

# **Essai des doses croissantes de biodigestat liquide sur la croissance et le rendement de deux variétés de maïs (SAM4 VITA et ZM625) dans les conditions agroécologiques de Goma, Est de la RD Congo**

**BUSHASHIRE MAPENDO Thierry\***

**RIZINDE HAKIZIMANA Jean-Claude\*\***

**KABALA MUBOLO Joseph\*\*\***

**NDARUHUTSE MIZERERO Serge\*\*\*\***

## **Résumé**

Le maïs est l'une des céréales alimentaires les plus consommées en RD Congo. Néanmoins, les rendements restent faibles pour des raisons multiples dont la pauvreté des sols en milieu tropical. Dans l'optique de contribuer à des alternatives de fertilisation durable, un essai de valorisation du biodigestat liquide (déchet du processus de production de gaz par la biométhanisation), a été réalisé dans la ville de Goma. L'essai a été mené selon un dispositif en split plot combinant deux facteurs notamment les doses croissantes de biodigestat (1336L/ha, 2674L/ha et 4010 L/ha) et deux variétés (SAM4 VITA & ZM 625). Les quantités de 1336L/ha, 2674L/ha et 4010 L/ha correspondent aux taux de dilution respectifs de 5%, 9% et 13%. Les paramètres phénologiques, de croissance et de rendement ont été observés.

Les résultats ont fait remarquer que la variation des doses a fortement influencé la croissance et le rendement ( $p$ -value $<0,05$ ). Les analyses ont révélé que la dose 4010 L/ha, correspond aux meilleurs rendements pour les variétés, induisent une augmentation de rendement de 69% en comparaison au témoin. Les doses de -1336 L/ha et 2674 L/ha ont induits des augmentations de rendement respectif de 20,5% et 35%. La variété SAM 4VITA

---

\* *Assistant à l'Université de Goma – UNIGOM –, Domaine des Sciences Agronomiques et Environnement, Téléphone : +243 (0) 9 71 00 66 33, E-mail : bushashiremapendo@unigom.ac.cd , thierrybushashure@gmail.com.*

\*\* *Docteur en Mycologie et Enseignant à l'Université de Goma – UNIGOM –, Domaine des Sciences Agronomiques et Environnement ; Téléphone : +243 (0) 9 91 37 52 99, E-mail rizinde-claude@unigom.ac.cd.*

\*\*\* *Assistant à l'Université de Goma – UNIGOM –, Domaine des Sciences Agronomiques et Environnement, Téléphone : +243 (0) 9 91 63 71 16, E-mail : joekabala2015@gmail.com.*

\*\*\*\* *Assistant à l'Institut Supérieur des Techniques Médicales – ISTM – de Rutshuru Téléphone : +243(0) 9 90 02 50 31, E-mail : mizereros@gmail.com.*

s'est révélée supérieure dans tous les traitements des doses comparativement à la variété ZM 625. La tendance des résultats montre une corrélation modérée entre la variation des doses et la variation des rendements ( $R^2=0,6393$ ). Les études ultérieures pourraient inclure des doses de biodigestat plus élevées en vue d'en déduire celle de dose qui correspond au seuil de toxicité.

**Mots clés :** *Biodigestat, Maïs, Variété et Doses.*

### **Abstract**

Corn is one of the most widely consumed food grains in the Democratic Republic of Congo. However, yields remain low for a variety of reasons, including poor soil quality in tropical environments. With a view to contributing to sustainable fertilization alternatives, a trial to evaluate liquid biodigestate (a waste product from the gas production process through biomethanization) was conducted in the city of Goma. The trial was conducted using a split-plot design combining two factors, namely increasing doses of digestate (1,336 L/ha, 2,674 L/ha, and 4,010 L/ha) and two varieties (SAM4 VITA & ZM 625). The quantities of 1336 L/ha, 2674 L/ha, and 4010 L/ha correspond to dilution rates of 5%, 9%, and 13%, respectively. Phenological, growth, and yield parameters were observed.

The results showed that the variation in doses had a significant influence on growth and yield ( $p\text{-value}<0.05$ ). The analyses revealed that the 4010 L/ha dose corresponded to the best yields for the varieties, inducing a 69% increase in yield compared to the control. The doses of - 1336 L/ha and 2674 L/ha resulted in yield increases of 20.5% and 35%, respectively. The SAM 4VITA variety proved to be superior in all dose treatments compared to the ZM 625 variety.

The trend in the results shows a moderate correlation between dose variation and yield variation ( $R^2=0.6393$ ). Future studies could include higher doses of biodigestate in order to determine the dose corresponding to the toxicity threshold.

**Key words:** *Biodigestate, Maize, Variety and Dose.*

## I. Introduction

Le maïs (*Zea mays* L.) se distingue de toutes les cultures céréalières par sa grande consommation et la large extension de son aire de culture due à sa grande facilité d'adaptation. Elle est la céréale la plus cultivée dans le monde, avec une production représentant 41 % de la production mondiale de céréales devant légèrement celles du blé et du riz (Bamba *et al.*, 2021). Les céréales constituent l'aliment de base de nombreuses populations depuis des milliers d'années. Selon la FAO (2014), la production mondiale de céréales en 2014 était estimée à 2,480 milliards de tonnes.

L'urbanisation en Afrique est souvent associée d'un côté à un accroissement des besoins alimentaires dont la satisfaction devrait passer par l'intensification des activités agricoles et de l'autre côté, à l'augmentation de déchets dont la gestion n'a plus fait objet de planification (Chalot, 2004).

La culture de maïs étant très exigeante en azote et que dans les sols l'azote est très mobile, son efficacité fertilisante et ses pertes sont associées à la composition des engrais et à leur mode d'épandage (Nyembo *et al.*, 2013). Il apparaît donc aujourd'hui plus que jamais impératif d'intégrer l'utilisation efficace des fertilisants dans nos systèmes de production afin d'augmenter les rendements (Nyembo *et al.*, 2014). Malheureusement, depuis quelques décennies, l'agriculture africaine connaît une détérioration grave qui se manifeste par une baisse considérable des rendements de toutes les cultures dont l'une des causes serait l'épuisement des sols en éléments nutritifs (Sanginga et Woomer, 2009). En Afrique subsaharienne, l'engrais organique sous forme de fumier ne s'utilise que dans une infime proportion inférieure à 2 %, quel que soit le type d'exploitation (Nyembo *et al.*, 2013).

