

Effet comparé de quatre modes de désherbage sur la croissance végétative du maïs grain (*Zea mays* L. var. ZM 625) dans les conditions agroécologiques de Beni en République Démocratique du Congo (RDC)

Norbert Kambale Ndavaro^{1,2*}

⁽¹⁾Université Catholique du Graben (UCG). Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Phytotechnie. BP 29 Butembo (RDC). E-mail : abbenorbertmarie@gmail.com

⁽²⁾Université de Parakou (UP). Ecole Doctorale « Sciences Agronomiques et de l'Eau » (EDSAE). Laboratoire d'Ecologie, de Botanique et de Biologie végétale (LEB). B.P. 123 Parakou (Bénin).

Reçu le 26 juin 2020, accepté le 03 juillet 2020, publié en ligne le 12 septembre 2020

RESUME

Description du sujet. Dans les agrosystèmes de la RDC, les adventices causent le ralentissement et l'arrêt de croissance des plants de maïs (*Zea mays* L.) entraînant ainsi une baisse de production. C'est ainsi qu'une étude a été réalisée du 2 août 2019 au 31 janvier 2020 à Beni dans la province du Nord-Kivu en RDC sur quatre modes de désherbage.

Objectif. L'objectif de cette étude est de comparer les quatre modes de désherbage (désherbage mécanique manuel à la houe, désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo, désherbage par paillage avec la paille de riz et désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque) en vue de mettre en évidence celui (ou ceux) pouvant améliorer la croissance végétative du maïs (*Z. mays* L. var. ZM 625) dans la région de Beni en RDC.

Méthodes. Les essais ont été conduits suivant un dispositif à quatre blocs randomisés, répartis sur deux sites : Bingo et Lume. Chaque bloc comportait quatre parcelles correspondant aux traitements testés : le désherbage mécanique manuel à la houe (T0 : DMMH), le désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo (T1 : DHxo), le désherbage par paillage avec la paille de riz (T2 : DPPR) et le désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque (T3 : DPFpbdno). L'effet des traitements sur la croissance végétative du maïs a été évalué par l'estimation de la hauteur moyenne des plants et de la hauteur moyenne du point d'insertion de l'épi sur la tige.

Résultats. L'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5 % n'a pas montré de différences significatives entre les traitements dans chacun de deux sites ($P > 0,05$). Toutefois, une différence significative s'est révélée entre les sites ($P < 0,05$) : le site Lume a donné des valeurs moyennes de hauteurs des plants et du point d'insertion de l'épi sur la tige les plus élevées (241,1 cm et 199,3 cm respectivement) que celles du site Bingo (110,6 cm et 98,1 cm respectivement) pour tous les traitements testés.

Conclusion. Des études d'évaluation de l'effet des traitements testés sur le rendement et la rentabilité économique de la culture du maïs grain sont donc nécessaires.

Mots-clés : *Zea mays*, adventices, paillage, herbicide, croissance végétative, Beni

ABSTRACT

Comparative effect of four modes of weeding on the vegetative growth of grain corn (*Zea mays* L. var. ZM 625) under the agroecological conditions of Beni in the Democratic Republic of Congo (DRC)

Description of the subject. In the DRC agrosystems, weeds cause the maize (*Zea mays* L.) plants to slow down and stop growing, thus reducing production. Thus, a study was carried out from August 2, 2019 to January 31, 2020 in Beni in the province of North Kivu in the DRC on four modes of weeding.

Objectives. The objective of this study is to compare the four modes of weeding (manual mechanical weeding with a hoe, weeding by using of the herbicide Auxo, weeding by mulching with rice straw and weeding by mulching with opaque black low density polyethylene film) in order to highlight that (or those) which can improve the vegetative growth of corn (*Z. mays* L. var. ZM 625) in the region of Beni in DRC.

Methods. The trials were conducted using a randomized four-block system, distributed over two sites: Bingo and Lume. Each block included four plots corresponding to the treatments tested: manual mechanical weeding with a hoe (T0: DMMH), weeding by using the herbicide Auxo (T1: DHxo), weeding by mulching with rice straw (T2: DPPR) and weeding by mulching with opaque black low density polyethylene film (T3: DPFpbdno). The effect

of the treatments on the vegetative growth of corn was evaluated by estimating the average height of the plants and the average height of the point of insertion of the ear on the stem.

Results. The analysis of variance at the 5% probability threshold did not show any significant differences between the treatments in each of two sites ($PV > 0,05$). However, a significant difference was revealed between the sites ($PV > 0,05$): the Lume site gave higher values of plant height and point of insertion of the ear on the stem (241.1 cm and 199.3 cm respectively) than those of the Bingo site (110.6 cm and 98.1 cm respectively) for all the treatments tested.

Conclusion. Studies to assess the effect of tested treatments on the yield and economic profitability of growing grain corn are therefore necessary.

Keywords: *Zea mays*, weeds, mulching, herbicide, vegetative growth, Beni

1. INTRODUCTION

Dans les agrosystèmes de la RD Congo, la nuisance des adventices est l'une des contraintes majeures auxquelles font face les producteurs du maïs (Nyembo Kimuni *et al.*, 2012). Faisant partie des bioagresseurs les plus nuisibles du maïs grain (Oerke, 2006 ; Cordeau et Adeux, 2018 ; Cordeau et Schwartz, 2019), les adventices ont des impacts néfastes sur toutes les phases phénologiques de cette plante. Elles causent le ralentissement voire même l'arrêt de croissance et de développement des plants de maïs (Bouhache *et al.*, 2014 ; Soltani *et al.*, 2016 ; Colbach *et al.*, 2017) suite aux phénomènes biologiques de compétition (nutritionnelle et spatiale) et d'allélopathie (Cordeau *et al.*, 2016 ; Ben-Ghabrit *et al.*, 2017 ; Gfeller et Wirth, 2017 ; Villette, 2017) dont les répercussions négatives s'observent sur le rendement en grains et la rentabilité économique de cette spéculacion (Lemieux *et al.*, 2003 ; Bouhache *et al.*, 2014 ; Alletru et Labreuche, 2019).

