

Influence du désherbage sur les performances technico-économiques de la culture du maïs (*Zea mays* L. var. ZM 625) à Beni en République Démocratique du Congo (RDC)

Norbert Kambale Ndavaro^{1,2*}, Charles Kambale Valimunzigha¹

⁽¹⁾Université Catholique du Graben (UCG). Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Phytotechnie. BP. 29 Butembo (RD Congo). 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). BP. 123 Parakou (Bénin)

Reçu le 09 juillet 2020, accepté le 21 juillet 2020, publié en ligne le 12 septembre 2020

RESUME

Description du sujet. En vue d'évaluer l'impact des adventices sur le rendement et les performances technico-économiques du maïs à Beni, une étude a été entreprise du 2 août 2019 au 31 janvier 2020.

Objectif. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence 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) sur le rendement et la rentabilité économique du maïs dans la région de Beni.

Méthodes. L'expérimentation a été conduite à Bingo et Lume dans la région de Beni. Le dispositif expérimental utilisé était le bloc complet randomisé avec quatre répétitions et quatre traitements. Les traitements testés sont : T0 (DMMH : désherbage mécanique manuel à la houe), T1 (DHxo : désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo), T2 (DPPR : désherbage par paillage avec la paille de riz) et T3 (DPFPbdno : désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque). Les paramètres estimés sont le rendement et la rentabilité économique du maïs (*Z. mays* L. var. ZM 625).

Résultats. L'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5 % a mis en évidence une différence significative entre les traitements testés dans chacun de deux sites et entre les sites ($PV < 0,05$). Dans les deux sites, le rendement le plus élevé a été obtenu avec le T2 (8801,21 kg ha⁻¹). Les autres traitements testés ont donné les rendements en grains de maïs suivants : T0 (7879,86 kg ha⁻¹), T3 (6314,56 kg ha⁻¹) et T1 (5787,30 kg ha⁻¹). A Lume et à Bingo, le revenu agricole le plus élevé a été obtenu avec le T2 (DPPR) dont 2241,978 \$US ha⁻¹ pour Lume et 1013,218 \$US ha⁻¹ pour Bingo. Dans ces sites, le T3 a entraîné des pertes de revenus agricoles les plus élevées à Bingo (3139,11 \$US ha⁻¹) qu'à Lume (1778,36 \$US ha⁻¹).

Conclusion. La culture de maïs grain (*Z. mays* L. var. ZM 625) serait plus appropriée à Lume étant donné que le rendement et le revenu agricole enregistrés étaient le double de ceux observés sur le site Bingo. Des études sur la pratique d'agriculture de conservation intégrant les cultures de couverture (*Stylosanthes* sp. et *Mucuna pruriens* (L.) DC.) et la culture de maïs sont donc nécessaires.

Mots-clés : *Zea mays*, adventices, paillage, revenu agricole, Beni

ABSTRACT

Influence of weeding on the technical and economic performance of the cultivation of maize (*Zea mays* L. var. ZM 625) in Beni in the Democratic Republic of Congo (DRC)

Description of the subject. To assess the impact of weeds on the yield and technical and economic performance of maize in Beni, a study was undertaken from August 2, 2019 to January 31, 2020.

Objectives. The objective of this study is to assess the influence of four modes of weeding (manual mechanical hoe weeding, weeding with Auxo herbicide, mulching by mulching with rice straw and weeding by mulching with film opaque black low density polyethylene) on the yield and economic profitability of maize in the Beni region.

Methods. The experiment was conducted in Bingo and Lume in the Beni region. The experimental device used was the complete block randomized plan with four repetitions and four treatments. The treatments tested are: T0 (DMMH: manual mechanical weeding with a hoe), T1 (DHxo: weeding using the herbicide Auxo), T2 (DPPR: weeding by mulching with rice straw) and T3 (DPFPbdno: weeding by mulching with opaque black low density

polyethylene film). The estimated parameters are the yield and economic profitability of maize (*Z. mays* L. var. ZM 625).

Results. Analysis of the variance at the 5% probability threshold revealed a significant difference between the treatments tested in each of two sites and between the sites (PV <0.05). At the two sites, the highest yield was obtained with T2 (8,801.21 kg ha⁻¹). The other treatments tested gave the following corn grain yields: T0 (7879.86 kg ha⁻¹), T3 (6314.56 kg ha⁻¹) and T1 (5787.30 kg ha⁻¹). In Lume and Bingo, the highest agricultural income was obtained with T2 (DPPR) of which US \$ 2,241,978 ha⁻¹ for Lume and US \$ 1,013,218 ha⁻¹ for Bingo. At these sites, T3 resulted in the highest loss of farm income in Bingo (US \$ 3,139.11 ha⁻¹) than in Lume (US \$ 1,778.36 ha⁻¹).