La dégradation des sols due à leur appauvrissement en matière organique, en azote et autres éléments minéraux, est connue de tous les spécialistes comme étant à la base de la baisse de productivité agricole en Afrique tropicale (Kasongo *et al.*, 2012). Cette dégradation serait un phénomène mondial affectant plus de deux milliards d'hectares des terres arables (El Hadraoui, 2013). Pour faire face au défi de la demande alimentaire croissante, la plupart des agriculteurs de zones tropicales font recours aux fertilisants chimiques qui, d'ailleurs restent très coûteux (Ayeni *et al.*, 2010, Useni *et al.*, 2013, Nyembo *et al.*, 2014). La matière organique joue un rôle important dans les propriétés physiques, chimiques et biologiques du

sol (Glaser *et al.*, 2002). La faible utilisation des engrais minéral ou organique par les agriculteurs de l'Afrique subsaharienne se justifie d'un côté par les prix exorbitants, les impacts sur l'environnement et la santé publique pour les engrais minéraux ; mais également la technicité qu'exige leur application et d'un autre côté les quantités requises et le coût lié au transport des engrais organiques (Comifer, 2011).

En République Démocratique du Congo (RDC), les rendements du maïs restent faibles et la moyenne nationale est de 0,8 à 1 t/ha (SENASA, 2009). Pourtant, la production agricole est dominée par une agriculture paysanne (Kasongo, 2008) et plusieurs facteurs sont au centre de ce faible rendement obtenu, notamment la pauvreté des sols, le manque des techniques et pratiques agricoles adéquates, la mauvaise politique agricole (Bangata *et al.*, 2013 ; Kasongo *et al.*, 2013 ; Banza *et al.*, 2019 ; Ilunga *et al.*, 2015 ; Mulimbi *et al.*, 2019).

Pour ces baisses, seules l'amélioration des techniques culturales, la fertilisation minérale par les engrais chimiques, la fertilisation organique par l'utilisation de compost, d'engrais vert et de légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique et la sélection de variétés plus productives ouvrent des perspectives en ce sens (Gala *et al.*, 2011 ; Kaho *et al.*, 2011 ; Nyembo *et al.*, 2012 ; Useni *et al.*, 2012 ; Kasongo *et al.*, 2013 ; FAO, 2005).

La forte explosion démographique à l'Est de la RDC, en général, et particulièrement au Nord-Kivu, laisse du jour au jour envahir les terres arables. La fertilité des sols tend à diminuer étant donné qu'il y a absence des jachères longues. La gestion des terres arables est mal entretenue. On assiste à des récoltes successives sans restituer la fertilité du sol, l'exploitation irrationnelle ne joue pas en faveur du point de vue socio-économique de la nature (Dupriez et De Leneer, 1987)

Vu donc le caractère stratégique qu'occupe la culture de maïs dans la vie socio-économique de l'ensemble de la population de la RDC, en général, et particulièrement celle du Nord-Kivu avec toutes ses exigences en ce qui concerne la fertilité du sol et l'adaptation des différentes variétés, il a été impérieux de déterminer les incidences de différentes doses d'un engrais organique (biodigestat) sur le comportement agronomique de deux variétés de maïs en ville de Goma à l'Est de la République Démocratique du Congo.

L'objectif global de la présente étude est d'évaluer les effets de doses croissantes (1336 L/ha, 2674 L/ha et 4010 L/ha) de biodigestat liquide sur la croissance et le rendement de deux variétés de maïs (SAM4 VITA et ZM625) dans les conditions agroécologiques de Goma. Spécifiquement, il s'agit de :

- Déterminer la dose du biodigestat liquide qui aura les meilleurs effets sur la croissance de deux variétés de maïs (SAM4 VITA et ZM625) à Goma ;
- Déterminer la dose du biodigestat liquide qui induit le meilleur rendement de deux variétés de maïs (SAM4 VITA et ZM625) à Goma ;

Pour atteindre ces objectifs, les questions suivantes ont constitué le socle même de notre étude :

- Quel est le comportement agronomique de deux variétés de maïs (ZM625 et SAM4 VITA) face aux doses croissantes de biodigestat (1336 L/ha, 2674 L/ha et 4010 L/ha) dans les conditions agroécologiques de Goma ?
- Quelle dose influencera positivement et significativement la croissance de ces deux variétés de maïs à Goma ?
- Quelle dose influencera significativement la production de ces deux variétés de maïs à Goma ?

Les hypothèses ont été proposées comme suit :

- Les doses croissantes du biodigestat liquide (1336L/ha, 2674L/ha et 4010 L/ha) auraient des effets positifs sur le comportement agronomique de deux variétés de maïs (SAM4 VITA et ZM625) à Goma ;
- La dose 3 (4010 L/ha) influencerait positivement la croissance de deux variétés de maïs (SAM4 VITA et ZM625) à Goma ;
- La dose 3 (4010 L/ha) influencerait significativement le rendement de deux variétés de maïs (SAM4 VITA et ZM625) à Goma.

L'intérêt de cette recherche se situe à trois niveaux :

- Sur le plan scientifique : il constitue une référence pour les chercheurs qui voudront traiter sur le biodigestat ;
- Sur le plan socio-économique : cette étude permettra aux agriculteurs d'accroître le rendement et ainsi les revenus ;

- Sur le plan personnel : les résultats de cette étude fournissent des informations sur la valorisation de l'engrais organique (biodigestat) et son utilisation pour une agriculture durable sur le maïs.

## **II. Milieu, Matériels et Méthodes**

### **➤ Milieu**

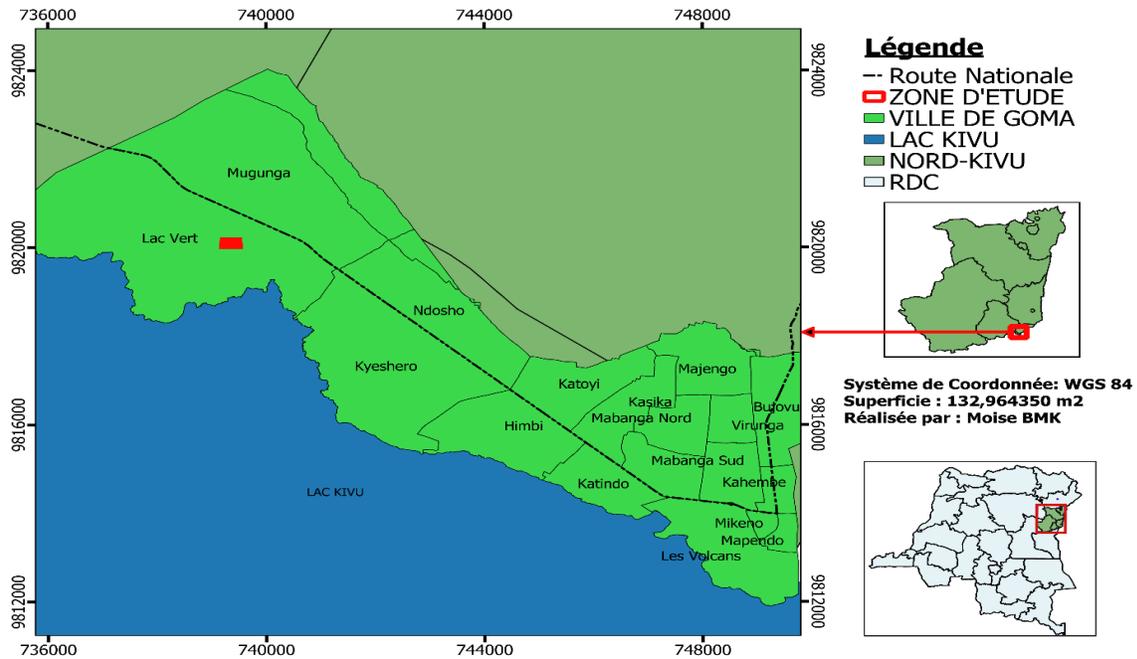
L'essai a été installé à l'Est de la République Démocratique du Congo, province du Nord-Kivu, à environ 1500 m d'altitude dans la ville de Goma, commune de Goma, au bord du Lac-Kivu, à Buhimba, dans le quartier Lac-Vert.