Dans la région de Beni en République Démocratique du Congo où la variété de maïs grain (*Z. mays* L. var. ZM 625) est en culture depuis 2015, le réenherbement rapide des champs ne cesse d'entraver la croissance et le développement des plants. Selon les estimations de SENASEM-RDC/NORD-KIVU (2016), ce cultivar de maïs grain (*Z. mays* L. ZM 625) s'est montré très sensible à la compétition des adventices si bien qu'il peut supporter trois à cinq poussées de mauvaises herbes durant le même cycle cultural. Cela est d'autant plus évident que les conditions écologiques de la région de Beni caractérisées par une température élevée et une pluviosité abondante (ENRA-BENI, 2018 ; Bweya *et al.*, 2019) favorisent la germination rapide des stocks semenciers des adventices contenus dans le sol (Colbach *et al.*, 2017 ; Chauvel *et al.*, 2018).

Pour faire face à la problématique de l'enherbement en culture du maïs grain dans la région de Beni, trois modes de désherbage sont actuellement adoptés par les agriculteurs. Le désherbage manuel à la houe est la technique traditionnelle pratiquée depuis la période ancestrale. Pendant la phase de forte intensité d'activités de production et surtout à cause

des contraintes liées au temps de travail, à la rareté de la main-d'œuvre et au coût de cette dernière, la plupart des agriculteurs font recours au désherbage chimique par l'emploi de l'herbicide sélectif Auxo. D'autres utilisent le mulch du riz pour contrôler les adventices dans la culture du maïs. En plus de ces trois modes de désherbage, il y a lieu de proposer un quatrième consistant à couvrir le sol avec le film polyéthylène noir. En effet, ces modes de désherbage sont utilisés par les agriculteurs de Beni sans qu'ils soient en mesure d'estimer les forces et les faiblesses de chacun de ces systèmes de contrôle des adventices. Les quatre modes de désherbage adoptés par les agriculteurs de la région de Beni ont des effets différents sur la croissance végétative du maïs grain compte tenu des impacts spécifiques bénéfiques de chacun de ces modes sur le contrôle des adventices et l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

Dans le but d'aider les producteurs à opérer un choix rationnel du mode de désherbage pouvant améliorer la croissance végétative du maïs grain, la présente étude se fixe l'objectif d'évaluer l'effet de quatre modes de désherbage (désherbage mécanique manuel à la houe, désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo, désherbage par paillage avec la paille de riz et désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque) en vue de mettre en évidence celui (ou ceux) pouvant améliorer la croissance végétative du maïs (*Z. mays* L. var. ZM 625) dans la région de Beni en RDC. L'intérêt de ce travail est de contribuer à l'amélioration de la production du maïs grain dans la région de Beni à travers l'adoption d'un ou des système(s) de contrôle des adventices capable(s) de booster la croissance végétative de cette culture.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Sites d'étude

L'étude a été menée dans la région de Beni située dans la province du Nord-Kivu, au Nord-Est de la RD Congo (Figure 1). Les essais ont été conduits en milieux paysans sur deux sites : la Station Agro-Pastorale de Bingo (00°32'15,8"N ;

029°22'29,4''E ; 1040 m d'altitude) et la Concession Scolaire de l'Institut Lume (00°15'40,00''N; 029°43'21,2''E ; 1069 m d'altitude). Ces sites ont été choisis sur base de leurs caractéristiques agroécologiques. Suivant la classification de Köppen, la région de Beni et ses environs présentent un climat du type Aw₄, c'est-à-dire un climat tropical humide caractérisé par deux saisons au cours de l'année : une saison sèche de quatre mois et une saison humide de huit mois (Blutot, 1950). Les fluctuations pluvio-thermométriques varient entre 1200 et 2000 mm/an et 20 à 30 °C (Bweya *et al.*, 2019).

Les sols de la région de Beni se scandent en quatre principaux groupes : les kaolisols, les sols bruns tropicaux, les sols tropicaux récents et les sols noirs tropicaux (Leclercq, 1969 ; Vyakuno, 2006). La région de Beni couvre une superficie de 7 484 km² et est occupée par une population estimée à 926 140 habitants (Etat-Civile Beni Ville et Territoire/RDC, 2019). Sur le plan socio-économique, l'agriculture et l'élevage constituent les principales activités auxquelles s'ajoute le commerce (Kibwana, 2016). Les principales productions agricoles sont les céréales (maïs grain – *Zea mays* (L.), riz – *Oryza sativa* (L.), sorgho - *Sorghum bicolor* (L.) Moench), les légumineuses (haricot - *Phaseolus vulgaris* (L.), soja - *Glycine max* (L.) Merr.), les racines et tubercules (manioc - *Manihot esculenta* Crantz, patate douce - *Ipomoea batatas* (L.) Lam., taro – *Colocasia esculenta* (L.) Schott), igname – *Dioscorea* sp.), les bananiers – *Musa* sp., les oléagineux (arachide – *Arachis hypogaea* (L.)), les cultures maraîchères (tomate - *Lycopersicon esculentum* Mil., piment – *Capsicum* sp., légumes feuilles) et les cultures de rente (palmier à huile - *Elaeis guineensis* Jacq., cacaoyer – *Theobroma cacao* L., caféier – *Coffea* sp., canne à sucre - *Saccharum officinarum* (L.)) (Kujirakwinja *et al.*, 2007 ; Kibwana *et al.*, 2012 ; Kibwana, 2016 ; Ndengo *et al.*, 2016).

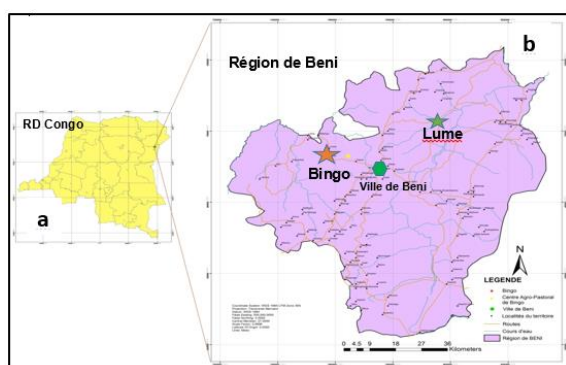


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Les données climatiques collectées pendant la période de l'essai (2 août 2019 - 31 janvier 2020) sont présentées aux tableaux 1 et 2.

