



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

Nyembo Kimuni Luciens¹, Useni Sikuzani Yannick*¹, Chukiyabo Kibenge Minerve², Tshomba Kalumbu John³, Ntumba Ndaye François³, Muyambo Musaya Emmanuel³, Kapalanga Kamina Prisca³, Mpundu Mubemba Michel^{1&4}, Bugeme Mugisho David¹, Baboy Longanza Louis^{1&5}

¹ Département de phytotechnie, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P 1825, Lubumbashi ;

² Département de phytotechnie, Faculté des sciences agronomiques, Université de Kalemie ;

³ Département d'Economie agricole, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P 1825, Lubumbashi ;

⁴ École d'hôtellerie et tourisme, Université de Lubumbashi, B.P 1825, Lubumbashi ;

⁵ Service d'Écologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale, École interfacultaire de bioingénieurs, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique

*Auteur correspondant : yannickuseni@gmail.com

Original submitted in on 12th February 2013 Published online at www.m.elsevier.com on 29th May 2013.

RESUME

Objectifs : Les engrais se minéralisent pendant toute la saison de végétation et la disponibilité de l'azote ne coïncide pas toujours avec le cycle de croissance des cultures. Ainsi, le fractionnement de l'azote et son application sur deux variétés améliorées de maïs, Unilu et PAN 53, a été explorée en vue de contribuer à l'augmentation de la productivité du maïs, principal produit vivrier dans la région de Lubumbashi.

Méthodologie et résultats : Un essai a été mis en place à la ferme Kasapa, pour étudier la rentabilité du fractionnement de l'urée, en considérant la dose actuellement vulgarisée par la firme Omnia (pour une densité de 33333 plantes par hectare 400kg NPK et 800 kg d'urée fractionnée en deux doses : 400 kg à 30 jours après semis et 400 kg 75 jours après semis). Différentes fréquences de fractionnement de l'urée, à savoir 2, 3, 4, 5 et l'application à la dose unique ont été testées. Les observations ont porté sur le taux de levée, le nombre de jours à la floraison mâle et femelle, la hauteur à l'inflorescence mâle et à l'insertion de l'épi, la résistance à la verse, le nombre d'épi par pied, le poids moyen de grains par épi, le poids de 1000 grains et le rendement. Les résultats de l'analyse de la variance ont montré que les paramètres agronomiques étudiés n'ont pas été influencé par les variétés et la fréquence de fractionnement de l'urée.

Conclusion et potentielle application de la recherche : Les résultats de l'indice d'acceptabilité ont montré que le fractionnement n'est pas à conseiller au regard des dépenses d'épandage et buttage qui affectent négativement la rentabilité économique de la culture de maïs. Par ailleurs, cette étude constitue un apport à la rentabilité de l'emploi des fertilisants en culture de maïs, considérant le coût élevé des travaux (dont l'épandage et le buttage) constitue un frein à l'intensification de la culture de maïs en milieu paysan.

Mots clés : fractionnement, variété, urée, Unilu, Pan 53, maïs

ABSTRACT

Economic viability of splitting nitrogen fertilizer in maize (*Zea mays* L.): case of Lubumbashi, south-eastern DR Congo

Objectives: Fertilizers mineralize throughout the growing season and the availability of nitrogen may not always coincide with the cycle of crop growth. Thus, fractionation of nitrogen and its application on two improved varieties of maize, UNILU and PAN 53, was explored in order to contribute to increased productivity of maize, the main food crop in the region of Lubumbashi.

Methods and results: A trial was set up at the farm Kasapa to study the profitability of the splitting of urea, considering the dose currently popularized by the firm Omnia (for a density of 33333 plants per hectare 400Kg NPK and 800Kg urea divided into two doses: 400kg of urea at 30 days after sowing and 400kg at 75 days). Different frequencies of urea fractionation, namely 2, 3, 4, 5 and the application to the single dose were tested. The observations related on the emergence rate, number of days to flowering male and female, the male inflorescence height and insertion of ear, the lodging resistance, number of ear by foot, the average weight of grains per spike, 1000 grain weight and yield. The results of the ANOVA showed that the agronomic parameters studied were not influenced by the varieties and frequency splitting of urea.