La ville de Goma est limitée :

- Au Nord par le territoire de Nyiragongo ;
- Au Sud par le lac Kivu la séparant de la province du Sud-Kivu ;
- À l'Est par la République du Rwanda ;
- À l'Ouest par le territoire de Masisi.

Les coordonnées géographiques de notre Champ expérimental sont les suivantes :

- ✓ Altitude : 1490m
- ✓ Latitude sud : 1° 37' 43,1"
- ✓ Longitude Est : 29° 8' 53,1"



*Figure 1. Localisation du milieu d'étude*

### ➤ *Matériels*

Pour notre expérimentation, nous avons utilisé les matériels suivants :

- *Le digestat liquide*

Le digestat est un résidu du procédé de la digestion anaérobie partiellement stable et riche en micro et macronutriments organiques bénéfiques pour les plantes (Alfa *et al.*, 2014 ; Ruiz *et al.*, 2018b). Il est une source riche d'azote (N), de phosphore (P), de potassium (K) et de soufre (S), de divers micronutriments et de matière organique, dont l'apport au sol peut contribuer à stimuler la biomasse microbienne et les activités métaboliques en améliorant le fonctionnement de l'écosystème du sol. Le biodigestat produit lors du procédé de méthanisation peut être séparé sous format d'un biodigestat solide et d'un biodigestat liquide. La fraction liquide se caractérise par une teneur en azote minéral plus importante que dans la phase solide et par la présence de fractions organiques plus labiles (jusqu'à 90% de minéralisation du carbone organique).

Le biodigestat résulte de la digestion de différents types de matières premières :

- Biodéchets (déchets alimentaires) ;
- Effluents d'élevage (fumier, lisier) ;

- Sous-produits des industries agroalimentaires ;
- Résidus de culture.

Actuellement, les biodigestats sont les engrais organiques les plus utilisés en Bavière, après le lisier de bovin (Riva *et al.*, 2018).

Le digestat est une bonne source d'azote facilement disponible, c'est-à-dire l'ammonium, qui est potentiellement disponible pour l'absorption immédiate des plantes. La plus grande partie de l'azote contenu dans le digestat est disponible pour la culture au cours de l'année d'application, car il est principalement présent sous forme d'ammonium (Yuxei *et al.*, 2019).

À dose équivalente d'azote, plusieurs auteurs ont obtenu des rendements similaires aux engrais minéraux. Ainsi, les digestats présentent-ils une forte capacité tampon et les valeurs de pH se situent dans la gamme de pH des digestats d'animaux (Tampio *et al.*, 2016).

- *Les semences de maïs*

**Tableau 1. Caractéristiques des variétés utilisées**

Espèce	Variétés	Caractéristiques morphologiques	Caractéristiques agronomiques
Maïs	ZM625	Hauteur : 190 à 205cm Pigmentation anthocyanique de : - Nœud : présente, - Graine : faible, - Anthères : présente, - Glumes : présente, soies abondantes, - Hauteur de l'insertion de l'épi : 92 à 109cm, - Couleur du grain : blanche, - Texture du grain : semi-dentée.	Durée de semis floraison : 57-67 jrs -Durée du semis-maturité : 120-135 jours - Poids de 1000grains : 360-410grs, -Résistance à l'averse : bonne -Résistance à la sécheresse : bonne -Résistance à la striure : bonne -Résistance à l'helminthosporiose- : bonne -Résistance à la cercosporiose : très bonne <b>Rendement</b> -Milieu contrôlé : 4.166 à 7000 kg/ha -Milieu réel : 3.703kg/ha
	SAM4 VITA	Hauteur : 160 à 185cm Pigmentation anthocyanique de : - Nœud : présente, - Graine : faible,	-Durée semis-floraison : 55-63jours -Durée du semis-maturité : 125-135jours

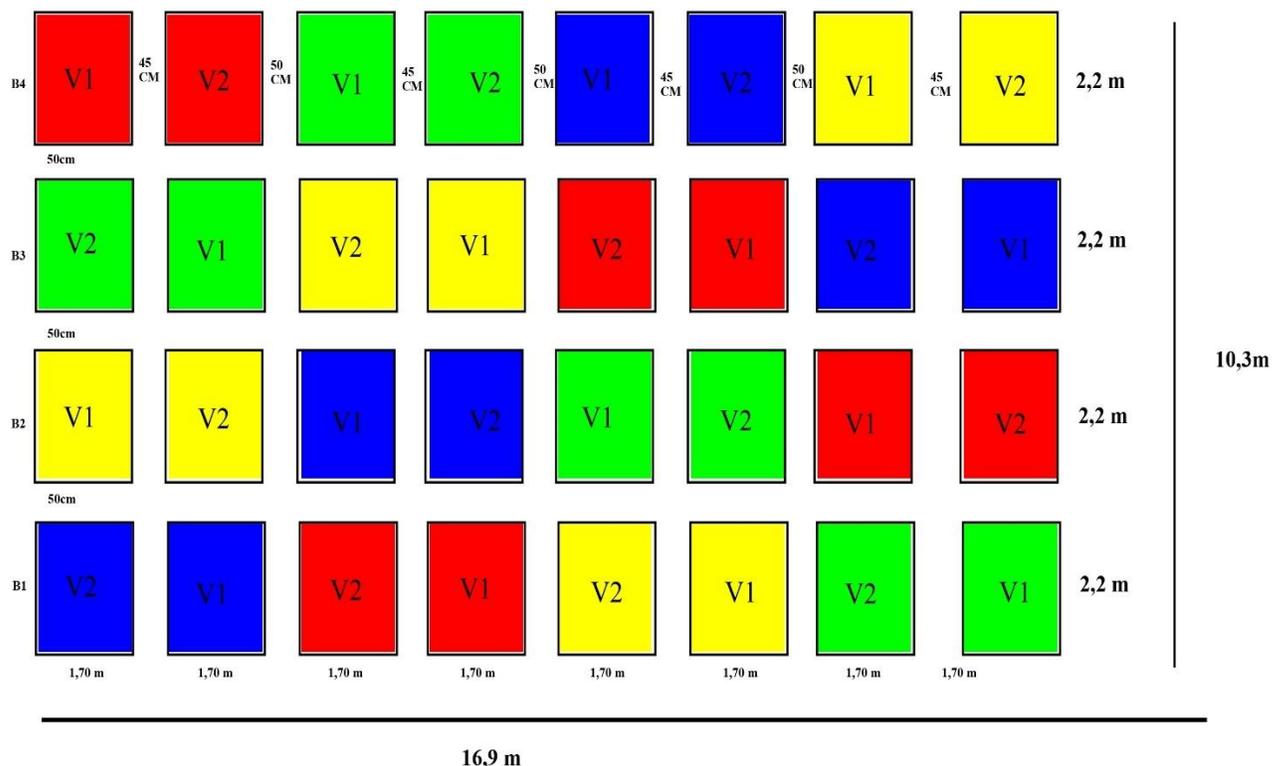
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anthères : faible,</li> <li>- Glumes : présente,</li> <li>- Soies abondantes,</li> <li>- Hauteur de l'insertion de l'épi : 80cm,</li> <li>- Couleur du grain : orange jaune,</li> <li>- Texture du grain : cornée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poids de 1000 graines : 335 grammes</li> <li>- Résistance à l'averse : bonne</li> <li>- Résistance à la sécheresse moyenne</li> <li>- Résistance à la striure : bonne</li> <li>- Résistance à l'helminthosporiose : bonne à très bonne</li> <li>- Résistance à la cercosporiose : bonne</li> <li>- Résistance aux autres maladies : bonne aux charbons.</li> </ul> <p><b>Rendement</b></p> <p>Milieu contrôlé : 3500 à 4000 kg/ha</p> <p>Milieu réel : 2500 à 3000kg/ha</p>
--	--	---	--

