



JOURNAL OF OASIS AGRICULTURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

www.joasdjournal.org

JOASD

p-ISSN: 2724 – 699X
e-ISSN: 2724-7007

Effets de la dose d'urée et de la fréquence de sarclage sur le rendement et l'efficience d'utilisation de l'azote chez le maïs (*Zea mays L.*) dans l'hinterland de Kolwezi, RD Congo

Effects of urea dose and weeding frequency on yield and nitrogen use efficiency in maize (*Zea mays L.*) in Kolwezi hinterland, DR Congo

John Kikuni Tchowa^{1*}, Médard Mpanda Mukenza², Gloire Mukaku Kazadi³, Georges Musasa

Mutombo⁴, Daniel Kabwema Kalombo⁵, Célestin Kabongo Kabeya⁶ & Delphin Kabamb

Kanyimbu¹

¹ Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kolwezi, Kolwezi, RD Congo.

² Département de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Technologique Katumba Mwanke, Kasenga, RD Congo

³ Département de Gestion de Ressources Naturelles Renouvelables, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kindu, Kindu, RD Congo.

⁴ Laboratoire d'Ecologie du Paysage et Foresterie Tropicale (LEPAFORT), Institut Facultaire des sciences agronomiques de Yangambi, Kisangani, RD Congo.

⁵ Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Technologique Katumba Mwanke, Kasenga, RD Congo.

⁶ Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo.

Article info

Histoire :

Reçu : 02 Octobre 2023

Accepté : 03 Novembre 2023

Mots-Clés : Urée, Adventices, Rentabilité, Efficience d'utilisation d'azote, Maïs, Kolwezi.

Résumé

L'objectif de l'étude était d'analyser l'influence de la dose d'urée et de la fréquence de sarclage sur l'efficience d'utilisation de l'azote (NUE) et le rendement du maïs dans les conditions écologiques de Kolwezi. Un essai a été établi en split plot comprenant deux facteurs, la dose d'urée avec quatre modalités (0 ; 200 ; 300 et 400kg.ha⁻¹ d'urée) et la fréquence de sarclage avec trois modalités (0 ; 1 et 2 sarclages). Après la récolte du maïs sec et le pesage, deux types d'échantillons composites ont été constitués par traitement (un échantillon pour les parties végétatives et un autre pour les graines, soit un total de 24 échantillons composites) et amenés au laboratoire pour analyse de la teneur en azote total par la méthode Kjeldahl. Les résultats obtenus ont montré qu'à l'exception de l'efficience de prélèvement, la dose d'urée a eu une influence significative sur tous les paramètres d'efficience d'utilisation d'azote (prélèvement d'azote, efficience physiologique, efficience de production) ainsi que sur le rendement en grains du maïs. En revanche, la fréquence de sarclage n'a eu aucun effet sur tous les paramètres d'efficience et le rendement du maïs. Cependant, sa combinaison avec la dose d'urée a seulement influencé l'efficience physiologique ; les autres paramètres étant restés similaires. L'apport de la dose de 200kg.ha⁻¹ d'urée en combinaison avec un seul sarclage se sont révélés des pratiques non seulement productives, mais aussi optimales, rentables et moins polluantes c'est-à-dire recommandables. Cette étude met à la disposition des producteurs de maïs des pratiques culturales appropriées capables d'améliorer significativement le rendement et la marge bénéficiaire tout en limitant les pertes d'azote.

* Auteur correspondant
kikunitchowajohnw@gmail.com

Article info

Article history:

Received: 02 October 2023

Accepted: 03 November 2023

Abstract

The aim of the study was to analyse the influence of urea dose and weeding frequency on nitrogen use efficiency (NUE) and maize yield under the ecological

Keywords: Urea, Weeds, Profitability, Nitrogen use efficiency, Maize, Kolwezi.



Copyright©2023 JOASD

*Corresponding author
kikunitchowajohnw@gmail.com

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

conditions of Kolwezi. To achieve this, a split plot trial was set up with two factors, urea dose with four modalities (0; 200; 300 and 400kg.ha⁻¹ of urea) and weeding frequency with three modalities (0, 1 and 2 weeding). After the dry maize had been harvested and weighed, two types of composite samples were taken for each treatment (one sample for vegetative parts and another for seeds, for a total of 24 composite samples) and brought to the laboratory for analysis of the total nitrogen content using the Kjeldahl method. The results showed that, except for Nitrogen Uptake Efficiency, the urea dose had a significant influence on all Nitrogen Use Efficiency parameters (Nitrogen Uptake, physiological efficiency, Agronomic efficiency) as well as on maize grain yield. On the other hand, weeding frequency had no effect on all Nitrogen Use Efficiency parameters and maize grain yield. However, its combination with urea dose only influenced physiological efficiency; the other parameters remained similar. The application of the dose of 200kg.ha⁻¹ of urea in combination with a single weeding operation proved to be not only productive, but also optimal, profitable and less polluting practices, i.e, recommendable. This study provides maize growers with appropriate cultivation practices capable of significantly improving yield and profit margin while limiting nitrogen losses.

1. INTRODUCTION

Le maïs (*Zea mays L.*) est la culture céréalière la plus produite au monde, dépassant le blé et le riz (FAO, 2022). Il contribue de manière substantielle à la production totale de céréales, au commerce, à l'économie mondiale, à l'alimentation humaine et animale et à l'approvisionnement de l'industrie agro-alimentaire (Pingali, 2001 ; Degla et al., 2020). En Afrique subsaharienne, il constitue la culture céréalière de base la plus importante cultivée par les petits exploitants agricoles (Macauley, 2015). En République Démocratique du Congo (RDC), le maïs est la première céréale cultivée et occupe la deuxième place parmi les cultures vivrières derrière le manioc (SENASEM, 2008 ; Tshiabukole, 2018). Il connaît cependant une baisse d'environ -15% comparée à la moyenne de 2013-2016 car sa production est passée de 2,4 millions tonnes à 2,1 millions (Ministère de l'Agriculture/RDC, 2018). Son rendement moyen avoisine 0,8 et 1 t.ha⁻¹. Cette situation contribue à une insécurité alimentaire pour la population RD Congolaise en générale et celle de la ville de Kolwezi en particulier. Pour pallier au déficit de production en cette denrée, le gouvernement et les commerçants recourent souvent aux importations, à titre illustratif, 46 941 t du maïs grains et 60 095 t de la farine du maïs ont été importés en 2018 (FAO, 2020). Compte tenu de l'accroissement de la population mondiale, qui devrait atteindre 9,8 milliards de personnes en 2050 (FAO, 2019), une augmentation de 119% de la production de cultures comestibles serait nécessaire pour satisfaire la demande en nourriture selon les prédictions (Berners-Lee et al., 2018). Par conséquent, l'agriculture, qui fait déjà face à une forte compétition pour les ressources (terre, eau, énergie, etc.), doit relever

le grand défi de nourrir cette population à travers l'augmentation de la production (Tatiana, 2019). Or, l'épuisement du sol en éléments nutritifs est une cause majeure des faibles rendements des cultures dans certaines parties du monde, surtout dans les pays en développement et particulièrement en Afrique (Dobermann, 2007, Traoré et al., 2020 ; Saba, 2023). L'utilisation des engrains organiques et minéraux devient donc un impératif pour accroître la production agricole, car l'augmentation de rendement n'est possible que si les éléments minéraux exportés du sol sont régulièrement remplacés (Akassimadou et al., 2017). En effet, l'azote, un des quatre éléments chimiques principaux constitutifs de la matière vivante, est une matière première indispensable à l'activité agricole (fertilisation, etc.) (Mathieu, 2014). Il est un facteur essentiel de croissance, de rendement et même de qualité. C'est un élément constitutif de la chlorophylle, des bases organiques, enzymes, et vitamines. Bref, il constitue l'élément majeur le plus limitatif pour la croissance des plantes (Noura et al., 2007). Son importance dans l'augmentation des rendements explique l'augmentation de la consommation mondiale en engrains azotés de 800% entre 1960 et 2012 (Wu et al., 2016). A l'inverse, les excès d'apports d'engrais azotés par rapport aux besoins de la culture entraînent une diminution de l'efficience de l'utilisation de l'azote (Mathieu et Christophe, 2016). L'azote non utilisé par la plante est en effet perdu dans l'écosystème, entraînant la pollution de la nappe phréatique, la pollution de l'air et l'acidité du sol (Hirel et al., 2007). Les impacts nuisibles de perte du nitrate du sol ont des implications toxicologiques pour les animaux et les êtres humains (Camargue et Alonso, 2006) et aussi sur l'environnement qui mène à l'eutrophisation