Conclusion and potential application of research: the results of the acceptability index showed that fractionation is not advising against the costs of spreading and mounding that negatively affect the profitability of growing corn. Furthermore, this study is a contribution to the profitability of fertilizer use in maize, considering the high cost of work (including spreading and mounding) is an obstacle to increased maize cultivation in middle peasant.

Keywords: split, variety, urea, UNILU, Pan 53, corn

INTRODUCTION

Les sols des pays d'Afrique subsaharienne ont un faible niveau de fertilité intrinsèque lié à des contraintes naturelles spécifiques à chaque zone agro-écologique. Par ailleurs, les éléments nutritifs exportés par les récoltes, dans des sols déjà pauvres, ne sont pas remplacés de manière adéquate. En générale, l'utilisation des engrais minéraux sur les cultures vivrières en milieu rural, reste insignifiante compte tenu du faible pouvoir d'achat du paysan et de leur mauvaise application. En outre, en Afrique subsaharienne, l'engrais organique sous forme de fumier ne s'utilise que dans une infime proportion inférieure à 2 %, quelque soit le type d'exploitation. La baisse de la fertilité des sols est la principale cause bio-physique de la chute continue de la production alimentaire par habitant en Afrique (Sanchez et al., 1997). L'utilisation des engrais en Afrique Subsaharienne est faible (en moyenne 9 kg/ha), reflétant de larges superficies cultivées sans engrais par rapport aux petites superficies de cultures commerciales avec des doses élevées d'engrais (Dudal, 2002). Breman et Debrah (2003) accusent plutôt la pauvreté originelle des sols qui incite peu les agriculteurs à investir

dans les pratiques culturales améliorées et qui, avec la pression démographique, est à la base de la faible performance de l'agriculture africaine. Toutefois, tous les sols africains ne sont pas pauvres à l'origine. Dans de nombreuses régions de l'Afrique subsaharienne, la sous-utilisation des engrais entraîne du fait de l'extraction non compensée des nutriments par les cultures, l'épuisement des sols avec comme conséquence la baisse de rendement et la dégradation du sol. La faible intensité d'utilisation des engrais et d'autres intrants externes dans l'ensemble des systèmes de cultures maintient les rendements moyens largement en deçà du niveau potentiel (Sanchez et al., 1997). A titre d'exemple, en République Démocratique du Congo, le rendement moyen du maïs de 0,77 t.ha⁻¹ donnée par la FAO (www.fao.org) en 2010, est de loin inférieur au potentiel de rendement de la culture obtenu dans les différents centres de recherche (6 à 8 t.ha⁻¹) (SENASA, 2008).

Or le maïs, principal produit vivrier dans la région de Lubumbashi et deuxième produit au pays après le manioc (Nyembo, 2010), est réputé comme une plante épuisante au regard des exportations des

éléments minéraux majeurs dans les grains et dans les pailles. Ainsi, une production de deux tonne de maïs grains exporte environ 60 kg d'azote et plus de la moitié de la quantité d'azote apportée se trouve dans les grains après la récolte (FAO, 2005). 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 période d'épandage. Les engrais riches en azote peuvent rapidement libérer de l'azote dans le sol, qui peut être perdu par lessivage lors des applications en début de végétation. En outre, Vagstad et al. (2001) ont démontré que les engrais se minéralisent pendant toute la saison de végétation et la disponibilité de l'azote ne coïncident pas toujours avec le cycle de croissance des cultures (Giroux et al., 2007). La période la plus critique du cycle végétatif, tant pour l'eau que pour la nutrition azotée, s'étend environ 2 semaines avant jusqu'à 3

semaines après la floraison mâle, c'est-à-dire dans les premiers stades de la croissance des grains (Ristanovic, 2001 ; Nyembo, 2010) ; ce qui montre l'intérêt du fractionnement de l'engrais azoté.

