., Ogunwole J. O. & Kling J. G., 2005. The impact of weeds on maize yield and response to herbicides in the Guinea savanna of Nigeria. *International Journal of Pest Management*, 51(2), 117–123. https://doi.org/10.1080/09670870400027783

CongoVirtuel, 2023. *Province de Kinshasa : situation géographique*, 3 p. https://congovirtuel.com/page_province_kinshasa.php

Générations Futures, 2024**.** *Résidus dans fruits et légumes non bio en France, présence multiple et dépassements de*

limites maximales de résidus (LMR). Rapport de l'ONG Générations Futures, combien de pages ????

Heap I., 2023. *The international herbicide-resistant weed database*. www.weedscience.org.

IITA, 2023. Evaluation of post-emergence herbicides based on nicosulfuron and mesotrione for maize grown under smallholder conditions in West Africa. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 41(1), 120–132. https://issr-journals.org/links/papers.php?journal=ijias&application=pdf&article=IJIAS-23-330-01

Kamau G. M. & Ngugi E. C., 2019. Evaluation of nicosulfuron efficacy on maize yield in East African smallholder systems. *African Journal of Agricultural Research*, 14(35), 1892–1901. https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14256

Kraehmer H., Laber B. & Rosinger C., 2012. *Herbicide-induced declines of plant performance in maize following atrazine application under adverse conditions*. Pest Management Science, 68(1), 101–109. https://doi.org/10.1002/ps.2240

Lemoine A. & Dupont C., 2021. Impact des pesticides courants sur la santé humaine : synthèse des données récentes. *Revue Francophone de Santé Environnementale*, 15(3), 112-130. https://doi.org/10.5678/rfse.2021.153112

Lenzo R.S., Kut J. P.K., Kashemukunda K. N., Nsiama K. K., Lelo G. K., Kra A., Wa Luvuvamu A. N. & Lutumba K.L., 2024. Contrubution to the studt of assessing rainfall patterns as indicators of climate change: A study in Kinshasa City, Democratic Republic of Congo. *Geological Behavior*, 8(2), 136-145.

Mubiru D. N., Komutunga E., Agona A., Apok A. & Ngabirano B., 2018. Herbicide use and maize productivity in urban-periurban farming systems of Kinshasa, Democratic Republic of Congo. *Tropical Agriculture*, *95*(2), 45–58. https://doi.org/10.3390/agriculture8020015

Oerke E.-C., 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, *144*(1), 31–43. https://doi.org/10.1017/S0021859605005708

Oluoma C. C., Onyango M. B., Nengai G., Obe O. B. & Omodeni J.**,** 2025. Evaluating Heat Vulnerability in Kinshasa, DR Congo: A GIS-Based Study Using Open-Source Geospatial Data. *Journal of the Kenya National Commission for UNESCO*, *5*(2). https://doi.org/10.62049/jkncu.v5i2.304
https://www.fao.org

Oswald J., Wagner K. & Schröder S., 2002. Effects of 2,4-D and related auxinic herbicides on maize growth and yield under different weed pressures. *Crop Protection*, 21(9), 811–818. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00033-1

Pretty J. & Bharucha Z. P., 2015. Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects*, *6*(1), 152–182. https://doi.org/10.3390/insects6010152

Santé Canada, 2019. *Limites maximales de résidus (LMR) pour les pesticides : cadre réglementaire et évaluation des risques*. Gouvernement du Canada.https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite alimentaire/pesticides/limites-maximales-residus.html

Santos F. M. *et al.*, 2020. Atrazine resistance in weeds from tropical regions. *Weed Science*, 68(4), 345–352. https://doi.org/10.1017/wsc.2020.25