d'eau douce et d'écosystèmes marins (Beman et al., 2005). Ce phénomène se manifeste par une prolifération d'algue verte, l'infiltration réduite de la lumière, l'épuisement de l'oxygène dans l'eau de la surface, la disparition d'invertébrés et la production de toxines malfaisantes aux poissons, bétails et êtres humains. En plus, les sols subissant l'eutrophisation sont la source pour l'émission de l'oxyde nitreux (N_2O) qui peut réagir avec l'ozone stratosphérique (Sutton et al., 2011), donc augmenter l'effet de serre et aussi l'émission de l'ammoniac (NH_3) dans l'atmosphère qui peut contribuer à l'acidification des eaux de pluie (Ramos et al., 1996 ; David et al., 2009). Pour assurer un approvisionnement alimentaire suffisant et obtenir un revenu agricole adéquat tout en réduisant l'incidence défavorable de l'utilisation excessive d'engrais sur l'environnement, il est nécessaire d'adopter de pratiques agricoles soutenables, tels que la fertilisation équilibrée visant à obtenir des rendements plus importants sans entraîner une accélération des pertes d'azote dans l'environnement, l'établissement de la végétation basse, la gestion rationnelle des adventices, etc.

Le présent travail a été initié dans le but d'évaluer l'effet de la dose d'urée et de la fréquence de sarclage sur l'efficience de l'utilisation de l'azote et le rendement du maïs.

Spécifiquement, l'étude vise à déterminer la dose optimale d'urée et la fréquence rentable de sarclage pour la culture de maïs. Ainsi, les hypothèses suivantes ont été émises : (1) il existe une dose optimale à l'emploi de l'urée qui serait rentable et moins polluante et (2) une fréquence de sarclage adéquate en maïs culture. L'intérêt de ce travail est de mettre à la disposition des producteurs de maïs des pratiques culturales appropriées capables d'améliorer significativement le rendement et la marge bénéficiaire tout en limitant les pertes d'azote vers l'environnement.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

L'expérimentation a été conduite de décembre 2019 à Mai 2020, à la Station de recherche de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kolwezi située à 1 450m d'altitude, 10° 46' 55,61" de Latitude Sud et 25° 32' 48,36" de longitude Est, à environ 341km au Nord-ouest de la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo (Fig. 1). La ville de Kolwezi tire son existence à l'exploitation du cuivre et du cobalt par l'Union Minière du Haut-Katanga (UMHK), rebaptisée la Générale des Carrières et des Mines (Gécamines) après l'indépendance. Elle n'a pas un siècle d'existence, mais sa population connaît depuis sa

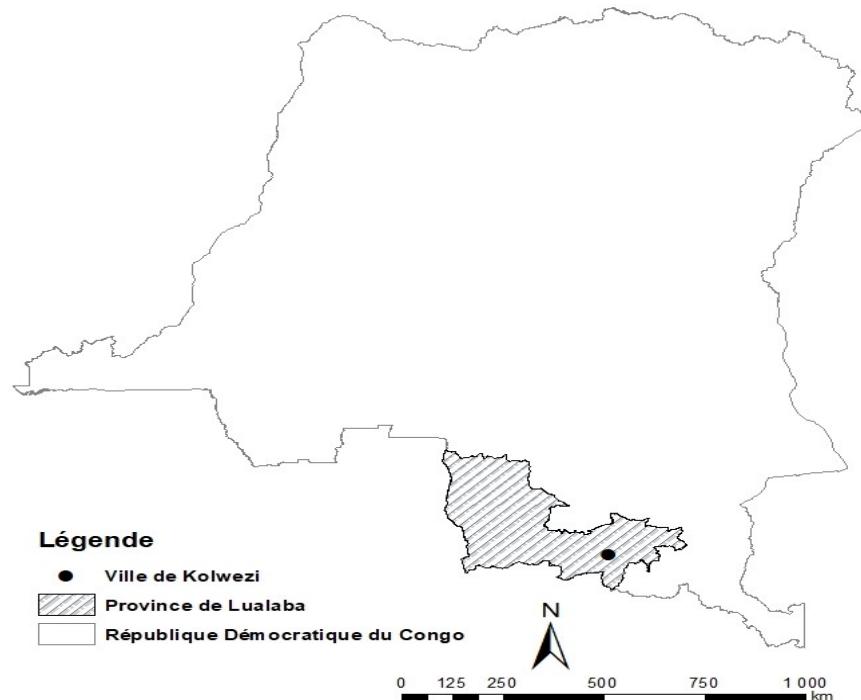


Fig. 1. Localisation de la ville de Kolwezi, province de Lualaba, R.D. Congo.

Fig. 2. Location of Kolwezi town, Lualaba province, R.D. Congo.

création une croissance soutenue et ininterrompue, estimée à environ 1.078.568 habitants (Kitabala et al., 2019).

Kolwezi se trouve dans la zone agro écologique des plateaux de Biano et son climat est du type "Cw" marqué par une saison sèche et une saison pluvieuse (Malaisse, 1974 ; Kottek et al., 2006 ; Kitabala et al., 2019). Toutefois, Kolwezi connaît une saison sèche froide (Juin-mi-Août), une saison sèche chaude (mi-Août à fin septembre), une saison des pluies précoces (Octobre-Novembre), une pleine saison des pluies (Décembre-Mars) et une saison des pluies tardives (Mars-Avril) (Malaisse, 1974 ; Dikumbwa et al., 2020). La moyenne de précipitations annuelles varie entre 1 200 à 1 600mm d'eau. Le sol de Kolwezi et ses environs présente des affleurements rocheux appartenant au soubassement cristallin précambrien (gneiss, granite et schiste) et aux sédiments (surtout sableux) du pléistocène (Mukalay, 2016). Ces sols ne sont pas riches malgré la luxuriance de la végétation qu'on attribue à une forte richesse en humus. Ceci est dû au fait que la décomposition de la matière organique est rapide (Anonyme, 2005 ; Kitabala et al., 2016). La végétation est essentiellement du type soudano-zambézien, qui comprend une forte proportion de groupements herbeux (Kikufi & Lukoki, 2008). Avant l'installation de l'essai, le terrain était sous jachère herbeuse et dominé par des espèces suivantes : *Linaria genistifolia* (L.) Mill., *Artemisia campestris* L., *Hippobroma longiflora*, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (Fougère des aigles), *Hedychium gardnerianum* Sheppard ex Ker Gawl, *Echinochloa colona* (L.) Link., *Panicum maximum* Jacq.

Tableau 1. Données des paramètres climatiques au cours de la période expérimentale (Décembre 2019 à Mai 2020)

Table 1. Climate parameter data during the experimental period (December 2019 to May 2020)

Paramètres climatiques	2019		2020				
	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	
Précipitations	Quantité	121,10	234,20	278,50	106,00	90,50	3,00
	Nombre de jours de pluies	8,00	13,00	10,00	7,00	4,00	1,00
Température (°C)	Maximum	30,00	32,00	32,00	31,50	30,50	30,00
	Moyenne	22,00	21,00	20,50	21,60	17,50	17,00
	Minimum	18,50	19,50	18,70	18,50	14,50	13,50
Humidité relative (%)	90,00	85,00	78,00	88,00	92,00	75,00	

Source : Agence Nationale de Météorologie et de Télédétection par Satellite (METELSAT)/Station de la Régie des Voies Aériennes (RVA) Kolwezi.

Les relevés climatiques de la zone d'étude fournis par l'Agence Nationale de Météorologie et de Télédétection par Satellite (METELSAT) de la République Démocratique du Congo station de Kolwezi sont repris dans le Tableau 1.