Conclusion. The cultivation of grain corn (*Z. mays* L. var. ZM 625) would be more suitable for Lume since the yield and the agricultural income recorded were double those observed on the Bingo site. Studies on the practice of conservation agriculture integrating cover crops (*Stylosanthes* sp. and *Mucuna pruriens* (L.) DC.) and corn cultivation are therefore necessary.

Keywords: *Zea mays*, weeds, mulching, farm income, Beni

1. INTRODUCTION

Beaucoup de plantes vivrières et industrielles cultivées dans les régions tropicales sont particulièrement sensibles à la concurrence des adventices, surtout au moment de l'installation de la culture (Sinkala et Johnson, 2012). En l'absence de désherbage adéquat, les jeunes plantes en phase de croissance restent faibles et finissent par être étouffées par le développement des mauvaises herbes. Aussi, la présence d'une importante végétation herbacée dans les champs pendant la saison sèche favorise les feux de brousse et les dégâts sont plus lourds dans les plantations agroforestières (Barbier *et al.*, 2012 ; Tate *et al.*, 2020). Pendant la période de production, l'absence de désherbage entraîne une chute du rendement des cultures (Andersson *et al.*, 2013). Chez le maïs, les adventices réduisent sensiblement la croissance et le développement de la plante (Page *et al.*, 2012 ; Soltani *et al.*, 2016 ; Colbach *et al.*, 2017) en entraînant des baisses de rentabilité économique de la culture (Caussanel, 1989 ; Traore et Maillet, 1998 ; Afifi et Swanton, 2012 ; Alletru et Labreuche, 2019). En zones tropicales, les pertes de rendements en grains du maïs dues aux adventices varient de 40 à 64 % si le maïs n'est pas désherbé avant ou juste après le stade de 6 à 8 feuilles (Hall *et al.*, 1992 ; Dogan *et al.*, 2004 ; Bouhache *et al.*, 2014). La persistance des adventices dans le champ de maïs après ce stade entraîne la réduction de la matière sèche totale de l'ordre de 41 à 61 % (Baye et Bouhache, 2002 ; Gantoli *et al.* ; 2013).

En République Démocratique du Congo, le problème d'enherbement affecte le rendement et le profit de la plupart de plantes cultivées. En effet, la variété du maïs grain ZM 625 s'est montrée très sensible à la concurrence précoce des adventices dans la région de Beni. Depuis l'adoption de ce cultivar de maïs, réputé très productif (5 à 7 t ha⁻¹) (INERA-MULUNGU, 2015), des pertes de rendement et des baisses de profit ont été observées par la plupart d'agriculteurs de la région suite au

réenherbement rapide des champs (SENASEM-RDC/NORD-KIVU, 2016). Le développement des adventices dans la région de Beni est favorisé par une température élevée et une pluviosité abondante (ENRA-BENI, 2018 ; Bweya *et al.*, 2019 ; Colbach *et al.*, 2017 ; Chauvel *et al.*, 2018).

Trois modes de désherbage sont actuellement adoptés par les agriculteurs de la région de Beni pour faire face à la pression des adventices. Le désherbage manuel à la houe est la technique traditionnelle pratiquée par de nombreux agriculteurs. L'emploi de l'herbicide chimique sélectif Auxo est aussi observé dans la région en vue de faire face à la rareté et au coût élevée de la main-d'œuvre pour le désherbage manuel. D'autres producteurs utilisent le mulch du riz pour contrôler les adventices dans la culture du maïs. Dans d'autres régions où les dégâts des adventices sont importants, les agriculteurs recourent aussi à l'usage du film polyéthylène noir.

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'influence 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 le désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque) sur le rendement et la rentabilité économique du maïs grain (*Z. mays* L. var. ZM 625) dans la région de Beni.

L'intérêt de cette recherche est de contribuer à l'amélioration de la production du maïs grain à travers l'augmentation du rendement et la maximisation du revenu agricole.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Sites d'étude

L'étude a été menée du 2 août 2019 au 31 janvier 2020 dans la région de Beni au Nord-Kivu (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 pluviométriques varient entre 1200 et 2000 mm (moyenne de 1600 mm)/an et la température moyenne tourne autour de 20 à 30 ° C (Bweya *et al.*, 2019).

Quatre principaux groupes de sols existent dans la région de Beni : les kaolisols, les sols bruns tropicaux, les sols tropicaux récents et les sols noirs tropicaux (Leclercq, 1969 ; Vyakuno, 2006). Beni couvre une superficie de 7 484 km² et est occupé 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).