Le présent travail a été initié en vue d'évaluer l'influence de la fréquence de fractionnement de l'urée sur le rendement du maïs et la rentabilité financière. Les objectifs spécifiques poursuivis sont (i) la détermination de la fréquence de fractionnement de l'urée qui rentabilise les variétés de maïs et (ii) l'identification de la variété de maïs qui réagit mieux au fractionnement de l'urée. Dans ce travail, les hypothèses retenues sont (1) la forte mobilité de l'azote dans le sol entraînerait des pertes par lessivage et volatilisation et le fractionnement permettrait d'augmenter son efficacité agronomique ; (2) il existerait une limite dans le fractionnement des engrais azotés et que (3) les variétés d'une même espèce réagiraient différemment au même nombre de fractionnement.

MILIEU, MATERIELS ET METHODES

Site d'étude : L'expérimentation a été conduite au cours de la saison culturale 2011-2012 à la station de Recherche de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi (UNILU) au sien de sa ferme kasapa, (1243 m d'altitude, 11°39' de latitude Sud et 27°28' de longitude Est). La distribution annuelle des pluies est bimodale avec des pics en décembre et janvier. La température moyenne annuelle est d'environ 21,5°C

avec une grande stabilité interannuelle. Le taux d'humidité moyenne annuelle est de 78,5 % avec un niveau d'humidité minimum moyenne de 50,5% en saison sèche (juin – août) et un maximum de 80 % durant la saison pluvieuse (Décembre – Mai). Les données climatiques de la période expérimentale sont reprises dans la figure 1.

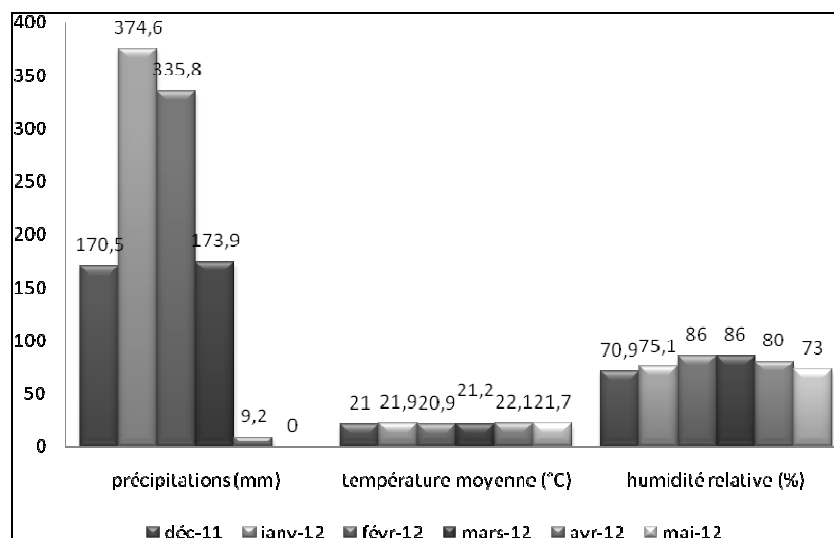


Figure 1 : Données climatiques de la période de l'essai

Il ressort de la figure ci-dessus que la quantité élevée des précipitations a été enregistrée, durant toute la période expérimentale, au mois de janvier. Par contre l'humidité relative et la température les plus élevées ont été enregistrées respectivement au mois d'avril. Les sols sont acides et appartiennent au groupe des ferralsols d'après la base référentielle mondiale de la classification des sols. Ce sont des sols ferrallitiques des saturés jaune, ocre-jaune et rouge suivant la position topographique et le drainage (Mpundu, 2010). Bien que la majorité de ces sols présentant une altération avancée à ultime et profond (ferrallitique) on y trouve cependant aussi, des sols avec une charge graveleuse en fonction de matériau