2.2. Matériaux

La variété de maïs SC 647, un hybride de la firme semencière SeedCo, a été utilisée comme matériel biologique. C'est une variété largement utilisée dans la province du Lualaba par les agriculteurs en raison de sa bonne résistance à la chaleur, à la sécheresse, aux maladies (helminthosporiose, cercosporiose et striure) et aux ravageurs, la faible taille des plantes (2,5m) la rendant moins sensible à la verse, un excellent développement racinaire ainsi qu'un potentiel de rendement élevé ($6\text{-}13 \text{ t.ha}^{-1}$). C'est une variété à cycle moyen (± 136 jours). En plus, un échantillon composite de sol a été formé, à partir de plusieurs échantillons simples prélevés de façon systématique sur l'ensemble du champ expérimental à 0-15cm de profondeur. Après analyses par spectrophotométrie au laboratoire Agro-pédologique de la faculté des sciences agronomiques de l'université de Lubumbashi selon les méthodes décrites par Mulaji (2010), les résultats ont révélé que le sol utilisé est de structure sableuse et sa richesse chimique se trouve à un niveau très bas (Tableau 2). L'engrais composé NPK 17-17-17 a été utilisé comme engrains de fond et l'urée 46%N comme fumure d'entretien. Le choix de l'urée 46%N comme source supplémentaire d'azote, a été motivée par sa disponibilité sur les marchés de Kolwezi, sa teneur élevée en azote et sa solubilité élevée.

Tableau 2. Composition chimique du sol du site expérimental

Table 2. Chemical composition of the soil at the experimental site

Eléments	N total %	P total µg/g sol	P disponi- ble µg/g sol	K total µg/g sol	Fe total µg/g sol	Cu total µg/g sol	Mn total µg/g sol	Ca total µg/g sol	Mg total µg/g sol	CO %	MO %	pH eau	pH KCl	C/N
Valeur dans le Sol														
0,11	7,68	2,91	880	829	27	55	0,22	0,32	1,51	2,60	5,03	4,04	13	

Source : Laboratoire Agro Pédologique de la faculté des sciences agronomiques de l'Université de Lubumbashi (LAP-FSA UNILU).

Légende : N (Azote), P (Phosphore), K (Potassium), Fe (Fer), Cu (Cuire), Mn (Manganèse), Ca (Calcium), Mg (Magnésium), CO (carbone organique), MO (matière organique), pH (potentiel d'hydrogène), KCl (Chlorure de potassium), µg/g (Microgramme par gramme), C/N (rapport carbone – azote).

2.3. Méthodes

2.3.1. Dispositif expérimental, traitements et conduite de l'essai

L'essai a été installé suivant un dispositif en parcelles divisées avec la dose d'urée et la fréquence de sarclage comme facteurs. Le facteur principal, dose d'urée, comprenait 4 niveaux : 0kg, 200kg, 300kg et 400kg.ha⁻¹ d'urée. Le facteur secondaire, fréquence de sarclage, comprenait quant à lui 3 modalités : 0 sarclage, 1 sarclage et 2 sarclages.cycle⁻¹; soit un total de 12 objets, chacun répété 3 fois. La randomisation des niveaux du facteur principal au niveau de chaque bloc était suivie par la randomisation des modalités du facteur secondaire à chaque niveau du facteur principal.

Les graines de maïs ont été semées le 17 décembre 2019 en lignes à une densité de 62 500 plantes.ha⁻¹; ce qui correspond aux écartements de 0,80 m×0,20 m à raison d'une graine par poquet d'une profondeur de ±5cm. En plus, 400kg.ha⁻¹ de NPK 17-17-17 ont été appliqués comme engrains de fond. Par contre, l'application de l'urée 46%N a été réalisée au 45^{ème} jour après semis pour la dose 200kg.ha⁻¹, tandis que les doses de 300 et 400kg.ha⁻¹ ont été fractionnées en 2 : la première moitié apportée au 30^{ème} jour tandis que la seconde moitié au 45^{ème} jour. Le sarclage a été exécuté aussi selon le traitement, soit 0 fois (aucun sarclage), soit une seule fois (1 sarclage au 25^{ème} jour après semis), soit 2 fois (2 sarclages, le premier au 25^{ème} jour après semis et le deuxième au 50^{ème} jour après semis).

Au 150^{ème} jour après semis, tout en écartant les lignes de bordure, la récolte a été réalisée

manuellement le 15/05/2020 lorsque les signes de maturité ont été observés (dessèchement des feuilles et des épis). Les épis et les parties végétatives du maïs ont été séchés pour ramener le taux d'humidité à 14%. Pour chaque traitement, deux échantillons composites ont été formés : un échantillon de grains de maïs et un autre regroupant les parties végétatives (toutes les parties de la plante sauf les graines). Ces deux échantillons ont été amenés au Laboratoire pour l'analyse de l'azote total par la méthode Kjeldhal (Guiraud et Fardeau, 1977). Les résultats de l'analyse et les rendements obtenus sur chaque traitement nous ont permis de calculer les paramètres d'efficience d'utilisation d'azote selon les équations I, II, III et IV (Good et al., 2004 ; Han et al., 2015).

- **Le prélèvement d'azote**

$$\text{Le prélèvement d'azote (\%)} = \frac{\text{Teneur en N}(\%) \times \text{Rdt en grains ou parties végétatives}(\frac{\text{t}}{\text{ha}})}{100} \quad (\text{I})$$

Avec Rdt : rendement, N : azote et t/ha : tonne par hectare

- **L'efficience de prélèvement :**

Définie comme le rapport entre l'azote absorbé par la plante à maturité et l'azote disponible dans le sol. Elle estime l'efficience avec laquelle l'azote du sol est absorbé par la plante

$$\text{Efficience de prélèvement de l'azote (\%)} = \frac{\text{NR1} - \text{NR0}}{\text{N1}} * 100 \quad (\text{II})$$

Avec NR1 : exportation de N sur parcelle fertilisée ; NR0 : exportation de N sur parcelle non fertilisée ; N1 : dose d'azote apporté par l'urée.

- L'efficience physiologique :**

Définie comme le rapport entre le rendement en grain et l'azote absorbé par la plante à maturité. Elle évalue l'efficience avec laquelle cet azote absorbé par la plante est assimilé et remobilisé vers le grain.

Efficience physiologique (kg graines/kg N prélevé) = $\frac{Y_1 - Y_0}{N_{R1} - N_{R0}}$ (III)

Avec Y_1 : rendement sur parcelles fertilisées ; Y_0 : rendement sur parcelles non fertilisées.

- L'efficience de production :**

Représente l'augmentation du rendement due à l'apport d'azote.

Efficience de production (Kg graines/kg N apporté) = $\frac{Y_1 - Y_0}{N_1}$ (IV)

En plus, les paramètres de rendement (le poids de grains par épis, le nombre de grains par épis, le poids de 1000 grains, le rendement en grains) ont été mesurés.

2.3.2. Analyse des données

L'analyse de la variance adaptée au dispositif factoriel (Split plot) a été réalisée sur les résultats portant sur les paramètres d'efficience d'utilisation d'azote et de production à l'aide du logiciel R version 4.2.1 en vue de ressortir les effets de chaque facteur étudié (dose d'urée, fréquence de sarclage, et leurs interactions) sur les différences observées entre différents résultats obtenus. En cas de différences significatives ($P<0,05$), les moyennes ont été regroupées en différentes classes par le test de Tukey.

La rentabilité a été étudiée à l'aide du Rapport Valeur-Cout (RVC) en vue d'identifier la dose d'urée et la fréquence de sarclage rentables. Nous avons obtenu ce rapport en divisant la valeur de l'augmentation de rendement en grains de maïs pour chaque traitement par le coût engagé suite à l'utilisation de l'urée ou du sarclage. Le coût total de l'apport de l'urée par ha était de 60 USD et couvrait le prix d'achat (50 USD), le transport (5 USD) et l'épandage (5 USD). Le coût de la main d'œuvre du sarclage était de 100 USD (pour la fréquence de 1 sarclage) et 200 USD (pour la fréquence de 2 sarclages) à l'hectare. Au moment de cette étude, la tonne de maïs sur le marché de Kolwezi se vendait à 400 USD.