Tableau 1. Données climatiques du site Bingo pendant la période expérimentale

Mois - année	Température			Pluviométrie	
	Moy. (°C)	Min. (°C)	Max. (°C)	(mm)	NJP
Août 2019	26,00	19,00	33,00	200,00	22
Septembre 2019	23,50	18,00	29,00	166,10	20
Octobre 2019	26,70	19,19	34,32	150,80	21
Novembre 2019	25,51	18,56	32,46	63,70	7
Décembre 2019	25,60	20,00	31,20	19,40	3

Légende : Moy. (Moyenne), Min. (Minimum), Max. (Maximum), NJP (Nombre de jours de pluie)

Tableau 2. Données climatiques du site Lume pendant la période expérimentale

Mois - année	Température			Pluviométrie	
	Moy. (°C)	Min. (°C)	Max. (°C)	(mm)	NJP
Septembre 2019	24,61	22,00	31,00	215,70	26
Octobre 2019	24,61	20,29	28,93	147,00	14
Novembre 2019	24,84	20,68	29,00	123,60	7
Décembre 2019	26,60	22,24	30,96	132,00	3
Janvier 2020	26,75	23,00	30,50	10,00	3

2.2. Matériel

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était le maïs grain (*Z. mays* L. var. ZM 625). Il s'agit d'une variété à pollinisation ouverte qui est inscrite au catalogue du Service National des Semences (SENASAEM-RDC) avec le nom vernaculaire de *Tokachini*. Cette variété provient du Zimbabwe CIMMYT et son détenteur demeure l'INERA-MULUNGU (INERA-MULUNGU, 2015 ; SENASAEM-RDC, 2015).

Dés herbants

Quatre types de dés herbants ont été utilisés pour contrôler les adventices. La houe est l'outil traditionnel par excellence de dés herbage des cultures vivrières et industrielles dans la région de Beni. C'est pour cette raison que cet outil a été considéré comme traitement témoin au cours de l'expérimentation. Ensuite, l'herbicide sélectif du maïs Auxo, une solution aqueuse fabriquée à base de Tembotrione et de Bromoxynil a été utilisé. Aussi, la paille de riz (mulch) qui, depuis plus d'une décennie, est utilisée par les agriculteurs de Beni pour contrôler la flore adventice dans les champs. Enfin, le film polyéthylène à basse densité noir opaque qui s'avère accessible aux agriculteurs et disponible sur les marchés locaux de Beni-ville a été aussi utilisé.

Fertilisants et produits phytosanitaires

Les fertilisants appliqués sont le DAP (18-46-0) utilisé comme engrais de fond et l'Urée (46-0-0) employé comme engrais de couverture. La lutte phytosanitaire contre les chenilles légionnaires et d'autres insectes ravageurs du maïs a été effectuée à l'aide de l'insecticide ROCKET. Il s'agit d'un pesticide constitué de deux matières actives dont

le Profenofos 40 % et la Cyperméthrine 50 % EC. Les mesures de longueurs estimant la croissance végétative des plants de maïs grain (*Z. mays* L. var. ZM 625) ont été faites au moyen d'un ruban-métrique (model Rondo®, Kruuse cat no : 240589, Sztizerland).

2.3. Méthodes

Dispositif expérimental

Les deux essais expérimentaux ont été conduits suivant un dispositif en quatre blocs aléatoires complets. Chacun des blocs comprenait quatre parcelles rectangulaires de 6 m x 12 m correspondant aux quatre traitements testés. Les blocs contigus étaient séparés par un espace de 2 m d'intervalle tandis que les parcelles contiguës au sein d'un bloc étaient séparées de 1 m. Les quatre traitements testés sont les suivants : (i) T0 (désherbage mécanique manuel à la houe « Témoin, DMMH ») ; (ii) T1 (désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo « DHxo ») ; (iii) T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz « DPPR » - couche de 20 cm d'épaisseur) ; (iv) T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque « DPFPbdno »).

Conduite des essais

Les essais ont été conduits pendant six mois (août 2019 à janvier 2020), correspondant à la grande campagne agricole de maïs grain dans la région de Beni. Les travaux de préparation du sol ont porté sur le labour manuel et le hersage. Dans tous les sites, le semis s'est effectué aux écartements de 60 cm x 60 cm, à une dose de 55 kg de grains ha⁻¹, correspondant à 138 889 plants à l'hectare, soit cinq grains par poquet, et à une profondeur de 3 à 5 cm. Chaque parcelle comprenait 10 lignes de maïs en raison de 20 poquets par ligne. L'ensemble de quatre blocs était entouré de trois lignes de maïs servant de plantes de bordure. Après le démariage, trois plants par poquet ont été gardés. Tel que recommandé par Arvalis (2016), la fertilisation a été réalisée à l'aide de deux types d'engrais minéraux, respectivement au cours de deux phases phénologiques différentes : le DAP, au moment du semis (engrais de fond), à une dose de 42 kg ha⁻¹, et l'Urée, pendant la phase végétative, au stade de 6 à 8 feuilles (engrais de couverture), à la dose de 40 kg ha⁻¹. La lutte phytosanitaire contre les chenilles légionnaires d'automne *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) et autres insectes ravageurs des plants de maïs grain s'est faite avec l'insecticide ROCKET (Profenofos 40 % + Cyperméthrine 50 % EC) à la dose de 1 litre ha⁻¹. Le contrôle des adventices a été effectué au moyen de la houe (sarco-binage-buttag), de l'herbicide Auxo (21,6 ml/parcelle d'essai à l'aide du pulvérisateur à dos) et de la paille de riz (20 cm d'épaisseur). L'installation du film polyéthylène à

basse densité noir opaque pour réprimer la flore adventice sur les parcelles d'essais expérimentaux a été faite en une seule phase après les travaux de préparation du sol. Une fois installé sur la parcelle d'essais, le film polyéthylène a été percé de plusieurs trous de semis (200) aux écartements de 60 cm x 60 cm, proportionnellement au nombre de poquets par parcelle d'essai.

Paramètres observés

Paramètres édaphiques des sites d'essais

Les échantillons des sols ont été prélevés dans les parcelles d'essai dans la couche arable (jusqu'à 30 cm de profondeur) à l'aide d'une sonde pédologique par la méthode de quadrillage préconisée par Pauwels *et al.* (1992). Au sein de chaque site, quinze échantillons ont été prélevés et mélangés pour faire un échantillon composite. Chaque échantillon composite a été séché à l'abri du soleil jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les analyses physico-chimiques des sols ont été effectuées au Laboratoire de Pédologie de l'Université Catholique du Graben (LP/UCG) selon les méthodes décrites par Pauwels *et al.* (1992). Elles ont porté sur la granulométrie (% sable fin, % sable grossier, % limon fin, % limon grossier, % argile), le pH (eau et KCl), la Capacité d'Echange Cationique (CEC), la teneur en matière organique et les principaux éléments minéraux fertilisants (Phosphore, Potassium, Azote, Calcium, Magnésium et Soufre) exigés par la culture du maïs grain (Ahmadi *et al.*, 2014). La texture des sols a été définie à l'aide du triangle textural du système américain (Pauwels *et al.*, 1992).