*Source : SENASEM (2019)*

- **Méthode**
- **Dispositif expérimental**

Le dispositif utilisé dans cette étude est celui en split plot avec les doses croissantes (1336 L/ha, 2674L/ha et 4010 L/ha) comme facteur principal et les variétés (SAM4 VITA et ZM625) comme facteur secondaire. Chaque traitement a été répété 4 fois. Donc au total on a eu 32 parcelles dont 16 parcelles pour la première variété (SAM4VITA) et 16 autres parcelles pour la deuxième variété (ZM625). Chaque petite parcelle avait les dimensions de 1,70m X 2,2m.

Le dispositif expérimental



LEGENDE

- jaune : T0
- vert : T1
- rouge : T2
- bleu : T3

T0 est le traitement témoin (sans application du biodigestat),

T1 : traitement avec le biodigestat à raison de 1336 L par hectare,

T2 : traitement avec le biodigestat à raison de 2674 L par hectare.

T3 : traitement avec le biodigestat à raison de 4010 L par hectare ;

• **Conduite de l'essai**

La préparation de terrain a consisté en un défrichage et en 2 labours. Elle a eu lieu le 15 août 2024, les travaux de la mise en place du dispositif expérimental et de piquetage de terrain ont eu lieu le 26 août 2024. Le dispositif comportait 16 parcelles dont chaque parcelle était subdivisée en deux pour en avoir 32 petites parcelles.

Le semis a été réalisé le 1<sup>er</sup> septembre 2024, aux écartements de 50cm X 50 cm en raison de 3grains par poquet. Les travaux d'entretien ont consisté au démariage, regarnissage des vides, sarclo-binage, buttage et au traitement phytosanitaire. Le premier sarclage combiné au buttage a été réalisé le 30 octobre 2024, le deuxième le 11/11/2014 et le troisième et dernier sarclage a été réalisé le 11/12/2024. La récolte a été effectuée manuellement, le 10 janvier, soit à environ 132 jours après semis.

- **Paramètres observés**

Ils ont été prélevés sur un échantillon de 9 plantes de la parcelle utile.

- *Les paramètres de croissance :*

✓ Le taux de levée, obtenu au comptage du nombre de grains germés quinze jours après semis par la formule suivante :  $Taux\ de\ levée = \frac{nbre\ de\ grains\ germés}{nbre\ de\ grains\ semés} \times 100$

✓ Le diamètre au collet : mesuré à l'aide d'un pied à coulisse ;

✓ La hauteur de la plante : mesurée à l'aide d'un mètre ruban ;

✓ Le nombre de feuilles par plant : obtenu par comptage manuel ;

- *Les paramètres de production*

✓ Le nombre d'épis par plant : obtenu par comptage manuel ;

✓ La longueur de l'épi, mesurée à l'aide d'un mètre ruban ;

✓ Le poids de 100 graines : pesé à l'aide d'une balance de précision, après récolte et après séchage des grains ;

✓ La production parcellaire obtenue a été déterminé après égrainage des épis ;

✓ Le rendement obtenu par extrapolation de la production parcellaire.

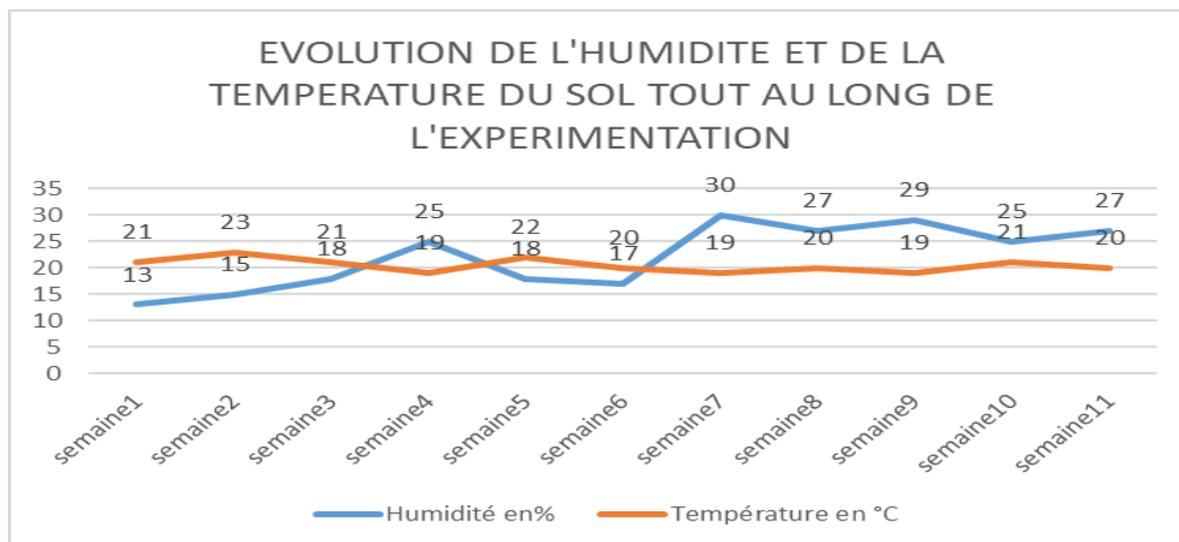
- **Analyse des données**

Les données collectées ont été enregistrées et traitées dans Ms. Excel 2016 pour les calculs des moyennes et écart-types, puis importées dans le logiciel GenStat Discovery, Edition 4.0 pour les analyses de la variance (ANOVA II). La comparaison des moyennes a été faite par le test de la PPDS au seuil de probabilité de 5%.