3. RESULTATS

3.1. Effet de la dose d'urée sur les paramètres d'efficience d'utilisation de l'azote

L'analyse de la variance révèle que l'apport d'urée a induit une différence hautement significative ($P=0,000$) sur le prélèvement en azote de graines, le prélèvement total, l'efficience physiologique ainsi que sur l'efficience de production (Tableau 3). Les graines, tout comme la plante entière, prélèvent une grande quantité d'azote lorsque ce dernier est apporté par l'urée et une faible quantité d'azote lorsque l'urée n'est pas apportée. Des quantités équivalentes et supérieures à 85,4kg N.ha⁻¹ sont prélevées par les graines de maïs après apport de l'urée contre 32,66kg N.ha⁻¹ sans apport d'urée. De même, on observe un prélèvement total supérieur ou égal à 140,19kg.ha⁻¹ sur les parcelles qui ont reçu l'urée contre 59,87kg.ha⁻¹ sur les parcelles n'ayant pas

Tableau 3. Effet des doses d'urée sur les paramètres d'efficience d'utilisation de l'azote du maïs.

Table 3. Effect of urea doses on corn nitrogen use efficiency parameters.

Doses d'urée (Kg.ha ⁻¹)	Prélèvement N par les graines (kg.ha ⁻¹)	Prélèvement total de N (kg.ha ⁻¹)	Efficience de Prélèvement (%)	Efficience Physiologique (Kg graines/Kg N prélevé)	Efficience de Production (Kg graines/kg N apporté)
0	32,66±4,45b	59,87±8,57b	-	-	-
200	85,40±12,47a	140,19±22,12a	87,30±17,59	45,14±11,10a	38,22±6,54a
300	101,72±17,63a	155,71±41,06a	69,45±32,04	39,38±9,23a	25,12±7,83b
400	96,43±39,13a	166,45±50,94a	57,92±26,12	24,91±12,67b	15,91±11,16b
P value	0,000	0,000	0,055	0,000	0,000

Remarque : Les différentes lettres (a et b) dans chaque colonne indiquent des différences significatives entre les doses d'urée.

reçu l'urée. Par ailleurs, l'efficience de production se révèle être meilleure (38,22) avec l'apport de 200kg d'urée et moindre (25,12 et 15,91) aux fortes doses d'urée (300 et 400kg.ha⁻¹ d'urée). En plus, 1kg d'azote prélevé permet d'obtenir un maximum de graines (39,38 et 45,14) respectivement apport de 200kg et 300kg.ha⁻¹ d'urée. L'apport de 400kg.ha⁻¹ d'urée a donné une efficience physiologique faible (25,21kg). Enfin, aucune différence significative ($P>0,05$) n'a été induite par la dose d'urée sur l'efficience de prélèvement.

3.2. Effet de la fréquence de sarclage sur les paramètres d'efficience d'utilisation de l'azote du maïs

Les résultats relatifs à l'effet de la fréquence de sarclage sur les paramètres d'efficience d'utilisation de l'azote tels que présentés dans le Tableau 4 montrent, après analyse de la

variance, que la fréquence de sarclage n'a eu aucun effet sur toutes les composantes de l'efficience d'utilisation d'azote, à savoir le prélèvement de l'azote, l'efficience de prélèvement, l'efficience physiologique et l'efficience de production. La valeur de probabilité restant dans tous les cas supérieure à 0,05.

3.3. Effet combiné de la dose d'urée et de la fréquence de sarclage sur les paramètres d'efficience d'utilisation de l'azote du maïs.

Les moyennes de valeurs obtenues sur les paramètres d'efficience d'utilisation d'azote sont présentées dans le Tableau 5. L'analyse de la variance révèle que les combinaisons des différentes doses d'urée et la fréquence de sarclage ont induit une différence très significative ($P=0,001$) sur l'efficience

Tableau 4. Effet de la fréquence de sarclage sur les paramètres d'efficience d'utilisation d'azote du maïs.
Table 4. Effect of weeding frequency on corn nitrogen use efficiency parameters.

Fréquence de sarclage	Prélèvement N par les graines (kg.ha ⁻¹)	Prélèvement total de N (kg.ha ⁻¹)	Efficience de Prélèvement (%)	Efficience Physiologique (Kg graines/KgN prélevé)	Efficience de Production (Kg graines/kg N apporté)
0	71,97±32,81	127,30±54,95	73,32±23,20	36,33±17,88	26,74±13,59
1	87,79±41,94	129,86±59,12	70,36±35,91	34,91±15,70	25,23±13,50
2	77,40±30,84	134,52±52,09	70,99±26,05	38,19±6,43	27,29±11,91
<i>P value</i>	0,202	0,878	0,962	0,683	0,887

Tableau 5. Effet combiné des doses d'urée et de la fréquence de sarclage sur les paramètres d'efficience d'utilisation d'azote par le maïs.

Table 5. Combined effect of urea doses and weeding frequency on nitrogen use efficiency parameters by corn.

Dose Urée (kg.ha ⁻¹)	Fréquence de Sarclage	Prélèvement N par les graines (kg.ha ⁻¹)	Prélèvement total de N (kg.ha ⁻¹)	Efficience de Prélèvement (%)	Efficience Physiologique (Kg graines/Kg N prélevé)	Efficience de Production (Kg graines/kg N apporté)
0	0	29,08±6,49	53,13±12,38	-	-	-
	1	34,67±0,62	61,79±2,45			
	2	34,22±2,79	64,70±5,06			
200	0	73,19±6,25	116,99±17,83	69,41±11,12	58,03±5,20a	39,95±3,60
	1	96,77±5,36	157,06±7,34	103,55±8,02	36,79±4,38a	38,00±4,46
	2	86,24±11,64	146,52±17,06	88,94±13,05	40,59±7,87a	36,71±11,40
300	0	114,51±11,37	185,76±33,57	96,10±25,84	31,08±2,26a	29,59±6,38
	1	100,87±15,66	124,26±20,61	45,27±16,13	49,17±5,40a	21,99±7,48
	2	89,78±20,21	157,11±48,49	66,97±35,03	37,88±7,47a	23,80±10,05
400	0	71,09±15,35	153,31±21,38	54,44±4,99	19,88±9,71b	10,68±4,97
	1	118,84±57,83	176,32±86,00	62,25±46,24	18,78±15,39b	15,68±12,07
	2	99,36±28,53	169,73±45,87	57,08±22,80	36,09±5,68a	21,37±11,49
<i>P value</i>		0,266	0,328	0,081	0,001	0,564

Remarque : Les différentes lettres (a et b) indiquent des différences significatives entre les traitements.

physiologique, et en particulier lorsque 400kg.ha⁻¹ d'urée sont apportés. Pour cette dernière, l'efficience physiologique est meilleure (23,09) lorsque les parcelles sont sarclées 2 fois et plus faible (19,88 et moins) sur les parcelles non sarclées ou sarclées une seule fois. Faut-il aussi signaler que cette meilleure efficience physiologique n'est pas différente de celles obtenues sur des parcelles fertilisées avec 200 ou 300kg.ha⁻¹ quelle que soit la fréquence de sarclage. Cependant, des différences non significatives ($P>0,05$) sur les autres paramètres d'efficience d'utilisation de l'azote ont été observées, notamment le prélèvement de l'azote, l'efficience de prélèvement et l'efficience de production.

3.4. Effet de la dose d'urée sur les paramètres de rendement du maïs

La dose d'urée, telle que présentée dans le Tableau 6, a induit des différences hautement significatives ($P=0,000$) sur le rendement en grains de maïs, le poids de 1000 grains, le nombre de grains par épi ainsi que sur le poids de grains par épi. Il a donc été observé que tous les quatre paramètres de rendement précités évoluent positivement avec l'apport de 200kg.ha⁻¹ d'urée. Par exemple, le maïs donne un rendement de 2,83 t.ha⁻¹ sans apport d'urée et 6,34 t.ha⁻¹ (plus du double) lorsque 200 kg.ha⁻¹ d'urée sont apportés. La même tendance est observée avec le poids de grains par épi, le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains. Aucune amélioration possible n'est notée lorsque les doses supérieures à 200 kg.ha⁻¹

d'urée sont apportées.

3.5. Effet de la fréquence de sarclage sur les paramètres de rendement du maïs

Les résultats relatifs à l'impact de la fréquence de sarclage sur les paramètres de rendement sont présentés dans le Tableau 7. L'analyse de la variance révèle que seul le poids de 1000 grains a été influencé significativement ($P=0,000$) par la fréquence de sarclage, les parcelles non sarclées donnant un faible poids de 1000 grains par rapport à celles sarclées une fois. Tous les autres paramètres de rendement (nombre de grains par épi, poids de grains par épi, rendement en grains) n'ont pas été influencés significativement par la fréquence de sarclage ($P>0,05$).