Paramètres de croissance végétative du maïs

Les paramètres de croissance végétative estimés au cours de l'essai sont les suivants : (i) la hauteur moyenne des plants (prise à partir du collet jusqu'au nœud sous-tendant la panicule pendant la floraison « sortie de l'inflorescence mâle »), (ii) la hauteur moyenne du point d'insertion de l'épi sur la tige (mesurée au stade de la floraison femelle). Les observations ont porté sur 20 plants choisis aléatoirement dans la zone centrale de chaque parcelle d'essai et les mesures ont été faites à l'aide du ruban-métrique.

Analyse statistique des données

Pour évaluer l'effet des traitements sur la croissance végétative du maïs grain, les données collectées ont été soumises à l'analyse de la variance en suivant une démarche en deux étapes. En premier lieu, la présentation de la situation par site en utilisant l'analyse de la variance à deux facteurs de classification, modèle croisé mixte, où les traitements (modes de désherbage) constituent le facteur fixe et les blocs, le facteur aléatoire. En

second lieu, le facteur site a été utilisé pour l'analyse de la variance à trois facteurs de classification, modèle hiérarchisé de type IV, où le facteur traitements (modes de désherbage) croise les facteurs sites et les blocs mais les blocs sont subordonnés aux sites. Le logiciel SAS version 9.4.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) a été utilisé pour faire le test de Fisher au seuil $\alpha = 5\%$. La comparaison multiple des moyennes des traitements a été effectuée par le test de Student-Newman-Keuls (SNK). Les graphiques (Figures) ont été réalisés à l'aide du logiciel MS-Excel.

3. RESULTATS

3.1. Composition physico-chimique des sols

Le tableau 3 présente les résultats de l'analyse des sols de deux sites d'essais expérimentaux. L'analyse granulométrique montre que ces sols sont à texture sablo-limoneuse. La teneur en sable fin est quasi-identique pour les deux sites d'essais (28,33 pour Bingo et 28,73 pour Lume). Le sable grossier représente 29,46 % à Bingo et 25,46 % à Lume. Les proportions des limons fins et limons grossiers sont respectivement de 31,70 % et 3,90 % à Bingo et de 33,10 % et 6,70 % à Lume. La teneur en argile est également quasi-identique pour les deux sites (5,10 % à Bingo et 5,68 % à Lume). L'analyse chimique montre que les pH des sols (eau et KCl) de deux sites d'essais sont légèrement acides. La CEC (Capacité d'Echange Cationique) des sols étudiés est presque équivalente pour les deux sites d'essais (0,07 mEq/100 g de sol pour Bingo et 0,14 mEq/100 g de sol pour Lume). L'estimation de la CEC du sol est importante car elle indique théoriquement le degré de fertilité du sol. Plus la CEC du sol est élevée, plus le sol est supposé retenir les cations qui peuvent améliorer sa structure et, par ricochet, faciliter la nutrition minérale des plantes *via* les racines. La matière organique du sol a été estimée à 5,65 % pour Bingo et 6,30 % pour Lume.

Tableau 3. Composition physico-chimique des sols des sites d'essais (Couche 0-30 cm)

Caractéristiques physico-chimiques des sols	Station Agro-Pastorale de Bingo	Commune Rurale de Lume
% sable fin	28,33	28,73
% sable grossier	29,46	25,46
% limon fin	31,70	33,10
% limon grossier	3,90	6,70
% argile	5,10	5,68
pHeau	5,16	6,12
pHKCl	5,00	5,10
CEC (mEq/100 g de sol)	0,07	0,14
Matière organique (%)	5,65	6,30
P (kg/ha)	0,42	1,18
K (kg/ha)	1,98	7,15
N (kg/ha)	0,14	0,09
Ca (kg/ha)	0,27	0,25

Mg (kg/ha)	0,12	0,06
S (kg/ha)	0,09	0,14

La quantité d'éléments minéraux nutritifs contenus dans le sol du site Bingo est évaluée à 0,42 kg ha⁻¹ pour le Phosphore, 1,98 kg ha⁻¹ pour le Potassium, 0,14 kg ha⁻¹ pour l'Azote, 0,27 kg ha⁻¹ pour le Calcium, 0,12 kg ha⁻¹ pour le Magnésium et 0,09 kg/ha pour le Soufre. Dans le sol du site Lume, cette quantité est évaluée à 1,18 kg ha⁻¹ pour le Phosphore, 7,15 kg ha⁻¹ pour le Potassium, 0,09 kg ha⁻¹ pour l'Azote, 0,25 kg ha⁻¹ pour le Calcium, 0,06 kg ha⁻¹ pour le Magnésium et 0,14 kg ha⁻¹ pour le Soufre. Ces teneurs en éléments minéraux nutritifs ne présentent pas de différence qui soit significative entre les deux sites d'essais, exception faite pour le Potassium pour lequel il a été enregistré une valeur très élevée à Lume (7,15 kg ha⁻¹) et très basse à Bingo (1,98 kg ha⁻¹).

3.2. Effet des modes de désherbage sur la hauteur moyenne des plants

Les résultats de l'analyse de la variance des données de la hauteur moyenne des plants n'ont pas pu mettre en évidence une différence significative entre les traitements et entre les blocs au sein de chaque site expérimental ($P > 0,05$). De même, l'interaction entre les modes de désherbage et les blocs ne s'est pas révélée significative ($P > 0,05$). En considérant le facteur site comme source de variation, les résultats de l'analyse de la variance ont révélé une différence significative entre les deux sites ; en comparaison avec le site Bingo, le site Lume a eu un effet sur la hauteur des plants significativement supérieur ($P < 0,05$). Par contre, aucune différence significative n'a été décelée entre les traitements ; il en est de même pour les blocs dans les deux sites. En outre, les interactions modes de désherbages*site et modes de désherbage*blocs dans les sites ne se sont pas révélées significatives ($P > 0,05$). Les valeurs moyennes de la hauteur des plants sont représentées sur la figure 2.