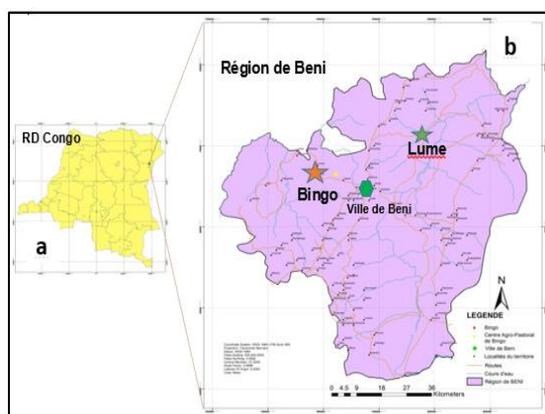


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

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	Moyenne (°C)	Pluviométrie (mm)	Nombre de jours de pluie
Août 2019	26,00	200,00	22
Septembre 2019	23,50	166,10	20
Octobre 2019	26,70	150,80	21
Novembre 2019	25,51	63,70	7
Décembre 2019	25,60	19,40	3

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

Mois - année	T° moyenne (°C)	Pluviométrie (mm)	Nombre de jours de pluie
Septembre 2019	24,61	215,70	26
Octobre 2019	24,61	147,00	14
Novembre 2019	24,84	123,60	7
Décembre 2019	26,60	132,00	3
Janvier 2020	26,75	10,00	3

2.2. Matériel

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était constitué des grains de maïs (*Z. mays* L. var. ZM 625) de la variété à pollinisation ouverte qui est inscrite au catalogue du Service National des Semences (SENASA-RDC) avec le nom vernaculaire de *Tokachini*. Cette variété provient du Zimbabwe CIMMYT et son détenteur demeure l'INERA-MULUNGU (INERA-MULUNGU, 2015 ; SENASA-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. L'herbicide sélectif du maïs Auxo, une solution aqueuse fabriquée à base de Tembotrione et de Bromoxynil, a été employé. Aussi, la paille de riz qui, depuis plus d'une décennie, est employée par les agriculteurs de Beni pour contrôler la flore adventice dans les champs. Enfin, le film polyéthylène à basse densité noir opaque a été aussi mis en œuvre.

Engrais et produits phytosanitaires

Le DAP (18-46-0) et l'Urée (46-0-0) ont été utilisés respectivement comme engrais de fond et de couverture pendant l'essai. La lutte contre les bioagresseurs (chenilles légionnaires et 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.

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 administrés. Les blocs contigus étaient séparés par un espace de 2 m d'intervalle tandis que les parcelles contiguës au sein d'un bloc étaient distantes les unes des autres 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 « DFPbdno »).

Conduite des essais

Les essais ont été conduits pendant la grande campagne agricole de maïs à Bingo et Lume dans la région de Beni (d'août 2019 à janvier 2020). 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 la dose de 55 kg ha⁻¹, correspondant à 138 889 plants ha⁻¹, 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 la 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 (sarclage-binage-buttagé), 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.

La récolte de maïs grain a été réalisée manuellement et elle a eu lieu à 103 jours après le semis à Bingo et à 95 jours après le semis à Lume. Le séchage des épis de maïs grain s'est fait au soleil sur l'aire de séchage tapissée des bâches plastiques pendant 11 jours pour les deux sites d'essais. L'égrainage des épis de maïs grain a été fait à l'aide d'une égreneuse motorisée. Les échantillons de maïs grain ont été conditionnés dans des sachets de 1000 g chacun.

Paramètres mesurés et observés

Le rendement moyen en grains du maïs a été estimé par pesage à l'aide de la balance électronique (marque KERN, précision de 0,0001 g près) après la récolte des produits sur une superficie de 51,84 m² (parcelle d'essai). Le revenu agricole a été évalué en effectuant la différence entre la valeur monétaire du rendement à l'hectare et le coût de production (Dufumier, 1996).

Analyse statistique des données

Pour évaluer l'effet des traitements administrés sur le rendement et la rentabilité économique du maïs grain (*Z. mays* L. ZM 625), 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 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 à l'aide du test de Student-Newman-Keuls (SNK). Les graphiques (Figures) ont été réalisés à l'aide du logiciel MS-Excel.

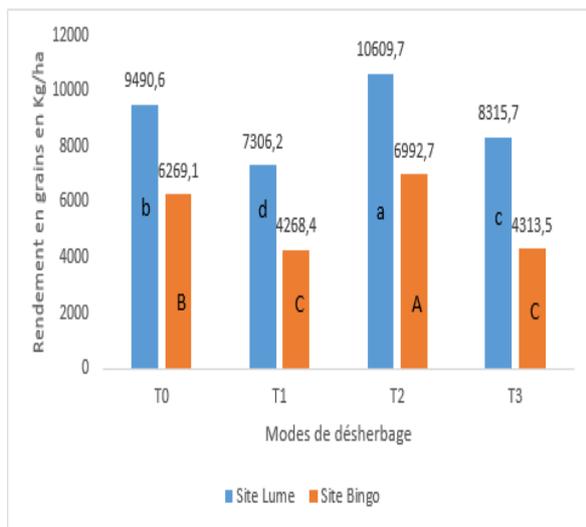
3. RESULTATS

3.1. Effet des modes de désherbage sur le rendement en grains de maïs

Les résultats de l'analyse de la variance des données du rendement ont mis en évidence une différence significative entre les modes de désherbage au niveau de chacun de deux sites expérimentaux (PV<0,05). En revanche, l'interaction entre les blocs et entre les modes de