3.6. Effet combiné de la dose d'urée et de la fréquence de sarclage sur les paramètres de rendement du maïs

Les moyennes de valeurs obtenues sur les paramètres de rendement sont présentées dans le Tableau 8. L'analyse de la variance révèle que l'interaction dose d'urée-fréquence de sarclage a induit une différence hautement significative ($P=0,000$) sur le poids de 1000 grains. Ce dernier est plus faible (220 g) sur les parcelles non sarclées (0 sarclage) et non fertilisées par l'urée (0 kg.ha⁻¹ d'urée) et supérieur sur les autres parcelles, lesquelles sont restées égales. Cependant, tous les autres paramètres de rendement (nombre des grains par épi, poids de grains par épi et rendement en grains) n'ont pas été influencés ($P>0,05$) par l'interaction dose d'urée-fréquence de sarclage.

Tableau 6. Effet des doses d'urée sur les paramètres de rendement du maïs.

Table 6. Effect of urea doses on corn yield parameters.

Paramètres de rendement	Doses d'urée (kg.ha ⁻¹)				<i>P value</i>
	0	200	300	400	
Nombre des grains par épi	172,20±49,00b	301,12±37,00a	308,91±36,00a	295,30±78,10a	0,000
Poids de grains par épi (g)	48,80±9,31b	108,70±12,67a	112,50±13,52a	110,92±31,79a	0,000
Poids de 1000 grains (g)	300,00±63,10b	351,11±16,90a	365,61±35,00a	366,74±18,03a	0,000
Rendement en grains (t.ha⁻¹)	2,83±0,47b	6,34±0,61a	6,29±0,92a	5,80±2,12a	0,000

Remarque : Les différentes lettres (a et b) dans chaque colonne indiquent des différences significatives entre les doses.

Tableau 7. Effet de la fréquence de sarclage sur les paramètres de rendement du maïs.

Table 7. Effect of weeding frequency on corn yield parameters.

Paramètres de croissance	Nombre de sarclage			<i>P value</i>
	0	1	2	
Nombre des grains par épi	263,00±58,90	266,80±76,50	278,30±95,07	0,746
Poids de grains par épi (g)	87,52±30,99	100,91±32,57	97,17±35,80	0,213
Poids de 1000 grains (g)	323,33±64,30b	367,50±29,60a	346,70±23,90ab	0,000
Rendement en grains (t.ha⁻¹)	4,85±1,78	5,62±1,97	5,43±1,94	0,300

Remarque : Les différentes lettres (a, ab et b) indiquent des différences significatives entre les fréquences de sarclage.

Tableau 8. Effet combiné de la dose d'urée et de la fréquence de sarclage sur les paramètres de rendement du maïs.

Table 8. Combined effect of urea dose and weeding frequency on corn yield parameters.

Dose Urée (kg.ha ⁻¹)	Fréquence de Sarclage	Nombre des grains par épis	Poids des grains par épis (g)	Poids de 1000 grains (g)	Rendement en grains (t.ha ⁻¹)
0	0	208,1±74,90	41,11±8,00	220,00±11,10b	2,42±0,54
	1	170,07±14,96	58,39±2,58	343,3±30,63a	3,27±0,06
	2	138,47±10,72	46,76±6,58	336,7±20,82a	2,78±0,23
200	0	279,47±18,00	104,03±4,42	346,7±20,80a	6,10±0,52
	1	322,53±27,30	118,64±9,54	363,3±15,28a	6,77±0,38
	2	301,43±54,97	103,27±17,51	343,3±11,55a	6,16±0,83
300	0	316,67±34,81	115,67±7,87	366,7±23,09a	6,51±0,65
	1	277,7±37,80	108,49±18,32	390,0±30,00a	6,30±0,98
	2	332,3±13,01	113,3±17,20	340,0±40,00a	6,07±1,37
400	0	247,93±48,53	89,27±17,44	360,00±0,00a	4,39±0,95
	1	297,1±97,60	118,12±41,10	373,3±32,15a	6,15±2,99
	2	341,00±77,50	125,37±30,89	366,7±11,55a	6,71±1,93
P value		0,161	0,461	0,000	0,589

Remarque : Les différentes lettres (a et b) indiquent des différences significatives entre les traitements.

3.7. Effet des doses d'urée sur la rentabilité du maïs à Kolwezi.

Les résultats tels que présentés dans les Tableaux 9 et 10, montrent l'effet des doses d'urée sur la rentabilité du maïs. Toutes les doses d'urée (notamment 200, 300 et 400 kg.ha⁻¹) donnent respectivement un rapport-valeur coût de 5,9 ; 3,8 et 2,5 ; soit un RVC > 2. Ce qui signifie que l'emploi de l'urée 46%N est rentable.

4. DISCUSSION

4.1. La dose d'urée et la fréquence de sarclage : quel effet sur l'efficience de l'utilisation de l'azote du maïs ?

La quantité d'azote prélevée du sol par le maïs varie avec la dose d'urée apportée, qu'il s'agisse des graines ou du prélèvement total de la plante entière. Ce prélèvement reste faible sans apport d'urée et augmente lorsque l'urée est apportée, soit un prélèvement total supérieur ou égal à

Tableau 9. Rentabilité liée à l'utilisation des doses d'urée sur le maïs à Kolwezi.

Table 9. Profitability linked to the use of urea doses on maize in Kolwezi.

Doses d'urée (kg.ha ⁻¹)	Coût Urée (\$)	Main d'œuvre + transport (\$)	Coût total (\$)	Rendement (t.ha ⁻¹)	Augmentation de rendement (t.ha ⁻¹)	Valeur de l'augmentation de rendement par ha (\$)	RVC
0	-	-	-	2,83	-	-	-
200	200,00	40,00	240,00	6,34	3,51	1 404,00	5,90
300	300,00	60,00	360,00	6,29	3,46	1 384,00	3,80
400	400,00	80,00	480,00	5,80	2,97	1 188,00	2,50

Tableau 10. Effet de la fréquence de sarclage sur la rentabilité de la culture du maïs à Kolwezi.

Table 10. Effect of weeding frequency on the profitability of maize cultivation in Kolwezi.

Fréquence de sarclage	Main d'œuvre (\$)	Coût total (\$)	Rendement (t.ha ⁻¹)	Augmentation de rendement (t.ha ⁻¹)	Valeur de l'augmentation de rendement par ha (\$)	RVC
0	-	-	5,05	-	-	-
1	100,00	100,00	5,76	0,71	284,00	3,10
2	200,00	200,00	5,31	0,26	104,00	1,20

140,19kg.ha⁻¹ sur les parcelles qui ont reçu l'urée contre 59,87kg.ha⁻¹ sur les parcelles n'ayant pas reçu l'urée. Nous pouvons ainsi constater que le prélèvement de l'azote du sol par le maïs est influencé par la richesse de cet élément dans le sol. Plus l'azote est mieux réparti dans le sol, plus il est disponible et mieux prélevé par les racines des plantes. En revanche, la fréquence de sarclage et son interaction avec la dose d'urée n'ont influencé aucune composante de prélèvement d'azote ($P>0,05$). En d'autres termes, la présence des adventices sur les parcelles non sarclées n'a pas influencé une compétition souterraine en cet élément ; cela serait dû par le fait que l'expérimentation a été réalisée sur un terrain nouvellement ouvert et donc moins infesté par les adventices. L'azote étant l'élément minéral le plus consommé par la plante (Celette, 2007 ; Cannavo, 2021), son prélèvement est la base de tout meilleur rendement et même de la qualité surtout des plantes comme les céréales qui en sont encore très exigeantes (Habbib, 2017 ; Abras, 2020). Plus la plante préleve beaucoup d'azote, plus elle a tendance à produire suffisamment.