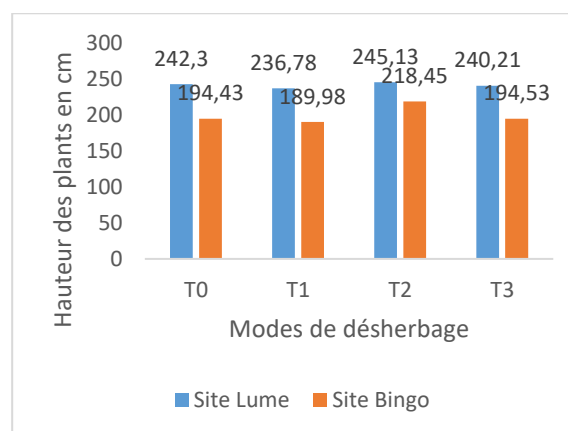


Figure 2. Influence des modes de désherbage sur la hauteur des plants
Légende : T (traitement) ; T0 (témoin : désherbage mécanique manuel à la houe), T1 (désherbage à l'aide de l'herbicide Auxe),

T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz), T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque).

Bien que l'influence de quatre modes de désherbage n'ait pas été significative sur la hauteur des plants au sein de chacun de deux sites, il apparaît, à partir des résultats de la figure 2, des divergences sensibles entre les deux sites. Quel que soit le mode de traitement, le site Lume a induit une hauteur des plants sensiblement supérieure comparativement au site Bingo. Considérant les données cumulées de deux sites, les figures 3 et 4 représentent respectivement les valeurs moyennes de la hauteur des plants dans chacun de deux sites pour tous les traitements, et la hauteur des plants suivant les modes de désherbage dans les deux sites.

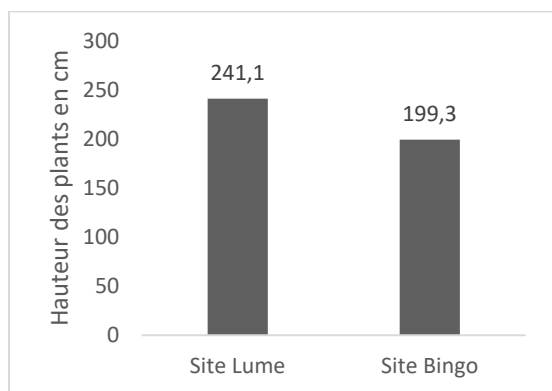


Figure 3. Influence des sites expérimentaux sur la hauteur des plants (tous les modes de désherbage, PPDS = 11,5 cm)

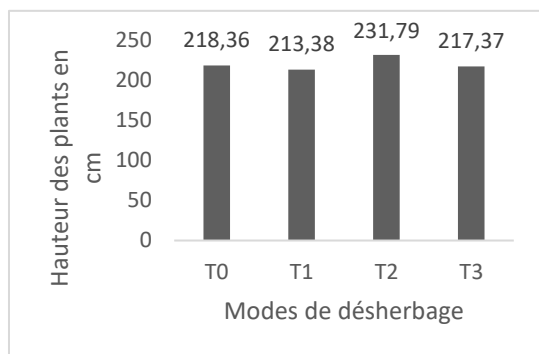


Figure 4. Influence de modes de désherbages sur la hauteur des plants (données cumulées des sites Lume et Bingo)

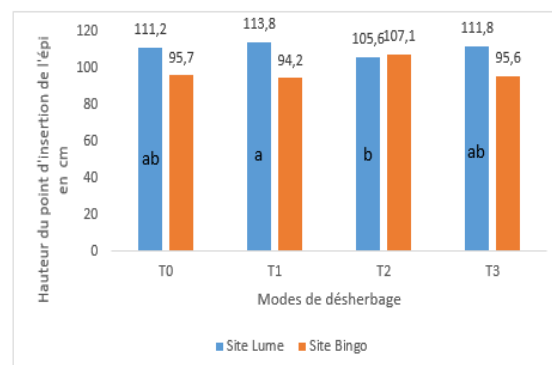
Légende : T (traitement); T0 (témoin : désherbage mécanique manuel à la houe), T1 (désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo), T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz), T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque)

Il résulte de la figure 3 que le site Lume a donné des valeurs moyennes de hauteurs des plants plus élevées que le site Bingo pour tous les traitements testés. La figure 4, quant à elle, montre que dans les deux sites confondus, les traitements testés ont

enregistré des valeurs moyennes de la hauteur des plants qui se rapprochent.

3.3. Effet des modes de désherbage sur la hauteur du point d'insertion de l'épi

Sur le site Lume, les résultats de l'analyse de la variance mettent en évidence une différence significative entre les modes de désherbage et entre les blocs ($P < 0,05$). Par contre, l'interaction entre les modes de désherbage et les blocs ne s'est pas révélée significative ($P > 0,05$). S'agissant du site de Bingo, aucune différence significative n'apparaît entre les modes de désherbage et entre les blocs ($P > 0,05$). De même, l'interaction entre les modes de désherbage et les blocs ne s'est pas révélée significative ($P > 0,05$). En considérant le facteur site comme source de variation, les résultats de l'analyse de la variance montrent une différence significative entre les deux sites expérimentaux ($P < 0,05$). Par contre, aucune différence significative n'a été révélée entre les modes de désherbage et entre les blocs dans les sites ($P > 0,05$). En outre, les interactions modes de désherbage*sites et modes de désherbage*blocs (sites) ne se sont pas révélées significatives ($P > 0,05$). Les valeurs moyennes de la hauteur du point d'insertion de l'épi sur la tige sont représentées sur la figure 5.



Les lettres sur les barres représentent tout simplement les traitements qui diffèrent significativement. Avec une plus petite différence significative de 7,18 cm, les valeurs affectées par des lettres différentes diffèrent significativement et sont identiques dans le cas contraire.

Figure 5. Influence des modes de désherbage sur la hauteur du point d'insertion de l'épi sur les plants

Légende : T (traitement); T0 (témoin : désherbage mécanique manuel à la houe), T1 (désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo), T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz), T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque).

Il ressort de la figure 5 que le site Lume a enregistré des valeurs moyennes de la hauteur du point d'insertion de l'épi sur le plant sensiblement supérieures à celles du site Bingo. Ce même constat a été relevé pour la hauteur des plants. Considérant les données cumulées de deux sites, les figures 6 et 7 représentent respectivement les valeurs moyennes de la hauteur d'insertion de l'épi sur la tige dans

chacun de deux sites pour tous les traitements et la hauteur d'insertion de l'épi sur la tige suivant les modes de désherbage pour les deux sites d'étude.