désherbage et les blocs au sein de chaque site expérimental 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 modes de désherbage (dans les deux sites) et entre les sites (les quatre modes de désherbage) ($PV < 0,05$). La comparaison multiple des valeurs moyennes du rendement en grains du maïs au sein de chacun de deux sites est reprise sur la figure 2.



Les résultats sont présentés sous forme des moyennes. Les barres de même couleur affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

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).

Figure 2 : Influence des modes de désherbage sur le rendement en grains du maïs

Les résultats présentés sur la figure 2 montrent que les rendements moyens en grains du maïs obtenus dans le site Lume sont sensiblement supérieurs à ceux du site Bingo pour tous les traitements testés. Ces résultats révèlent que les plus grands rendements moyens en grains du maïs ont été obtenus avec le désherbage par paillage avec la paille de riz (T2 : DPPR) pour tous les deux sites d'essais expérimentaux. Les valeurs moyennes du rendement en grains du maïs dans chacun de deux sites pour tous les traitements sont respectivement reprises sur les figures 3 et 4.

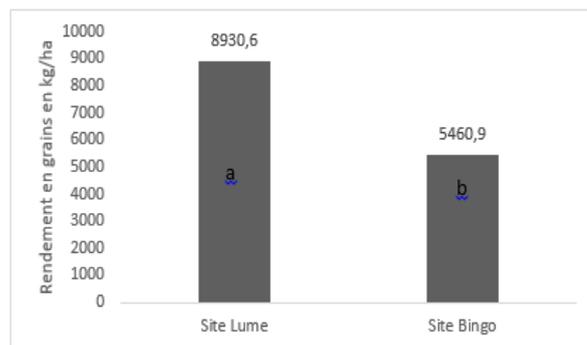
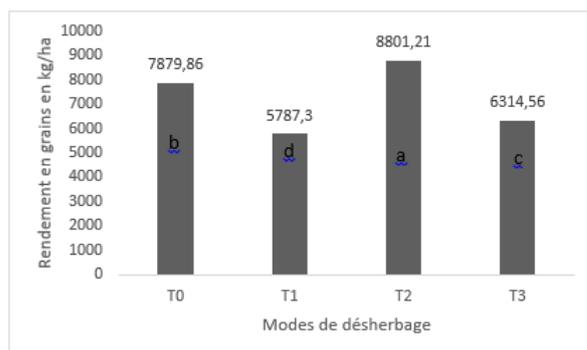


Figure 3 : Influence des sites sur le rendement en grains du maïs (PPDS = 495,9 kg ha⁻¹)



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).

Figure 4 : Influence des modes de désherbage sur le rendement en grains du maïs des données cumulées de deux sites d'essais Lume et Bingo (PPDS = 940,66 kg ha⁻¹)

Il ressort de la figure 3 que le site Lume a donné la valeur moyenne de rendement en grains du maïs la plus élevée que le site Bingo pour tous les traitements. Par contre, la figure 4 a montré que dans les deux sites, le rendement le plus élevé a été obtenu avec le T2 (8801,21 kg ha⁻¹). Les autres traitements testés ont donné les rendements dans l'ordre décroissant de grandeur suivant : T0 (7879,86 kg ha⁻¹), T3 (6314,56 kg ha⁻¹) et T1 (5787,30 kg ha⁻¹).

3.2. Effet des modes de désherbage sur la rentabilité économique du maïs grain

Coûts de production du maïs dans les deux sites d'étude

Les couts des activités agricoles liées à la production du maïs grain à Lume et Bingo dans la région de Beni sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Coûts de production du maïs dans les deux sites d'étude