Si le prélèvement de l'azote se limite seulement à la quantité captée par la plante, l'efficience de prélèvement nous a permis, quant à elle de mettre en évidence la proportion de l'azote prélevé par la plante par rapport à la quantité totale apportée, permettant ainsi de déduire celle qui est perdue dans l'environnement, et cela relativement aux différentes doses d'urée. Il a donc été observé une efficience de prélèvement similaire quelles que soient les doses d'urée utilisées avec une efficience de prélèvement moyenne de 71,56%. Ceci veut dire tout simplement que le maïs a prélevé en moyenne 71,56% de la quantité totale d'azote lui apportée par une dose spécifique de l'urée. A ce niveau, il y a lieu de signaler cependant que si l'efficience de prélèvement reste stable ou similaire, la quantité d'azote perdue dans l'environnement augmentera de façon linéaire des faibles aux fortes doses d'urée. Par exemple, une perte d'azote de 50% de 400kg.ha⁻¹ d'urée représente le double d'une perte de 50% de 200kg.ha⁻¹ d'urée. Ce qui nous amène à conclure que les fortes doses d'urée augmentent les pertes d'azote, avec toutes les conséquences environnementales et sanitaires qui l'accompagnent (Habbib, 2017). Ainsi, cette étude montre qu'à rendements proportionnels ou légèrement différents, l'utilisation de 200kg.ha⁻¹ d'urée est relativement moins polluante par rapport aux doses élevées (300 et

400kg.ha⁻¹ d'urée) parce que l'utilisation de l'engrais azoté par les plantes est plutôt inefficace. Généralement, la plante absorbe seulement 50% (voire moins de 50%) de l'azote appliqué. La cause principale de cette faible efficacité d'utilisation de l'azote est la perte d'azote du système plante-sol par l'intermédiaire de la lixiviation, du ruissellement, de l'érosion ou des émissions gazeuses (FAO et IFA, 2003 ; Celette, 2007 ; Detchinli et al., 2017). Ceci laisse indiquer un danger selon lequel les eaux souterraines deviennent de plus en plus riches en nitrate, nuisibles à la santé des consommateurs. L'impact nuisible de l'emploi excessif d'engrais azotés sur l'environnement peut être minimisé s'il est accompagné par usages agricoles soutenables (Hirel et al., 2007). Les excès d'apports d'engrais azotés par rapport aux besoins de la culture entraînent une diminution de l'efficience de l'utilisation de l'azote (Mathieu et Christophe, 2016). Par ailleurs, la fréquence de sarclage et son interaction avec la dose d'urée n'ont aucunement influencé l'efficience de prélèvement. La proportion d'azote prélevée n'a donc pas varié quels que soient les travaux de sarclage sur certaines parcelles visant à limiter la concurrence avec les adventices. Nous pouvons ainsi en déduire que la présence des adventices n'a pas influencé négativement le prélèvement d'azote, mais elle a plutôt permis de capter une certaine quantité d'azote qui n'aurait pas été prélevé par la plante cultivée.

L'efficience physiologique permet d'évaluer l'utilisation de l'azote prélevé par la plante et son allocation au profit de la formation de graines. Elle renseigne sur la quantité de graines formées lorsqu'un kilogramme d'azote est prélevé par la plante. A ce niveau, une différence hautement significative a été induite par les doses d'urée sur l'efficience physiologique ($P<0,001$) : 1kg d'azote prélevé par le maïs permet de fabriquer 45,14kg de graines avec un apport de 200kg.ha⁻¹ d'urée et seulement 24,91kg de graines (presque la moitié) avec l'apport de 400kg.ha⁻¹ d'urée (le double). Ceci ramène à dire que l'augmentation de la dose d'urée, au-delà de 200kg.ha⁻¹, a impacté négativement sur la formation des graines de maïs. Cette évidence s'expliquerait par le fait que, les fortes doses occasionneraient soit une consommation de luxe, soit une perturbation du métabolisme, soit une allocation de cet élément à d'autres activités notamment l'appareil végétatif parce que l'azote a bel et bien été absorbé et s'est retrouvé dans les différents tissus de la plante du maïs. Cependant, c'est

plutôt sa remobilisation pour la formation des graines qui a été faible. Ces résultats sur l'efficience physiologique ont une tendance comparable à ceux trouvés par Rutkowska (2014) dans une étude réalisée en Pologne. Ce dernier a en effet constaté comme dans notre étude que, l'efficience physiologique se dégradait constamment avec l'augmentation des doses d'azote appliquées à la culture de maïs, soit 51,9kg graines/kg N prélevé à la dose de 50 kg N.ha⁻¹ et seulement 25,6kg graines/kg N prélevé (la moitié) à la dose de 250kg N.ha⁻¹ (le quintuple).

Si la fréquence de sarclage n'a pas induit des différences significatives, son interaction avec la dose d'urée a plutôt induit une différence très significative ($P<0,001$) sur l'efficience physiologique. En effet, lorsque 400kg.ha⁻¹ d'urée sont apportés, l'efficience physiologique est meilleure (36,09) sur les parcelles sarclées 2 fois et plus faible (19,88 et moins) sur les parcelles non sarclées ou sarclées une seule fois. Nous devons aussi signaler que cette meilleure efficience physiologique est restée similaire à celles obtenues sur des parcelles fertilisées avec 200 ou 300kg.ha⁻¹ quelle que soit la fréquence de sarclage. Ceci se justifierait par le fait que les fortes doses d'urée ont permis le prélèvement élevé d'azote par la plante suite à sa disponibilité dans le sol et le sarclage 2 a permis de diminuer la compétition, ce qui a favorisé une utilisation efficace de l'azote par la plante du maïs.

Enfin, l'efficience de production a pour objectif d'étudier l'augmentation moyenne du rendement par unité d'azote appliquée au sol. En d'autres termes, cette efficience permet de prédire la quantité de graines produite après apport d'1kg d'azote au sol. Nous avons ainsi noté une différence hautement significative des doses d'urée sur l'efficience de production : 1kg d'azote apporté a permis d'obtenir 38,22kg de graines sur les parcelles ayant reçu la dose de 200kg.ha⁻¹ d'urée et 15,91kg de graines (moins de la moitié) sur celles ayant reçu 400kg.ha⁻¹ d'urée montrant une décroissance de l'efficience de production après accroissement des doses d'azote apportées. Il convient ici de signaler que l'efficience de production est la résultante de l'efficience de prélèvement et de l'efficience physiologique qui peuvent facilement l'influencer (Moll et al., 1982, Hirel et al., 2007 ; Habbib, 2017). Cette décroissance de l'efficience de production serait due à l'efficience de prélèvement faible sur des parcelles à fortes doses d'azote. En plus, lorsque la plante a

prélevé les considérables quantités d'azote, il peut en résulter une accumulation d'azote dans la plante sous diverses formes non protéiques comme les amides, nitrates et ne pas être utilisé dans la production de la biomasse (Marschner, 1995, Han et al., 2015 ; Tatiana, 2019). En revanche, la fréquence de sarclage n'a pas induit une différence significative sur l'efficience de production.

4.2. Les paramètres de rendement du maïs: impact de la dose d'urée et de la fréquence de sarclage

La dose d'urée a induit des différences hautement significatives ($P<0,000$) sur tous les paramètres de rendement du maïs (notamment, le rendement en grains de maïs, le nombre de grains par épi, le poids de grains par épi et le poids de 1000 grains). La quantité de 200kg.ha⁻¹ d'urée étant considérée comme dose optimale. Un rendement de 2,83 t.ha⁻¹ est obtenu sans apport d'urée et 6,34 t.ha⁻¹ (plus du double) lorsque 200kg.ha⁻¹ d'urée sont apportés. Aucune amélioration possible sur tous les paramètres de rendement n'est notée lorsque les doses supérieures à 200kg.ha⁻¹ d'urée sont apportées.

Les explications à cette baisse de rendement, pour les doses supérieures à 200kg.ha⁻¹ d'urée sont élucidées sur l'efficience de production étant donné que le rendement est une conséquence directe de l'efficience de production. Par ailleurs, la fertilisation azotée ne se traduit pas toujours par une augmentation de rendement (Thibodeau et al., 2006 ; Richner et al., 2010). Les apports azotés au-delà de l'optimum n'augmente plus la production mais deviennent toxiques pour la plante et conduisent à la baisse de rendement (Levy et Schwaerzel, 2009 ; Richner et al., 2010 ; Levy et Brabant, 2016 ; Habbib, 2017).