### III. Résultats

- *L'évolution de l'humidité et de la température au cours de l'essai expérimental*

Les résultats relatifs à l'évolution de l'humidité et de la température du sol obtenus à l'aide d'une sonde multiparamétrique sont présentés dans le tableau ci-après :



**Figure 2. Évolution de l'humidité et de la température du sol lors de notre expérimentation**

La lecture de la figure nous renseigne que l'humidité du sol a été basse au début de l'expérimentation avec une moyenne de 13% à la première semaine. Elle a été maximale avec une valeur de 30% à la septième semaine et évoluait tout au long de l'expérimentation avec des moyennes comprises entre 13 et 30%. La température du sol a été presque constante avec des moyennes comprises entre 19 et 23°C. tout au long de l'expérimentation. Il est observé que le sol est humide d'après les indications de (Rababe, 2024).

- *Paramètres de croissance*

- *Taux de levée*

Les résultats relatifs au taux de levée sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 2 : Taux de levée**

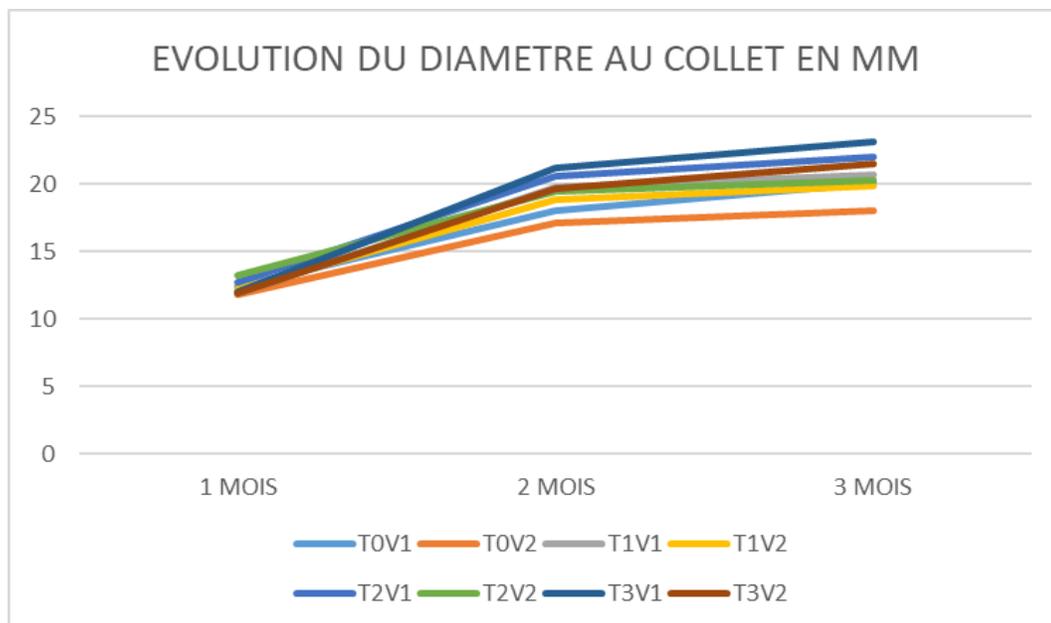
TRAITEMENTS	VARIETES	( $\bar{y} \pm \delta$ )
T0	V1	100 <sup>a</sup> ± 0
	V2	90 <sup>b</sup> ± 10,80
T1	V1	100 <sup>a</sup> ± 0
	V2	90 <sup>b</sup> ± 6,29
T2	V1	100 <sup>a</sup> ± 0
	V2	86,25 <sup>b</sup> ± 4,78
T3	V1	100 <sup>a</sup> ± 0
	V2	85 <sup>b</sup> ± 4,08
MG		93,91
CV		5,1
P-value		< 0,001
PPDS		7,926
DECISION		HS

*Les moyennes affectées d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de probabilité de 5%.*

L'analyse de la variance des données relatives au taux de levée montre qu'il existe des différences hautement significatives entre les moyennes de variétés au seuil de probabilité de 5% avec V1 qui a permis d'obtenir une moyenne de 100% au niveau de tous les traitements formant ainsi la classe a et V2 des moyennes comprises entre 85 et 90% en formant alors la classe b. Le CV étant de 5,1%, il y avait donc homogénéité des données.

- **Diamètre au collet en mm**

Les résultats relatifs à l'évolution du diamètre au collet sont présentés dans la figure ci-après :

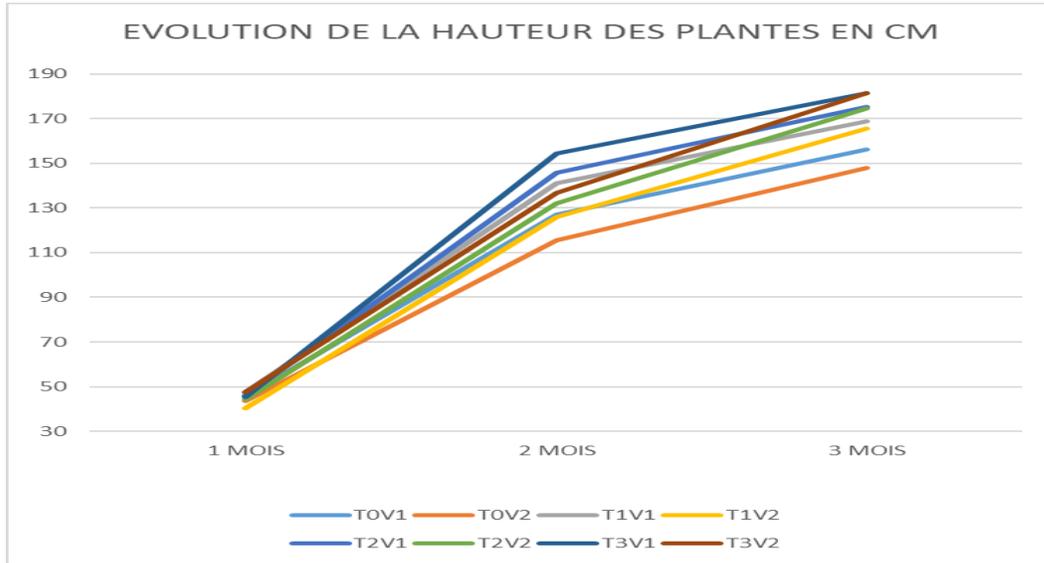


**Figure 3. Évolution du diamètre au collet**

La figure ci-haut montre l'évolution du diamètre au collet au cours de l'essai, il en résulte que ce paramètre végétatif évolue positivement avec tous les traitements par des moyennes de 12mm à 1 mois pour atteindre le maximum d'environ 23 mm de diamètre au collet à 3 mois au niveau de T3V.