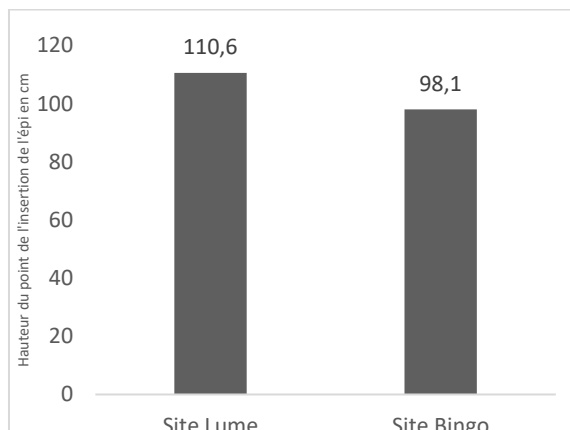


Figure 6. Influence des sites expérimentaux sur la hauteur d'insertion de l'épi, tous traitements confondus (PPDS=5,99 cm)

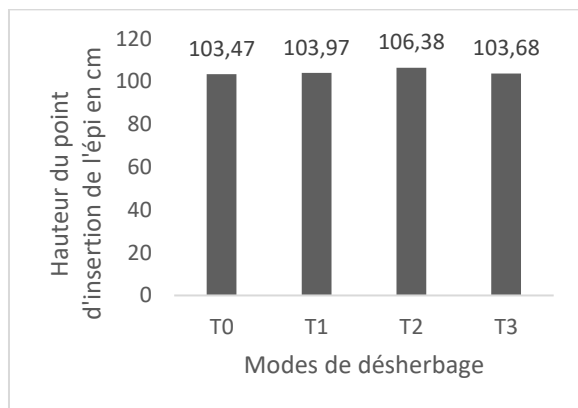


Figure 7. Influence des modes de désherbage sur la hauteur d'insertion de l'épi (données compilées de deux sites) (PPDS = 8,47 cm)

Légende : T (traitement); T0 (témoin : désherbage mécanique manuel à la houe), T1 (désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo), T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz), T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque).

La figure 6 révèle que le site Lume a donné des valeurs moyennes de la hauteur d'insertion de l'épi sur les plants plus élevées que celles du site Bingo pour tous les traitements testés. La figure 7, quant à elle, montre que, dans les deux sites confondus, les traitements ont enregistré des valeurs moyennes de la hauteur d'insertion de l'épi sur les plants qui se rapprochent sensiblement.

4. DISCUSSION

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que les deux sites d'étude sont caractérisés par des sols à texture sablo-limoneuse. Ce type de texture favorable à la perméabilité et l'aération du sol, est

convenable pour la culture de maïs grain (Ahmadi *et al.*, 2014 ; Clermont-Dauphin *et al.*, 2019). Le pH eau du sol était de 5,2 et 6,1 respectivement pour les sites Bingo et Lume. Ces valeurs se rapprochent de celles de la gamme (6 – 7,5) préférée par la culture du maïs grain (AGRIDEA, 2007).

Toutefois, le sol du site Bingo accuse une valeur de pH en-dessous du *preferendum* ionique du maïs ; il mériterait un amendement calcique pour le développement harmonieux de la culture. Cependant, le maïs pourrait se maintenir dans ces conditions de pH d'autant plus que le sol de Bingo est légèrement pourvu en matières organiques pouvant jouer le rôle de tampon. Bien que les sols de nos deux sites d'étude se soient avérés légèrement riches en matières organiques, ils accusent néanmoins un faible taux en éléments minéraux nutritifs (Phosphore, Potassium, Azote, Calcium, Magnésium et Soufre). C'est pour cette raison que des engrais de fond (DAP) et de couverture (Urée) ont été appliqués aux sols. Cet apport d'engrais minéraux était important d'autant plus que le maïs est très sensible aux carences minérales et répond mieux aux apports d'engrais phosphatés et azotés (CPVQ, 1994 ; Ahmadi *et al.*, 2014).

L'effet des traitements sur la croissance végétative a été évalué par l'estimation de deux paramètres : la hauteur des plants et la hauteur du point d'insertion de l'épi sur la tige. Selon Louette (1994), l'estimation de ces paramètres est capitale car ils font partie des principaux critères utilisés par les paysans agriculteurs pour identifier les variétés de maïs et pour estimer *a priori* et de façon empirique, le rendement en grains de maïs. Pour la hauteur des plants, considérant les résultats de chacun de deux essais séparément, les quatre modes de désherbage testés ont entraîné un effet identique sur la hauteur des plants dans chacun de deux sites d'essais.

Cependant, en confrontant les données de deux sites, une différence significative s'est dégagée entre les sites. Ces résultats indiquent, d'une part, dans les mêmes conditions écologiques, que le paramètre hauteur des plants est insensible aux modes de désherbage et, d'autre part, que les variations des microclimats, petites soient-elles, peuvent entraîner une variation significative dans la taille des plants pour une même variété de maïs. Ceci semble se confirmer au regard de la variation des valeurs moyennes de la hauteur des plants dans les deux sites expérimentaux Lume (236,78 à 245,13 cm) et Bingo (189,98 à 218,45 cm) en comparaison avec celles obtenues à Mulungu (195 à 205 cm), lieu de création de la variété de maïs ZM 625 (INERA-MULUNGU, 2015). Akponikpè (1999) et Tidjani et Akponikpè (2012) indiquent la sensibilité du maïs aux variations des températures et des pluviosités dont les impacts affectent la croissance des plants et le rendement en grains.

Tshinyangu Kandanda *et al.* (2017) ont affirmé que la croissance du maïs répond positivement aux effets d'une pluviosité abondante et des sols riches en éléments minéraux nutritifs, indistinctement de leur nature. Aussi, Maliki *et al.* (2017) ont démontré qu'une rhizosphère favorable, créée par les bonnes conditions édaphiques et climatiques, ont un effet positif sur la croissance en hauteur des plants. Elle permet une utilisation plus efficace de l'engrais minéral par la plante ainsi que la libération facile des éléments nutritifs du sol, lesquels sont mobilisés par les racines pour la nutrition de la plante, principalement pendant la phase de croissance et de développement. Pareillement, les quatre modes de désherbage testés ont entraîné un effet similaire sur la hauteur du point d'insertion de l'épi sur la tige bien que pour le site Lume une différence significative ait pu être détectée entre les modes de désherbage (figure 5). Toutefois, la différence significative qui s'est dégagée entre les sites pour tous les traitements, serait due aux variations des caractéristiques climatiques et édaphiques des deux sites d'essais, comme cela fut le cas pour la hauteur des plants de maïs.