D'autre part, seul le poids de 1000 grains a été influencé significativement par la fréquence de sarclage et son interaction avec la dose d'urée ($P<0,000$). Les parcelles non sarclées ont produit un faible poids de 1000 grains que celles sarclées deux fois. En outre, le poids de 1000 grains est plus faible (220 g) sur les parcelles non sarclées (0 sarclage) et non fertilisées par l'urée (0kg.ha⁻¹ d'urée) et supérieur sur toutes les autres parcelles, lesquelles sont restées égales. Ceci se justifierait par une forte compétition sur les parcelles non sarclées et sans apport d'urée que sur celles qui ont été sarclées. Étant donné que la compétition est définie comme le partage entre individus d'une ressource limitée, le niveau de

compétition exercé par les adventices dépend surtout de la quantité de ressources disponibles par rapport à la demande, donc une notion liée à leur nombre (densité), leur identité et de la culture (Cordeau et al., 2016).

4.3. L'apport des différentes doses d'urée et le sarclage sont-ils rentables sur le maïs ?

Le rapport valeur-coût (RVC) a permis de mettre en évidence la rentabilité liée à la fréquence de sarclage et à l'utilisation des différentes doses d'urée chez le maïs. En effet, le RVC obtenu avec la dose de 200kg.ha⁻¹ d'urée (soit RVC=5,9) est supérieur à ceux obtenus avec les doses 300 et 400kg.ha⁻¹ d'urée (respectivement 3,8 et 2,5). En plus, un seul sarclage donne un meilleur RVC (3,1) que lorsque les parcelles sont sarclées 2 fois (soit RVC=1,2). La rentabilité a évolué donc inversement par rapport à la dose d'urée et la fréquence de sarclage. Cela serait dû au manque d'équilibre entre le coût élevé de l'urée et/ou de la main d'œuvre de sarclage et la valeur de l'augmentation du rendement y relative. Bien que toutes les doses d'urée et la fréquence de 1 sarclage soient rentables (RVC>2), l'utilisation de la dose de 200kg.ha⁻¹ d'urée et la fréquence de 1 sarclage sont meilleurs c'est-à-dire recommandables. Une rentabilité décroissante avec l'augmentation des doses d'urée a été aussi constatée par Nyembo et al. (2013) dans une étude menée à Lubumbashi où l'utilisation des fortes doses des fertilisants augmentait le rendement, laquelle augmentation ne faisait que compenser les dépenses engagées pour leur achat et utilisation. Useni et al. (2012) avaient aussi démontré, dans une étude menée dans la région de Lubumbashi, que les fortes doses de fertilisants (3,5 tonnes Fumiers de Poules + 150kg NPK + 100kg d'urée ; 7 tonnes Fumiers de Poules + 150kg NPK + 100kg urée ; 3,5 tonnes Fumiers de Poules + 300kg + NPK+200kg urée ; 7 tonnes Fumiers de Poules + 300kg NPK+200kg urée et 1,75 tonne Fumiers de Poules, 300kg NPK+200kg urée) exigeaient une augmentation du coût de production, tout en entraînant une réduction du profit. En plus, l'augmentation de fréquences de sarclage augmente le coût de production au détriment du bénéfice.

5. CONCLUSIONS

Cette étude a été menée dans le but de mettre en évidence l'effet de la dose d'urée et de la fréquence de sarclage sur l'efficience de l'utilisation de l'azote et le rendement du maïs. Pour y arriver, quatre doses d'urée 46%N (0, 200, 300 et 400kg.ha⁻¹) ont été supplémentées

au maïs après l'apport de l'engrais de fonds NPK 17-17-17 au semis ; les parcelles de maïs étant sarclées 0, 1 ou 2 fois. Les résultats issus de nos observations ont relevé qu'à l'exception de l'efficience de prélèvement, la dose d'urée a exercé une influence très positive sur tous les paramètres d'efficience d'utilisation de l'azote (prélèvement d'azote, efficience physiologique, efficience de production) ainsi que sur le rendement en grains du maïs. En revanche, tous les paramètres d'efficience et le rendement en grains de maïs n'ont pas été influencés par la fréquence de sarclage. Cependant, sa combinaison avec la dose d'urée a seulement influencé l'efficience physiologique ; les autres paramètres restant similaires. En outre, l'utilisation de 200kg.ha⁻¹ d'urée et un seul sarclage tout le cycle, se sont révélés être les pratiques plus optimales, moins polluantes et rentables sur le maïs cultivé sur un terrain nouvellement ouvert et exploité. Des études similaires futures sur le même type de terrain, mais aussi sur des terrains anciennement exploités ou plus infestés par les adventices seraient très utiles pour parfaire les connaissances dans ce domaine utile pour une agriculture durable. En plus, les analyses de l'azote contenu dans la biomasse adventice permettront d'enrichir les connaissances sur les impacts positifs des adventices dans l'agrosystème et améliorer ainsi leur gestion.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ingénieur MUFIND KAYAKEZ pour les directives ainsi les ingénieurs MAYAMBA Reagan et KAKUDJI Pascal pour leurs assistances lors de la phase expérimentale.

REFERENCES

- Abras, M., Godden, B., Legrand, J. & Mahieu, A. S. O. (2020). *Agriculture Biologique*. 1–15.
Anonyme (2005). *Monographie de la province du Katanga*. Draft 4. Kinshasa : Ministère du plan. 147 p
Akassimadou, F.E., Hien, M.P., Bouadou, Oi F.B., Bolou, Bi E.B., Bongoua, J.A., Ettien, J.-B.D. & Yao-kouame A. (2017). Efficiencies Des Nutriments P Et K En Riziculture Irriguée Dans Un Bas-Fond Secondaire En Zone De Savane Guinéenne De La Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(36), 432. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n36p43> 2
Beman, J.M., Arrigo, K. & Matson, P.M. (2005). Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean.

- Nature, 434, 211-214.
<https://doi.org/10.1038/nature03370>
- Berners-Lee, M., Kennelly, C., Watson, R. & Hewitt, C. (2018). Current global food production is sufficient to meet human nutritional needs in 2050 provided there is radical societal adaptation. Elementa: Science of Anthropocene, 6, 52. <https://doi.org/10.1525/elementa.310>
- Camargue, J.A., Alonso, A. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. Environment International, 32, 831-849.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>
- Cannavo, P., Recous, S., Valé, M., Benbrahim, M., Bresch, S. & Guénon, R. (2021). Prediction de la minéralisation de l'azote organique des engrains en production hors-sol. 24-25.
- Celette, F. (2007). Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté dans une vigne enherbée sous le climat méditerranéen. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, 441p.
- Cordeau, S., Dessaint, F., Deneuil, C., Bonin, L., Vuillemin, F., Delattre, M., ... & Chauvel, B. (2016). La nuisibilité directe des adventices en grandes cultures : quelles réponses nous apportent les essais désherbages ? In 23. Conférence du COLUMA-Journées Internationales sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes (pp. 11-22). AFPP-Association Française de Protection des Plantes. David M., Loubet B., Cellier P., Mattson M., Schjoerring J.K., Nemitz E., Roche, R., Riedo, M., Sutton, M.A., 2009 Ammonia sources and sinks in an intensively managed grassland canopy. Biogeosciences, 6, 1903-1915.
- David, M., Loubet, B., Cellier, P., Mattson, M., Schjoerring, J.K., Nemitz, E., Roche, R., Riedo, M., Sutton, M.A. (2009). Ammonia sources and sinks in an intensively managed grassland canopy. Biogeosciences, 6, 1903-1915.
- Degla, P., Daanon, P., Onzo, A. & Tomavo, E. (2020). Analyse comparative des performances économiques des systèmes de production du maïs dans la commune de Banikoara au Nord-Bénin. Science de la vie, de la terre et agronomie, 08(1), 56-64.
- Detchinli, K. S., Sogbedji, M. J., Atchoglo, R. & Bona, K. A. (2017). Modélisation des doses économiques optimales de l'azote en culture du maïs (*Zea mays* L.) sur les sols ferrallitiques au Togo. Sciences de la vie, de la terre et agronomie, 5(1), 52-58.
- Dikumbwa, N., Alexandre-Pyre, S., Nawej, S. T., & Malaisse, F. (2020). Etude des températures des sols de trois écosystèmes naturels du Haut-Katanga. Geo-Eco-Trop, 44(2), 237-253.
- Dobermann, A.R. (2007). Nutrient use efficiency - measurement and management. Part 1: General principles of fertilizers best management practices. State of the Art. Agronomy – Faculty Publications, Singapore, 30 p.
- FAO et IFA (2003). Estimations des émissions gazeuses de NH₃, NO et N₂O par les terres agricoles à l'échelle du monde. Première version. FAO, Rome, 80 p.
- FAO. (2019). FAOSTAT - Annual Population [Online]. Disponible : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA> [consulté le 10 juin 2020].
- FAO. (2020). FAOSTAT data base, Consulté le 22/12/2020. FAO, Rome, Italy.
- FAO. (2022). FAOSTAT: Production: Crops and livestock products. In: FAO. Rome, Italy. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Good, A.G., Shrawat, A.K. & Muensch, D.G. (2004). Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? Trends Plant Science, 9, 597-605.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.10.008>
- Guiraud, G. & Fardeau, J.C. (1977). Dosage par la méthode kjeldahl des nitrates contenus dans les sols et les vegetaux. Annales Agronomiques, 28(3), 329-333
- Habbib, H. (2017). Impacts des systèmes de cultures sur l'efficience d'utilisation de l'azote chez le blé et le maïs : Influence du travail du sol, des couverts végétaux d'interculture et de l'historique de fertilisation azotée. Thèse de doctorat en Biologie végétale, Université de Picardie Jules Verne. France, 174p.
- Han, M., Okamoto, M., Beatty, P.H., Rothstein, S.J. & Good, A.G. (2015). The Genetics of Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. Annual Review of Genetics, 49, 269-289.
<https://doi.org/10.1146/annurev-genet-112414-055037>
- Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., Gallais, A. (2007). The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: Towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. Journal Experience Botanic, 58, 2369-2387.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erm097>
- Kikufi, B.A. & Lukoki, L.F. (2008). Aperçu de la végétation des sites miniers de Kolwezi au sud