- **Hauteur de la plante en centimètre**

Les résultats relatifs à l'évolution de la hauteur de la plante sont présentés dans la figure ci-après :



Il ressort de la lecture de la figure ci-haut que la hauteur de la plante a évolué positivement du début jusqu'à la fin du cycle végétatif. Elle commence à environ 45cm au premier mois pour donner des plantes d'une hauteur d'environ 180cm à 3 mois au niveau de T3V1 et de T3V2.

- *Nombre des feuilles*

Le tableau ci-dessous présente les résultats relatifs aux effets combinés de traitements et de variétés sur le nombre des feuilles par plante.

**Tableau 3. Effets combinés des traitements et des variétés sur le nombre des feuilles**

Traitements	Variétés	1 Mois( $\bar{y} \pm \delta$ )	2 Mois( $\bar{y} \pm \delta$ )	3 Mois( $\bar{y} \pm \delta$ )
T0	V1	6,1 ± 0,50	9,7 ± 0,39	11,6 <sup>b</sup> ± 0,86
	V2	6,0 ± 0,50	10,2 ± 0,79	10,5 <sup>c</sup> ± 0,89
T1	V1	6,5 ± 2,94	10,4 ± 4,71	11,5 <sup>b</sup> ± 5,15
	V2	6,6 ± 0,19	11,0 ± 0,26	11,5 <sup>b</sup> ± 0,91
T2	V1	6,8 ± 0,41	10,8 ± 1,43	12,8 <sup>a</sup> ± 0,64
	V2	6,3 ± 0,69	10,5 ± 0,55	11,2 <sup>bc</sup> ± 0,12
T3	V1	6,0 ± 0,84	10,5 ± 1,41	11,9 <sup>ab</sup> ± 0,61
	V2	6,1 ± 0,50	10,4 ± 0,46	11,5 <sup>b</sup> ± 0,29
MG		6,3	10,4	11,6
CV		9,2	8,7	5,8
P-value		0,502	0,663	0,013
PPDS		-	-	0,99
Décision		NS	NS	S

*Au sein d'une colonne les moyennes affectées d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de probabilité de 5%.*

Il résulte de l'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5% qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes au premier et deuxième mois de l'expérimentation. Cependant, des différences significatives s'observent au 3ème mois avec la combinaison T2V1 qui donne la meilleure moyenne (12,8 feuilles par plant) que les autres traitements. Le CV étant inférieur à 15% à tous les mois, il y avait donc homogénéité des données.

- *Paramètres de croissance*

Le tableau ci-dessous présente les résultats relatifs aux effets combinés des traitements et des variétés sur les composantes de la production

**Tableau 4. Effets combinés des traitements et variétés sur les paramètres de production**

Traitements	Variétés	Nombre d'épis par plant( $\bar{y} \pm \delta$ )	Longueur de l'épi( $\bar{y} \pm \delta$ ) (cm)	Nombre des lignes par épi ( $\bar{y} \pm \delta$ )
T0	V1	1±0	15.91d ±0.68	13.33cd±0.64
	V2	1±0	15.45d±0.72	12.75d±0.67
T1	V1	1±0	17.08c±0.70	14.25bc±0.80
	V2	1±0	16.33cd±0.49	13.58b±0.74
T2	V1	1±0	18.54b±1.03	13.96bc±0.31
	V2	1±0	17.16c±0.56	14.46ab±1.10
T3	V1	1±0	20.89a±1.42	15.34a±0.83
	V2	1±0	19.37b±0.28	14.58ab±0.88
MG		1	17.59	14.03
CV		0	4,2	5,2
P-value		-	<0,001	0,002
PPDS		-	1,088	1,079
Décision		NS	HS	HS

*Au sein d'une colonne les moyennes affectées d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de probabilité de 5%.*

Les résultats repris dans le tableau ci-haut montrent qu'il n'existe aucune différence significative entre les moyennes en ce qui concerne le nombre d'épis par plant. Il ressort que la moyenne générale est d'un épi par plant. Néanmoins, l'analyse de la variance, au seuil de probabilité de 5%, fait ressortir des différences hautement significatives entre les moyennes sur la longueur de l'épi et le nombre de lignes par épi, avec T3V1 qui a les moyennes les plus élevées, respectivement de 20,89cm et 15,34 lignes. En deuxième position, on retrouve T3V2 avec 19,37cm de longueur et 14,48 lignes et en troisième position 18,54cm de longueur et 13,96 lignes au niveau de T2V1. On retrouve au bas de l'échelle T0V2 avec 15,45cm de longueur et 12,75 lignes. Ce qui démontre l'impact positif des traitements sur ces 2 paramètres de production.

*Tableau 5. Effets combinés des traitements-variétés sur le poids de 100 grains, production parcellaire et le rendement.*

Traitements	Variétés	Poids de 100 Grains (en g) ( $\bar{y} \pm \delta$ )	Production parcellaire (en Kg) ( $\bar{y} \pm \delta$ )	Rendement (tonnes/Ha) ( $\bar{y} \pm \delta$ )
T0	V1	30 <sup>c</sup> ±1.41	0.87 <sup>b</sup> ±0.21	2,34 <sup>b</sup> ±1.29
	V2	31. 2 <sup>bc</sup> ±1.71	0.75 <sup>b</sup> ±0.19	2,05 <sup>b</sup> ±1.20
T1	V1	31.2 <sup>bc</sup> ±2.06	1.02 <sup>ab</sup> ±0.44	2,74 <sup>b</sup> ±2.77
	V2	34.50 <sup>ab</sup> ±3.42	0.95 <sup>b</sup> ±0.24	2,540 <sup>b</sup> ±1.49
T2	V1	34 <sup>ab</sup> ±1.41	1.27 <sup>ab</sup> ±0.21	3,41 <sup>ab</sup> ±1.29
	V2	35.5 <sup>ab</sup> ±2.38	0.95 <sup>b</sup> ±0.41	2,54 <sup>b</sup> ±2.58
T3	V1	33.5 <sup>b</sup> ±2.08	1.45 <sup>a</sup> ±0.13	3,87 <sup>a</sup> ±0.81
	V2	36.7 <sup>a</sup> ±2.06	1.32 <sup>ab</sup> ±0.21	3,54 <sup>ab</sup> ±1.29
MG		33.34	1.075	6.72
CV		5,7	26,1	26,1
P-value		<0,001	0,021	0,021
PPDS		2,791	0,4419	1,1013
Décision		HS	S	S

*Au sein d'une colonne les moyennes affectées d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de probabilité de 5%.*

L'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5% montre qu'il existe une différence hautement significative entre les moyennes sur le poids de 100 grains avec T3V2 qui a donné la meilleure moyenne (36,75g) de la classe a. Quant à la production parcellaire ainsi que le rendement, T3V1 s'en sort avec les meilleures performances et présente respectivement 1,45Kg et 3,877t/ha pour la production et le rendement. T3V2 arrive en seconde position avec respectivement 1,32Kg et 3,54t/ha. Après c'est T2V1 qui a suivi avec les moyennes respectives de 1,275Kg et 3,409t/ha. La dernière position est occupée par T0V1 respectivement avec 0,75Kg et 2,05t/ha.