N°	Opérations culturales	Coûts des activités de l'itinéraire technique en fonction des traitements testés (en \$US ha ⁻¹)			
		(T0)	(T1)	(T2)	(T3)
1.	Déchaumage	100,00	100,00	100,00	100,00
2.	Labour	80,00	80,00	80,00	80,00
3.	Hersage	50,00	50,00	50,00	50,00
4.	Semence	30,00	30,00	30,00	30,00
5.	Engrais de fond (DAP)	42,00	42,00	42,00	42,00
6.	Semis + Épandage de l'engrais	50,00	50,00	50,00	50,00
7.	Regarnissage des vides	15,00	15,00	15,00	15,00
8.	Démariage	15,00	15,00	15,00	15,00
9.	Premier désherbage	80,00	18,75	180,00	3571,40
10.	Engrais de couverture (Urée)	208,50	208,50	208,50	208,50
11.	Coût épandage de l'engrais	50,00	50,00	50,00	50,00
12.	Lutte phytosanitaire (Rocket)	15,00	15,00	15,00	15,00
13.	Coût de la lutte phytosanitaire	30,00	30,00	30,00	30,00
12.	Deuxième désherbage	80,00	18,75	150,00	0,00
13.	Récolte	40,00	40,00	40,00	40,00
14.	Transport du champ vers l'aire de séchage	100,00	100,00	100,00	100,00
15.	Séchage	60,00	60,00	60,00	60,00
16.	Égrainage et vannage	33,60	33,60	33,60	33,60
17.	Conditionnement (emballage)	98,00	98,00	98,00	98,00
18.	Pesage	17,20	17,20	17,20	17,20
	Total	1194,30	1071,80	1364,30	4605,70

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 du tableau 3 que la quasi-totalité des coûts des activités agricoles liées à la production du maïs grain ont été les mêmes pour tous les traitements testés. Les différences s'observent au niveau de l'activité de désherbage dont les valeurs des coûts de production relatifs aux traitements administrés se présentent dans l'ordre décroissant de leur grandeur : T3 (3571,40 \$US ha⁻¹), T2 (330,00 \$US ha⁻¹), T0 (160,00 \$US ha⁻¹) et T1 (37,50 \$US ha⁻¹). Le regarnissage des vides, le démariage et la lutte phytosanitaire constituent les opérations culturales réalisées à moindre coût. Elles ont coûté respectivement 15 \$US ha⁻¹ pour chacun des traitements administrés.

Influence des modes de désherbage sur la rentabilité économique du maïs grain dans les deux sites d'étude

Le tableau 4 présente le rendement moyen en grains en kg ha⁻¹, la valeur monétaire du rendement à l'hectare (Prix Unitaire = 0,34 \$US kg⁻¹) et le coût de production par hectare (\$US).

Tableau 4. Effet des modes de désherbage sur la rentabilité économique du maïs grain dans les sites Lume et Bingo

Traitements	Site Lume				Site Bingo			
	R. moy. en kg/ha (A)	V. mon. (\$US/ha) (B)	C. prod. (\$US/ha) (C)	Revenu agricole (\$US) (RA=B-C)	R. moy. (kg/ha) (A)	V. mon. (\$US/ha) (B)	C. prod. (\$US/ha) (C)	Revenu agricole (\$US/ha) (D=B-C)
T0	9490,60	3226,80	1194,30	2032,50	6269,10	2131,49	1194,30	937,19
T1	7306,20	2484,10	1071,80	1412,30	4268,40	1451,25	1071,80	379,45
T2	10609,70	3606,27	1364,30	2241,97	6992,70	2377,51	1364,30	1013,21
T3	8315,70	2827,33	4605,70	-1778,36	4313,50	1466,59	4605,70	-3139,11

Légende : R. moy. : Rendement moyen en grains en Kg ha⁻¹ ; V.mon. : Valeur monétaire du rendement à l'hectare en \$US (Prix Unitaire = 0,34 \$US kg⁻¹) ; C. prod. : Coût de production par hectare en \$US.

Les résultats de l'étude indiquent que pour les deux sites d'essais, les revenus agricoles les plus élevés (2241,97 \$US ha⁻¹ pour Lume et 1013,21 \$US ha⁻¹ pour Bingo) ont été obtenus avec le T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz). Toutefois, en comparant les deux sites, le site Lume semble mieux indiqué pour la culture rentable du maïs-grain, car les revenus générés dans ce site sont plus élevés que ceux du site Bingo, bien que les charges d'exploitation liées au T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz) aient été semblables pour les deux sites d'essais (Tableau 3). Par ailleurs, dans les deux sites, le traitement T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque) semble être inapproprié pour le désherbage du maïs, car ayant entraîné des pertes de revenus estimées à 1778,36 \$US ha⁻¹ pour Lume et 3139,11 \$US ha⁻¹ pour Bingo.

4. DISCUSSION

La gestion des adventices en Afrique tropicale a toujours été l'activité qui mobilise près de 50 % de temps consacré à la production agricole. La présence des adventices entraîne des pertes économiques et constitue une réelle menace pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle à cause des faibles rendements occasionnés (FAO, 2011). Les pertes de production annuelles dues aux adventices en Afrique sont estimées à 2,2 millions de tonnes pour un coût estimé à 700 milliards de francs CFA (Le Bourgeois *et al.*, 2014).