- Katanga. *Revue Congolaise des Sciences Nucléaire*, 23(1), 21-32.
- Kitabala, M.A., Tshala, U.J., Kalenda, M.A., Tshijika, I.M & Mufind, K.M. (2016). Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences*, 102, 9669 – 9679. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v102i1.1>
- Kitabala, M.A., Kulianga, G.K., Muteba, N.M., Kalima, S., Tshisambwe, O.K.N., Ndolo, L.K., ... & Tshomba, J. (2019). Influence de l'effeuillage sur les performances technico-économiques de la morelle noire (*Solanum nigrum* L.) à Kolwezi en République Démocratique du Congo. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 2(3), 9-15. www.rafea-congo.com/admin/pdfFile/Article-RAFEA-Kitabala-2019ok.pdf
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Levy, L. & Schwaerzel, R. (2009). Fumure azotée et performances agronomiques de variétés de blé et de triticale. *Revue Suisse d'Agriculture*, 41(3), 161–165.
- Levy, L. & Brabant, C. (2016). L'art de fractionner l'azote pour optimiser le rendement et la teneur en protéines du blé. *Recherche Agronomique Suisse*, 7(2), 80–87.
- Macauley, H. (2015). *Cereal crops: rice, maize, millet, sorghum, wheat: background paper*. Conference on, "Feeding Africa" Dakar, Senegal, 21–23.
- Malaisse, F. (1974). Phenology of the Zambezian woodland area, with emphasis on the miombo ecosystem. In: H. Lieth (ed.), *Phenology and seasonality modelling*, New York (USA), Springer, *Ecological Studies*, 8, 269–286.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition in Higher Plants*. 2ed. London: Academic Press. 889p.
- Mathieu, D. (2014). *Mieux gérer l'azote pour réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole*. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, Paris, France. 5p
- Mathieu, D. & Christophe, B. (2016). *Recensement et analyse des outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée*. Rapport du ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, Paris, France. 81p
- Ministère de l'agriculture/RDC (Minagri) (2018). *Sécurité alimentaire, niveau de production agricole et Animale, Évaluation de la Campagne Agricole 2017-2018 et Bilan Alimentaire du Pays*. Rapport, 75 p
- Moll, R.H., Kamprath, E.J. & Jackson, W.A. (1982). Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, 74, 562-564. <https://doi.org/10.2134/agronj1982.00021962007400030037x>
- Mukalay, M.H.J. (2016). *Identification et classification des sols sous les nouvelles normes et étude de bio-identification et restauration des unités dégradées dans la zone agricole du Haut-Katanga/R.D. Congo*. Thèse de Doctorat en sciences agronomiques, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, 255p.
- Mulaji, K.C. (2010). *Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)*. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, université de Liège- Gembloux AgroBiotech, 220p.
- Noura, Z., Bernard, G. & Athyna, C. (2007). Utilisation des engrains minéraux azotés en grandes cultures : description des différentes formes et leurs impacts en agroenvironnement. *CRAAQ - QAQ*, 29 p
- Nyembo, K.L., Useni, S.Y., Mpundu, M.M., Bugeme, M.D., Kasongo, L.E. & Baboy, L.L. (2013). Effets des apports des doses variées de fertilisants inorganiques (NPKS et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique de nouvelles variétés de *Zea mays* L. à Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 59, 4286–4296. <https://www.m.elewa.org/JABS/2012/59/2.pdf>
- Pingali, P.L. (ed.) (2001). CIMMYT 1999–2000 World Maize Facts and Trends. Meeting World Maize Needs: Technological Opportunities and Priorities for the Public Sector. Mexico, D.F.: CIMMYT. 25pp
- Ramos, C. (1996). Effect of agricultural practices on the nitrogen losses to the environment. In *Fertilizers and Environment: Proceedings of the International Symposium "Fertilizers and Environment"*, held in Salamanca, Spain, 26 – 29, September 1994 (pp. 355-361). Springer Netherlands.
- Richner, W., Flisch, R., Sinaj, S. & Charles, R. (2010). Détermination des normes de fumure

- azotée pour les grandes cultures. *Recherche Agronomique Suisse*, 1, 410–415.
- Rutkowska, B., Szulc, W., Sosulski, T. & Stępień, W. (2014). Soil micronutrient availability to crops affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. *Plant, Soil and Environment*, 60(5), 198–203.
- Saba, F. (2023). *Etude des effets de l'utilisation combinée du biochar et de la fertilisation microdose sur les propriétés agro-pédologiques des zones ouest et centre-nord du Burkina Faso*. Thèse de doctorat. Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgique, 183p.
- SENASEM (2008). *Catalogue nationale des espèces et variétés de cultures vivrières*. SENASEM, MINAGRI, Kinshasa, RDC.
- Sutton, M.A., Oenema, O., Erisman, J.W., Leip, A., van Grinsven, H. & Winiwarter, W. (2011). Too much of a good thing. *Nature*, 472, 159-161.
- Tatiana, R.L. (2019). *Etude des bases génétiques de l'efficience de l'utilisation de l'azote du riz pluvial (*Oryza sativa L.*) à Madagascar*. Thèse de Doctorat: Université d'Antananarivo, Sciences et Technologies, 214p.
- Thibodeau, S. (2006). Fertilisation azotée dans le maïs-grain, Fascicule du Programme canadien d'atténuation des GES, 8p.
- Traoré, A., Bocoum, I. & Tamini, L. D. (2020). Services financiers : quelles perspectives pour le déploiement d'innovations agricoles en Afrique ? *Économie Rurale*, 371, 77–94.
<https://doi.org/10.4000/economierurale.7549>
- Tshiabukole, K.J.P. (2018). *Evaluation de la sensibilité aux stress hydriques du maïs (*zea mays L.*) cultivé dans la savane du Sud-Ouest de la RD Congo, Cas de Mvuazi*. Thèse de Doctorat en Sciences agronomiques, Université Pédagogique Nationale de Kinshasa, 162p.
- Useni, S.Y., Baboy, L.L., Nyembo, K.L. & Mpundu, M.M. (2012). Effets des apports combinés de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur le rendement de trois variétés de *Zea mays L.* cultivées dans la région de Lubumbashi. *Journal of Applied Biosciences* 54, 3935-3943.
<https://www.m.elewa.org/JABS/2012/54/10.pdf>
- Wu, L., Yuan, S., Huang, L., Sun, F., Zhu, G., Li, G., Fahad, S., Peng, S. & Wang, F. (2016). Physiological mechanisms underlying the high-grain yield and high-nitrogen use efficiency of elite rice varieties under a low rate of nitrogen application in China. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1024.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01024>