### III. Discussion

De façon générale, les différents traitements ont eu des effets significatifs sur les paramètres de croissances et de rendement de deux variétés de maïs. Pour le paramètre hauteur et diamètre au collet des plants les traitements ont induit des différences hautement significatives entre les moyennes à partir du deuxième mois après semis.

La dose de 3 litres de biodigestat dans 20 litres d'eau, appliquée chaque 2 semaines, a permis d'obtenir des moyennes plus élevées de l'ordre de 23,1 mm pour le diamètre au collet et de 181,4 cm pour la hauteur des plants à la première variété (SAM4 VIA). Ces résultats sont similaires à ceux de Leszek *et al.* (2024) qui ont montré que les doses élevées du biodigestat ont permis d'avoir des plants de maïs avec des hauteurs élevées de 220 cm et des grandes biomasses.

La grande taille des plantes et le plus grand diamètre au collet observés sur les parcelles fertilisées aux fortes doses du biodigestat seraient plus liés à la quantité d'azote apportée. En effet, l'azote est l'élément le plus important pour la vie des plantes. Extrait de l'air par les plantes fixatrices ou du sol, il est le moteur du cycle végétatif et sert à construire toutes les parties aériennes qui assurent la croissance et la vie des plantes (FAO, 2005). Ces résultats confirment ainsi notre première hypothèse.

En effet, dans les mêmes conditions édaphoclimatiques différentes variétés ne se développent pas toujours de la même façon. Ces résultats sont similaires à ceux de Nyembo *et al.* (2012) qui ont montré que la variété de maïs PAN 53 a répondu favorablement aux doses élevées d'engrais azotés que la variété UNILU en termes des hauteurs de 234,4 cm pour D3V2 et 208,4 cm pour D4V1.

Le rendement a été différemment influencé par les doses du biodigestat et les types des variétés. En effet, T3V1 a donné 20,89 cm de longueur de l'épi et 15,34 lignes par épi. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par Jackson (2022), qui a trouvé dans son étude des résultats de 14 cm et 13,5 lignes par épi. Il en résulte donc que les éléments majeurs combinés ensemble sont nécessaires pour le bon développement des fruits. En effet, dans la plante, la nutrition potassique exerce une influence marquée sur la formation de l'épi en ce sens que lorsque la déficience potassique est accentuée, le pourcentage de rafle par rapport à

l'épi augmente d'une manière significative. Les épis sont mal formés, souvent inachevés à la pointe (André, 2009). Donc cela pourrait être la raison qui traduit les différences qui existent entre les traitements qui ont subi une influence du potassium à forte dose par rapport au témoin. Ces paramètres ont donné des moyennes différentes en fonction des variétés avec V1 qui a été meilleur que V2. Ceci se justifie toujours par l'adaptation de la variété 1 SAM4VITA plus que l'adaptation 2 ZM625 dans les conditions du milieu d'étude. Le rendement a été de 3,877 t/ha au niveau de T3V1, la combinaison qui a été très performante que toutes les autres. Ce rendement est très inférieur à celui obtenu par Agrinova (2013) qui a trouvé un rendement en maïs grain de 10,3 à 11,43t /ha en utilisant respectivement le biodigestat à raison de 93 et 150 kg d'azote total/ha. Cette différence s'expliquerait par le fait que le rendement d'une culture est directement lié aux caractéristiques génétiques et également des conditions écoclimatiques du milieu d'étude et la dose de l'engrais. C'est ce qui peut expliquer les écarts observés dans nos résultats et ceux trouvés par Agrinova (2013). Cependant, nos résultats sont semblables et bien meilleurs que ceux de Tshibingu (2017) qui a obtenu des rendements variants entre 2 à 3t/ha de maïs grain sous différents types de fertilisants organiques qui sont principalement les feuilles de *Tithonia diversifolia* et *Entada abyssinica*. Il est à remarquer que le biodigestat est un engrais très riche en azote assimilable et facilite fortement la croissance et la production des cultures. Ce qui confirment toutes nos hypothèses.

Au cours de cette étude, les parcelles non fertilisées ont donné des résultats faibles de l'ordre de 2,05t /ha au niveau de T0V2, ce qui confirme les résultats de Pypers *et al.* (2010) qui ont trouvé que les engrais ont augmenté de 40 à 100%, le rendement des cultures dans le Sud-Kivu. Nos résultats sont conformes à ceux de ces derniers, car le biodigestat a permis d'améliorer le rendement de 2,05t/ha au niveau de T0V2 à 3,87t/ha au niveau de T3V1 soit une augmentation de 88,7%.

## Conclusion et Recommandations

L'objectif global de la présente étude était d'évaluer les effets des doses croissantes (1336L/ha, 2674L/ha et 4010 L/ha) de biodigestat liquide sur la croissance et le rendement de deux variétés de maïs (SAM4 VITA et ZM625) dans les conditions agroécologiques de Goma. Un essai expérimental a été conduit en Split plot afin de vérifier les hypothèses proposées. Les résultats obtenus de l'expérimentation ont montré que la dose la plus élevée, soit 4010L/ha du biodigestat liquide, a fortement influencé tous les paramètres étudiés sur la première variété (SAM4 VITA). Cette dose a permis d'obtenir les meilleures performances aussi bien sur les paramètres de croissance (23,1mm pour le diamètre au collet et de 181,4cm pour la hauteur) que sur le rendement (3,877t/ha) contre le plus petit rendement moyen de 2,05t/ha au niveau des parcelles non fertilisées avec la variété 2 (ZM625). Il en est résulté une amélioration du rendement de l'ordre de 88,7%.

Ainsi, recommandons-nous aux agriculteurs du maïs de valoriser le biodigestat liquide sur la variété SAM4 VITA afin d'accroître leurs rendements et ainsi leurs revenus. Aux autres chercheurs de mener des recherches supplémentaires sur d'autres cultures avec d'autres doses pour une agriculture durable afin de lutter contre l'insécurité alimentaire qui secoue les populations dans toute la région de l'Est de la RDC.