Les résultats de l'étude ont montré que le rendement en grains du maïs le plus élevé a été

obtenu avec le T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz). Le meilleur rendement obtenu avec ce système de contrôle des adventices pourrait s'expliquer par les effets positifs d'amendement humique du sol (après décomposition complète) et du maintien de l'humidité du sol reconnus au paillage organique du sol (N'Dayegamiye *et al.*, 2005 ; Gbakatchetche *et al.*, 2010 ; Roose, 2015 ; Likoko Bambele *et al.*, 2018 ; Ouattara *et al.*, 2019). Le T0 (désherbage mécanique manuel à la houe « sarclo-binage-buttagé ») a donné aussi un rendement élevé à cause du fait qu'en plus de contrôler les adventices dans le champ, ce mode de désherbage améliore la structure du sol par ameublissement de la croute superficielle (Vlaar, 1992 ; Coulouma *et al.*, 2006 ; Schreck, 2008 ; Kambire, 2016 ; Vanhove, 2018). Le T1 (désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo) et le T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque), tout en réprimant efficacement les adventices, n'ont pas permis d'améliorer le rendement. L'absence d'effet améliorateur des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol permettant de booster le rendement en grains du maïs peut expliquer ces résultats (Benhamou, 1990 ; Boudermine, 2005 ; Schreck, 2008 ; Loreau, 2014).

De plus, ces résultats ont indiqué que le rendement le plus élevé a été obtenu dans le site Lume (8930,60 kg ha⁻¹) comparativement au site Bingo (5460,90 kg ha⁻¹). Cela pourrait être dû à la variation locale de quelques facteurs écologiques, notamment la pluviométrie et les caractéristiques édaphiques qui se sont révélées relativement plus favorables à Lume qu'à Bingo au cours de l'expérimentation. Cette différence ne pourrait être sans effet étant donné que plusieurs auteurs ont démontré qu'un bon niveau du sol en Potassium entraîne l'accroissement des composantes végétatives et du rendement en grains du maïs (Koulibaly *et al.*, 2015 ; Lele Nyami *et al.*, 2016 ; Mankoussou *et al.*, 2017).

L'analyse des données relatives à la rentabilité économique des traitements administrés a montré que le revenu agricole le plus élevé a été obtenu avec le T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz) dans les deux sites. Toutefois, le revenu agricole obtenu dans le site Lume (2241,97 \$US ha⁻¹) a été le double de celui du site Bingo (1013,21 \$US ha⁻¹). Cette situation résulterait du rendement élevé en grains du maïs obtenu avec le T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz). En effet, le prix de vente unitaire du maïs grain (0,34 \$US kg⁻¹) et le coût de production lié au T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz) (Tableau 3) sont restés égaux dans les deux sites d'essais expérimentaux.

Les résultats de la rentabilité économique des traitements testés font état des pertes de revenus de

1778,36 \$US ha⁻¹ et de 3139,11 \$US ha⁻¹ respectivement dans les sites Lume et Bingo enregistrées avec le T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque). Ces pertes seraient dues au coût de production très élevé lié aux parcelles traitées avec le T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque) comparativement avec les parcelles traitées avec les trois autres systèmes de contrôle des adventices (T0 : désherbage mécanique manuel à la houe, T1 : désherbage à l'aide de l'herbicide Auxo et T2 : désherbage par paillage avec la paille de riz) (Tableau 3). Ces résultats s'accordent avec ceux de Bilodeau et La Fraisière Bellevue (2011) qui ont indiqué que le coût très élevé lié à la plasticulture entraîne des pertes énormes dans les cultures céréalières.

En ce qui concerne particulièrement le maïs grain, Roberts (2012) a affirmé que le contrôle des adventices à l'aide du film plastique coûte 2 à 3 fois plus chères que celui utilisant la houe mécanique manuelle. Ainsi, pour rentabiliser le désherbage du maïs grain par paillage plastique, Bilodeau et La Fraisière Bellevue (2011) proposent qu'il faudrait des revenus supplémentaires provenant d'un rendement beaucoup plus élevé en maïs grain ou des réductions de certains coûts de production de l'ordre de 200 à 235 \$US par acre (52 ares). Ce qui est de l'avis de Roberts (2012) qui a estimé qu'il faut un gain supplémentaire de rendement en maïs grain de 4 t ha⁻¹ pour couvrir le surcoût de production entraîné par le prix d'achat élevé du film plastique. La perte la plus élevée enregistrée à Bingo, comparativement à Lume, avec le T3 (désherbage par paillage avec le film polyéthylène à basse densité noir opaque), serait due au plus bas rendement en grains obtenu dans ce site comparativement à celui de Lume, car le prix de vente unitaire (0,34 \$US kg⁻¹) et le coût de production lié à ce système de contrôle des adventices (Tableau 3) sont restés égaux dans les deux sites d'essais.