Bennouna *et al.* (2005) ont indiqué que les conditions environnementales impactent sur la dynamique des paramètres de croissance du maïs, notamment l'allongement des entre-nœuds, l'extension de la tige, du point d'insertion de l'épi sur la tige, de la panicule, des épis entiers ainsi que le développement de la surface foliaire du maïs. En effet, les quatre modes de désherbage adoptés par les agriculteurs de la région de Beni ont un effet identique sur la croissance végétative du maïs (*Z. mays* L. var. ZM 625) en dépit des effets spécifiques bénéfiques de chacun de ces modes sur la répression de la flore adventice.

5. CONCLUSION

Cette étude a été menée pour évaluer l'effet de quatre modes de désherbage sur la croissance végétative du maïs dans la région de Beni. L'analyse de la composition physico-chimique des sols a montré que le sol du site Lume avait une bonne valeur culturale que celui de Bingo en ce qui concerne les exigences écologiques du maïs. Toutefois, les sols des deux sites d'étude ont été déficitaires en éléments minéraux nutritifs. Les déficits ont été comblés par l'apport de l'engrais de fond (DAP 18-46-0) et de l'engrais de couverture (Urée 46-0-0).

S'agissant de la hauteur moyenne des plants et du point d'insertion de l'épi sur la tige dans chacun de deux sites et dans les deux sites, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les traitements testés. De ce fait, les résultats de cette recherche ne permettent pas de faire le choix de l'un ou l'autre mode de désherbage expérimenté dans la gestion des adventices dans la région de Beni.

Des études d'évaluation de l'effet de traitements testés sur le rendement et la rentabilité économique de la culture du maïs grain sont donc nécessaires. Il en est de même des études d'utilisation de différents fertilisants pour améliorer la croissance végétative du maïs dans la région de Beni.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce à l'appui financier du Centre Agro-Pastoral de Bingo dans le cadre du Projet FTAI (Formation en Techniques Agricoles Intégrées) financé par la CEI (Conférence Episcopale Italienne). L'appui logistique a été assuré par le Laboratoire du CERAVEG (Centre d'Etudes et de Recherches Agronomiques et Vétérinaires du Graben) de l'Université Catholique du Graben (UCG). L'auteur remercie le Dr. Ir. Kambale Valimunzigha Charles pour sa contribution à l'analyse statistique des données et à la relecture du manuscrit pour l'amélioration de sa qualité scientifique.

Références

- AGRIDEA, 2007. *Le maïs*. Paris, Editions John Libbey Eurotest, 180 p.
- Ahmadi N., Nhandreau J., Hekimian L.C., Marchand J.L. & Ouendeba B., 2014. Les céréales. In : *Ministère français des Affaires étrangères, Ed. Mémento de l'Agronome*. Montpellier et Paris (France) : CIRAD et GRET, pp. 777-829.
- Akponikpè P.B. I., 1999. *Changements climatiques et impacts sur la production de maïs (Zea mays) au Sud-Bénin*. Thèse de doctorat, Université Nationale du Bénin, Cotonou (Bénin), 214 p.
- Alletru C. & Labreuche J., 2019. Impact du travail du sol et des couverts végétaux en interculture sur la gestion des adventices en grandes cultures. In : *Végéphyll-24^{ème} Conférence du Coloma-Journées Internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 3,4 et 5 Décembre, 2019, Orléans*. Orléans (France) : Végéphyll.
- Arvalis, 2016. *Localiser l'engrais au semis pour une meilleure vigueur au départ et une levée homogène : fertilisation du maïs*. Paris, Les Essentiels d'Arvalis – Institut du végétal.
- Ben-Ghabrit S., Bouhache M. & Akkif M., 2017. Effets allélopathiques d'une adventice envahissante (*Verbesina encelioides* (Cav.) Benth. & Hook f.) sur la germination et la croissance du blé dur. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 11, 17-28.
- Bennouna B., Lahrouni A. & Khabba S., 2005. Paramètres de croissance du maïs dans le Haouz de Marrakech (Maroc). *Cahiers Agricultures*, 14(5), 437-445.
- Blutot F., 1950. *Carte des régions climatiques du Congo Belge d'après les critères de Köppen*. Bruxelles : Publication de l'INEAC.