## Références bibliographiques

- Agrinova (2013). *Valeur fertilisante des digesats de méthanisation*, 23p.
- Alfa, M.I., Adie, D.B., Igboro, S.B., Oranusi, U.S., Dahunsi, S.O. et Akali, D.M., (2014). Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. *Renew Energy* 63, 681–686. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.049>.
- André, G. (2009). *La Botanique appliquée à l'horticulture*, 4 e édition, Paris, G.B. BAILLIERE, 221p.
- Bamba S., Coulibaly A., Daouda S., Nyamien B. Y. et Biego G. H. M., (2021). Assessment of the risk of exposure to aflatoxins found in maize (*Zea mays* L.) produced in Côte d'Ivoire in Ivorian adults. *Asian Food Science Journal*, 20 (7) : 72-81.
- Bangata, B., Ngbolua, K., Mawa, M., Minengu, M. et Mobambo, K., (2013). Etude comparative de la nodulation et du rendement de quelques variétés d'arachide

(*Arachis hypogaea* L., Fabaceae) cultivées en conditions éco-climatiques de Kinshasa, République Démocratique du Congo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(3), 1034-1040.

<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i3.11>.

- Banza, M. J., Mwamba, K. F., Esoma, E. B., Meta, T. M., Mayamba, M. G. et Kasongo, L. M. E. (2019). Evaluation de la réponse du maïs (*Zea mays* L.) installé entre les haies de *Tithonia diversifolia* à Lubumbashi, R.D. Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 134(1), 13644-13651. <https://doi.org/10.4314/jab.v134i1.3>.
- Chalot F., (2004). De l'amont vers l'aval : l'émergence d'une filière de gestion des déchets adaptée aux villes africaines. Synthèse et analyse des actions relatives aux déchets. In *Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain*. Mars 2004, 45-69.
- Comifer (2011). *Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Cultures annuelles et prairies*. Comifer. 91 p.
- FAO, (2005). Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols. Manuel de formation, Projet intrants, Niger, 24p.
- FAO, (2014). Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales. <http://www.fao.org/worldFoodSituation/csd/fr/> Consulté le 10/11/2024 à 21h44'.
- Gala T.J., Camara M., Yao-Kouame A. et Keli Z.J., (2011). Gala Bi Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau : Cas de la zone de Gagnoa dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.* 46 : 3153-3162.
- Glaser, Lehmann, Zech. (2002). *Ameliorating geophysical and chemical properties of highly Weathered soils in the tropic with charcoal are view. Biology and Fertility of soils*, 35: 219 -230.
- Ilunga, T. H., Muganguz, N. T., Kidinda, K. L., Banza, M. J., Nsenga, N. S., Mpoyo, M. G., Tshipama, T. D., Lukusa, M. L., et Nyembo, K. L. (2015). Evaluation of Maize Réponse (*Zea mays* L.) to Various Modes and Moments of Chicken Manure Spreading in Lubumbashi, DR Congo. *American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology*, 5(3), 96–105. <https://doi.org/10.3923/ajpnft.2015.96.105>.

- Jackenson M., (2022). *Effets de deux types de fertilisants chimique et organique sur le rendement de la variété du maïs « HUGO PLUS » dans la localité de la cange à Hinche Haïti.*
- Kaho F., Yemefack M., Feujio-Tegwefouet P et Tchanthaouang Jc, (2011). *Effet combiné de feuilles de Tithonia diversifolia et des engrais inorganiques sur le rendement du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au centre du Cameroun.* Tropicultura, 29(1): 39-45.
- Kasongo Rk, Van Ranst E, Kanyankogote P, Verdoodt A, Baert G. (2012). Réponse du soja (*Glycine max*) à l'application de phosphate de Kanzi et de dolomie rose de Kimpese sur sol sableux en RD Congo. *Can. J. Soil Sci.*, 92 : 905-916. DOI :10.4141/CJSS2011-097.
- Leszek K., Agnieszka L., Piotr K., Josef S., Malgorzata F., et Hubert P., (2024). The reaction of maize and sorghum to fertilization, which Granulated Fertilizer obtained from Digestate, *Pol.J. Environ. Stud.* Vol.33, N°2, 1215-1233.
- Nyembo *et al.* (2013). *Rentabilité économique du fractionnement des engrais azotés en culture de maïs (Zea mays L.) : cas de la ville de Lubumbashi, sud-est de la RD Congo* 4945.
- Nyembo K.L., Useni S.Y., Chinawej M. M. D, Kyabuntui.D, Kaboza Y., Mpundu M.M, Baboy L.L., (2014). Amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol sous l'apport combiné des biodéchets et des engrais minéraux et influence sur le comportement du maïs (*Zea mays L.* variété UNILU). *Journal of Applied Biosciences* 74 :6121– 6130.
- Nyembo K. I, Useni Sy, Mpundu Mm, Bugeme Md, Kasongo Le, Baboy Ll, (2012). 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.
- Pypers, P, Vandamme, E, Sanginga, Jm, Tshibinda, T, Walangululu, Mj, Merckx R, Vanlauwe B, (2010). K and Mg deficiencies corroborate farmer's knowledge of soil fertility in the Highland of South-Kivu, Democratic Republic of Congo. In E.M.

Bagura (Ed) : évaluation de l'efficacité d'usage des engrais dans les sols dégradés du Sud-Kivu sur la culture du maïs et du haricot commun : cas du groupement de burhale". Mémoire de fin d'études, Université Evangélique en Afrique, Bukavu, RD Congo 59p.

- Ruiz, D., San Miguel, G., Corona, B., Gaitero, A., Domínguez, A., (2018). Environmental and economic analysis of power generation in a thermophilic biogas plant. *Sci. Total Environ.* 633, 1418–1428. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.169>.
- SENASEM, (2009). Politique nationale de développement du sous-secteur de semences". Appui du projet ASS/MINAGRI, Kinshasa RDC, p 56.
- SENASEM, (2019). Catalogue National Variétal des Cultures Vivrières ; Répertoire des variétés homologuées des cultures des céréales, éd. 2019, 73p.
- Tampio E., Salo T. et Rintala J., (2016). Agronomic characteristics of five different urban waste digestates. *Journal of Environmental Management*, 169, 293-302.
- Tshibingu Et Al., (2017), Évaluation de la productivité du maïs (*Zea mays L.*) sous amendements organique et minéral dans la province de Lomami, République Démocratique du Congo. *Journal of Applied Biosciences* 109: 10571-10579 ISSN 1997-5902.
- Useni S.Y., Chukiyabo K.M., Tshomba K.J., Muyambo M.E., Kapalanga K.P., Ntumba N.F., Kasangij K.P., Kyungu K.A., Baboy L.L., Nyembo K.L. & Mpundu M.M., (2013). Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays L.*) sur un ferralsol du sud-est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences* 66 : 5070 – 508.