5. CONCLUSION

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'amélioration de la production du maïs par l'adoption d'un système de contrôle des adventices conduisant à l'augmentation de rendement et de revenu agricole des producteurs. Les résultats de l'expérimentation ont montré que le rendement moyen en grain du maïs le plus élevé a été obtenu avec le T2 (désherbage par paillage avec la paille de riz). Aussi, sur base des rendements moyens obtenus dans chacun de deux sites pour les quatre traitements administrés, le site Lume s'est avéré plus propice à la culture du maïs grain (*Z. mays* L. var. ZM 625) que le site Bingo. Sur le plan technico-économique, le T2 (désherbage par

paillage avec la paille de riz s'est illustré comme le mode de contrôle des adventices le plus efficace, car il a entraîné le revenu agricole le plus élevé.

Toutefois, une interrogation persiste sur la disponibilité de la quantité de paille de riz à appliquer sur des grandes superficies. Ainsi, des études sur quelques systèmes de culture sur couverture végétale (*Stylosanthes* sp. et *Mucuna pruriens*) avec une série d'associations de cultures pour la production de la paille et des graines sont nécessaires.

Remerciements

Cette étude a été réalisée 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). Les auteurs remercient l'Ir Ghislain Kasirikani pour sa contribution pendant la collecte des données. Ils remercient également les paysans agriculteurs de Bingo et de Lume pour leur participation active à toutes les étapes de la conduite des essais.

Références

- Afifi M. & Swanton C., 2012. Early physiological mechanisms of weed competition. *Weed Science*, 60, 542-551.
- 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 : *Végéphyt-24ème Conférence du Columa-Journées Internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 3,4 et 5 Décembre, 2019, Orléans*. Orléans (France) : Végéphyt.
- Andersson C.E.F., Everson T.M. & Everson C.S., 2013. Management of oil producing *Jatropha curcas* silvopastoral system: risk of herbivory by indigenous goats and competition with planted pastures. *Biomass Bioenergy*, 59, 50-58.
- 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.
- Barbier J., Cissao M., Tacourou B., Cissé C., Loch F. & Grand C., 2012. *Intérêts de mettre en place une filière courte basée sur la culture du *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) dans la Communauté Rurale de Dialacoto Sénégal. Document de synthèse de recherche*. <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/130282/1/20120703%20document%20synth%C3%A8se%20jatropha%20vf.pdf>, (24/04/2013).
- Baye Y. & Bouhache M., 2002. Etude de la compétition entre la morelle jaune et le maïs dans le Tadla. In: *Proceedings du 5ème Congrès de l'Association Marocaine du Marketing (AMM)*, Rabat : AAM, pp. 41-50.
- Benhamou F., 1990. Les films plastiques pour la couverture des abris serres et le paillage du sol en Algérie. In : *2ème Séminaire International de la Plasticulture, septembre, 1990, Alger*. Algérie, pp. 1-9.
- Bilodeau M. & La Fraisière Bellevue P., 2011. *Pourquoi je cultive tout mon maïs sucré sous paillis plastique ? Plan de semis, équipements, production*. Paris, BORDAS, 13 p.
- Blutot F., 1950. *Carte des régions climatiques du Congo Belge d'après les critères de Köppen*. Bruxelles : Publication de l'INEAC, 11 p.
- Boudermine, M., 2005. Effet de la bâche plate sur l'ail et la pomme de terre dans les conditions de Hauts-Plateaux en zone gélive. *Macir* 2, 3-6.
- 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.
- Caussanel J.P., 1989. Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*, 9, 219-240.
- Chauvel B., Darmency H., Munier-Jolain N. & Rodriguez A., 2018. *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. Versailles (France) : Quae, 354 p.
- 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.
- Coulouma G., Boizard H., Trotoux G., Lagacherie P. & Richard G., 2006. Effect of deep tillage for vineyard establishment on soil structure : A case study in Southern France. *Soil and Tillage Research*, 88(1-2), 132-143.
- Dogan N., Unay A., Boz O. & Albay F., 2004. Determination of optimum weed control timing in maize (*Zea mays* L.). *Tourkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28, 346-354.
- Dufumier M., 1996. *Les projets de développement agricoles, manuel d'expertise*. Paris (France), Karthala, 353 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, 1854 p.
- FAO. 2011. The lurking menace of weeds. In : *Food and Agriculture Organization of the*

United Nations.

<http://www.fao.org/news/story/0/item/29402/icode/en/>.

Gantoli G., Ayala V.R. & Gerhards R., 2013. Determination of the critical period for weed control in corn. *Weed Technology*, 27, 63-71.

Gbakatchete H., Sanogo S., Camara M., Bouet A. & Keli J.Z., 2010. Effet du paillage par des résidus de pois d'angole (*Cajanus cajan* L.) sur le rendement du riz (*Oryza sativa*) pluvial en zone forestière de côte d'ivoire. *Agronomie Africaine*, 22(2), 131-137.