- Bouhache M., Taleb A., Elbilali T. & Chetouani M., 2014. Efficacité des herbicides de pré-émergence utilisés dans le désherbage du maïs. *Rev. Mar. Sci. Vét.*, 2(2), 16-21.
- Bweya M.N., Musavandalo M.C. & Sahani M., 2019. Analyse de la dynamique spatio-temporelle du paysage forestier de la région de Beni (Nord-Kivu, RDC). *Geo-Eco-Trop*, 43(1), 171-184.
- Chauvel B., Darmency H., Munier-Jolain N. & Rodriguez A., 2018. *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. Versailles (France) : Quae, 354 p.
- Clermont-Dauphin C., Séguis L., Velluet C., Degbé M., Cournac L. & Seghieri J., 2019. Impacts du karité sur les ressources du sol et la production d'une culture de maïs associée dans un parc agroforestier soudanien du Nord-Est du Bénin. In : Seghieri J. & Harmand J.M., Ed. *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale. Recherche de compromis entre services d'approvisionnement et autres services écosystémiques*. Versailles (France), Editions Quæ, pp. 159-171.
- Colbach N., Bockstaller C., Colas F. et al., 2017. Conception de systèmes de culture multiperformants à l'aide de modèles prédisant la nuisibilité et les services dépendant des adventices. *Innovations Agronomiques*, 59, 191-203.
- Cordeau S., Dessaint F., Deneuil C. et al., 2016. La nuisibilité directe des adventices en grandes cultures : quelles réponses nous apportent les essais désherbage ? In : 23^{ème} Conférence du Columa-Journées Internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Décembre 2016, Dijon. Dijon (France) : AFPP (Association Française de Protection des Plantes), pp. 11-22.
- Cordeau S. & Adeux G., 2018. Régulation des plantes adventices par la compétition : effet des couverts et de leur conduite sur la gestion des adventices. In : *INRA-Nouvelle-Aquitaine, C.R.D.A. & ACTA, Ed. Couverts végétaux : des opportunités à saisir. Rencontres régionales de la recherche du développement et de la formation*. Angoulême (France) ; INRA : Nouvelle-Aquitaine.
- Cordeau S. & Schwartz M., 2019. Perception des adventices par les agriculteurs, conseillers, techniciens d'expérimentation et chercheurs en France. In : *Végéphyll-24^{ème} Conférence du Columa-Journées Internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 3, 4 et 5 Décembre, 2019, Orléans*. Orléans (France) : Végéphyll.
- CPVQ, 1994. *Grille de référence en fertilisation*. Paris, Ed. John Libbey Eurotext, 83 p.
- ENRA-BENI, 2018. *Données météorologiques 1980-2017*. Beni (RDC) : Archives de l'ENRA-Beni, 3897 p.
- Etat-Civile Beni Ville et Territoire/RDC, 2019. *Statistiques démographiques 1975-2018*. Beni-Mbau (RDC) : Archives de l'Etat-Civile Beni Ville et Territoire.
- Gfeller A. & Wirth J., 2017. Les cultures intermédiaires allélopathiques : un moyen de lutte contre les adventices ? *Innovations Agronomiques*, 62, 33-41.
- INERA-MULUNGU, 2015. *Caractéristiques morphologiques et agronomiques des variétés de maïs grain (Zea mays L.) ZM 625, ZM 627 et UH 5053*. Bukavu (RDC) : INERA-MULUNGU, 67 p.
- Kibwana D.K., Makumyaviri A.M. & Hornick J.L., 2012. Pratiques d'élevage extensive et performances des bovins de race locale et croisée avec des races laitières exotiques en République Démocratique du Congo. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 65(3-4), 67-74.
- Kibwana D.K., 2016. *Contribution à l'amélioration de la production laitière et de la reproduction des vaches Ankole et croisées Ankole x Frisonne en territoire de Beni, République Démocratique du Congo*. Thèse de doctorat, Université de Liège, Liège (Belgique), 199 p.
- Kujirakwinja D., Bashonga G. & Plumptre A., 2007. *Etude socio-économique de la zone Nord-Ouest du Parc National des Virunga (région de Lubero-Butembo-Beni). Programme de renforcement des capacités de gestion de l'ICCN et appui à la réhabilitation d'aires protégées en RDC. Feuillet technique n°2*. Kinshasa : WWF, WCS, ICCN, 62 p.
- Leclercq J., 1969. *Cartes des sols et de la végétation du Congo, du Rwanda et du Burundi. 26. Nord-Kivu et région du lac Edouard. A. Sols. Carte de reconnaissance de la région de Beni-Lubero-N. Echelle : 1/200 000*. Bruxelles : Institut Géographique Militaire, Publication de l'INEAC.
- Lemieux C., Vallee L. & Vanasse A., 2003. Predicting yield loss in maize fields and developing decision support for post-emergence herbicide applications. *Weed Research*, 43, 323-332.
- Louette D., 1994. *Gestion traditionnelle de variétés de maïs dans la réserve de la biosphère de Sierra Manantlan (RBSM, états de Jalisco et Colima, Mexique) et conservation in situ des ressources génétiques de plantes cultivées*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Montpellier (France), 245 p.
- Maliki R., Bernard M., Padonou E., Englehart C., Sinsin B.A. & Aho N., 2017. Effet combiné de NPK et de trois différents mulch d'origine végétale sur la production maïsicole et la fertilité des sols au Sud-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) Numéro spécial Technologie Alimentaire & Sécurité Alimentaire (TA&SA) – Décembre 2017 BRAB*. [On line] Available: <http://www.slire.net> ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099.
- Ndengo N.E., Lema Ki-Munseki A., Hanna R. & Koto-Tenyiwa N., 2016. Criblage de génotypes de manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) pour la résistance à la cochenille africaine de racines et tubercules (*Stictococcus vayssierei* Richard) dans différentes zones agro-écologiques de Beni (Nord-Kivu, RD Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 16(1), 210-225.
- Nyembo Kimuni L., Useni Sikuzani Y., Mpundu Mubemba M., Bugeme Mugisho D., Kasongo Lenge E. & Baboy Longanza L., 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. *J. Appl. Biosci.*, 59, 4286– 4296.
- Oerke E.C., 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31-43.

Pauwels J.M., Van Tanst E., Verloom M. & Mvondo Ze A., 1992. *Manuel de laboratoire de pédologie, Méthodes d'analyses de sols et des plantes. Equipement, Gestion de stocks de verrerie et de Produits Chimiques*. Paris : Publications agricoles-28.

SENASAEM-RDC., 2015. *Catalogue variétale des cultures vivrières : maïs, riz, haricot, arachide, soja, niébé, manioc, patate douce, pomme de terre, bananier*. Kinshasa : AGRIPPEL, 240 p.

SENASAEM-RDC/NORD-KIVU, 2016. *Rapport Annuel 2015 : Province du Nord-Kivu*. Goma (RDC) : AGRIPPEL, 72 p.

Soltani N., Dille J., Burke I. *et al.*, 2016. Potential Corn Yield Losses from Weeds in North America. *Weed Technology*, 30(4), 979-984.

Tidjani M.A. & Akponikpè P.B.I., 2012. Evaluation des stratégies paysannes d'adaptation aux changements climatiques : cas de la production du maïs au nord-bénin. *African Crop Science Journal*, 20, 425 – 441.

Tshinyangu Kandanda A., Mutombo Tshibamba J.M., Kayombo Mbumba A., Nkongolo Mulambuila M., Ngoy Yalombe G. & Cibanda Mutombo J., 2017. Effet comparé de *Chromolaena odorata* King et H.E. Robins et *Tithonia diversifolia* A. Gray sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) à Mbuji-Mayi (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences*, 112, 10996-11001.

Villette S., 2017. Les transferts d'azote dans le sol à partir d'engrais granulaires dans un contexte d'étude de l'intérêt des apports localisés pour favoriser la régulation des adventices. In : *Gestion des adventices dans un contexte de changement. Séminaire de restitution à mi-parcours du projet de recherche ANR CoSAC, 31 Janvier-1 Février 2017, Paris*. Paris : INRA, pp. 25-26.

Vyakuno K., 2006. *Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en R.D.C. Rapport entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse II-Le Mirail, Toulouse (France), 489 p.