Hall M.R., Swanton C.J. & Anderson G.W., 1992. The critical period of weed control in grain corn (*Zea mays* L.). *Weed Science*, 40, 441-447.

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.

Kambire F.C., 2016. *Effet combiné du travail du sol et de la gestion de la fumure organique dans l'agrosystème cotonnier au Burkina Faso*. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, 193 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.

Koulibaly B., Dakuo D., Ouattara A. et al., 2015. Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. *Tropicicultura*, 33(2), 125-134.

Kujirakwinja D., Bashonga G. & Plumtre 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.

Le Bourgeois T., Grard P., Marnotte P. & Rodenburg J., 2014. *Amélioration de la gestion de l'enherbement des rizières en Afrique par le partage de l'information et l'aide à l'identification des adventices : le potentiel de la plateforme collaborative AFROWeeds*. <http://www.africarice.org>, consulté le 12 décembre 2015.

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, 14 p.

Lele Nyami B., Kachaka Sudi C. & Lejoly J., 2016. Effet du biochar et des feuilles de *Tithonia diversifolia* combiné à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) et les propriétés d'un sol ferrallitique à Kinshasa (RDC). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 20(1), 57-67.

Likoko Bambele A., Murefu Kashuva, Likoko Abaya G. & Posho Ndola B., 2018. Effets des biomasses des légumineuses ligneuses sur la croissance et le rendement du maïs en couloirs sur un ferralsol de Yangambi, RD Congo. *J. Appl. Biosci.*, 131, 13382-13391.

Loreau A., 2014. *Diversité et effets du paillage*. Fiche de synthèse. Plantes & Cité, Paris, 13 p.

Mankoussou M., Mialoundama F. & Diamouangana J., 2017. Influence du Potassium dans la production du maïs (*Zea mays* L. variété Espoir) dans la vallée du Niari (Congo). *J. Appl. Biosci.*, 111, 10882-10893.

N'Dayegamiye A., Drapeau A. & Laverdière M.R., 2005. Effets des apports de composts de résidus ménagers sur les rendements des cultures et certaines propriétés du sol. *Agrosol*, 16(2), 135-144.

Ndengo N.E., Lema Ki-Munseki A., Hanna R. & Koto-Te-Nyiwa N., 2016. Criblage de géotypes 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.

Ouattara B., Coulibaly K., Ouedraogo S. & Nacro H.B., 2019. Effets du semis direct sous paillis (SCV) sur les rendements du maïs et du niébé et sur la productivité de l'eau de pluie en zone sud soudanaise du Burkina Faso. *J. of Appl. Biosci.*, 139, 14205-14214.

Page E.R., Cerrudo D., Westra P. et al., 2012. Why early season weed control is important in maize. *Weed Science*, 60(3), 423-430.

Roberts T., 2012. *Metabolic pathways of agrochemicals. Part 1: Herbicides and plant growth regulators*. London : Published by The Royal Society of Chemistry, 42 p.

Roose E., 2015. Potentiel du paillage pour réduire l'érosion et restaurer la productivité des sols tropicaux: une revue en Afrique francophone. In : Rosse E., Ed. *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens. Contribution à l'agroécologie*. Montpellier : Institut de Recherche pour le Développement, pp. 191-199.

Schreck E., 2008. *Influence des modes d'entretien du sol en milieu viticole sur le transfert des pesticides vers les eaux d'infiltration-Impact sur les lombriciens*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse (France), 261 p.

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.

Sinkala T. & Johnson F.X., 2012. Small-scale production of *Jatropha* in Zambia and its implications for rural development and national biofuel policies. In: *Janssen R. & Rutz D., Ed. Bioenergy for sustainable development in Africa*. Berlin (Allemagne), Springer, pp. 41-51.

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

Tate K.T., Biloso M.A., Mbumba B. *et al.*, 2020. Analyse des systèmes agroforestiers présents à Menkao en périphérie de Kinshasa. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 3(1), 40-45.

Traore H. & Maillet J., 1998. Mauvaises herbes des cultures céréalières au Burkina Faso. *Agriculture et développement*, 20, 47-59.

Vanhove P., 2018. Classification des pratiques d'agriculteurs et relation avec les caractéristiques structurales et biologiques des sols en régions limoneuse et sablo-limoneuse de Wallonie. Louvain (Belgique) : Faculté des Bioingénieurs, Université Catholique de Louvain, 2018. Prom. : Bertin, Pierre. <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:17329>.

Vlaar J.C.J. (Ed.), 1992. *Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. Rapport d'une étude effectuée dans le cadre de la collaboration entre le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou Burkina Faso, et l'Université Agronomique Wageningen (UAW), Wageningen, les Pays-Bas.*, 99 p.

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 IoI- Le Mirail, Toulouse (France), 489 p.