parental entre 50 et 100m dans le profil de sols dominantes. Le site a servi auparavant à la culture du maïs, fertilisée à la dose de 300 kg NPK+200kg Urée. Au début de l'étude, un échantillon composite de sol a été collecté sur toute l'étendue du champ expérimental à 0-15 cm de profondeur. Cet échantillon de sol a été analysé pour déterminer les caractéristiques suivantes : le pH, l'azote total, les bases échangeables (Ca, Mg, K) et le phosphore disponible. Ces analyses ont été effectuées au laboratoire du centre de recherche agro-alimentaire (CRAA), Lubumbashi par spectrophotométrie selon les méthodes décrites par Mulaji (2010) et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Composition chimique de l'échantillon du sol du site expérimental

Éléments	N	P ₂ O ₅		S	Ca	Mg
		Total	disponible			
Teneurs dans le sol (%)	0,224	0,0224	0,0058	1,030	0,040	0,816

Source : Centre de Recherche Agro Alimentaire (CRAA)

Sur le plan floristique, la région de Lubumbashi renferme des formations marécageuses, des forêts galeries, des savanes arbustives, des pelouses inondables des dembo : savane steppique sur sable ocre des hauts plateaux et le miombo sur les sols ferrallitiques et sur sols des hautes plaines et plateaux du cuivre. Le miombo est une forêt claire, considérée comme un pyroclimax et comportant un couvert arboré discontinu qui domine un tapis des hautes herbes (Mpundu, 2010). Les espèces végétales suivantes ont été trouvées sur le site avant la préparation du terrain : *Imperata cylindrica*, *Cynodon dactylon*, *Panicum maximum*, *Stylosanthes gayana* et *Eleusina indica*.

Matériel

Matériel biologique : Deux variétés de maïs ont été utilisées comme matériel biologique : la variété Unilu et la variété Pan 53. La variété Unilu, mise au point par la faculté des sciences agronomiques, est la plus cultivée dans la région, à côté des variétés Katanga et Babungo. Cette variété améliorée, utilisée comme témoin dans la présente étude, est plus préférée pour sa résistance aux maladies (helminthosporiose, cercosporiose et striure), ravageurs, son potentiel élevé de rendement (7 à 8,5 t.ha⁻¹ à une densité de 53333 plants ha⁻¹) et la faible taille des plantes qui les rend moins sensible à la verse. Par contre, la variété Pan 53, produite par la firme semencière Sud-africaine Pannar et en cours de diffusion de la région, a été retenue pour son rendement élevé (6 à 8 t.ha⁻¹) à une faible densité de semis (33333 plants ha⁻¹) et étant donné qu'elle produit deux épis par pied. Dans cette étude

cependant, les deux variétés ont été semées à la densité de 53333 plants ha⁻¹ (écartements de 75cm*25cm).

Engrais minéraux : Les engrais composés NPKS 10-20-10-6 et simple (urée 46%N) ont été utilisés comme fertilisants inorganiques dans cette étude. Ces engrais ont été fournis par la firme Omnia et ils sont préférés en lieu et place des engrais produits par d'autres firmes étant donné qu'ils sont de synthèse. Pour notre étude, la firme Pannar avec ses variétés dont une a été choisie pour notre étude c'est décidé d'épandre 12grammes d'NPK et 24grammes Urée étant donné que cette variété est plus productive donnant par pieds deux épis ou plus et un haut rendement en maïs grains. L'essai a été installé suivant un dispositif split plot. Les traitements, en trois répétitions, comprenaient 2 variétés de maïs (Unilu et Pan53) comme facteur principal et 5 fréquence de fractionnements comme facteur secondaire (F0= Application à dose unique de 1280 kg d'urée par hectare 30 jours après semis ; F1= 640 Kg urée 30 jours après semis+640 kg d'urée 75 jours après semis suivant les recommandations des firmes Omnia et Pannar ; F2=426,7 kg urée à 25 jours+426,7 kg à 50 jours+426,7kg à 75 jours ; F3=320 kg urée à 20 jours+320 jours à 40 jours+320 jours à 60 jours+320 jours à 80 jours ; F4=256 kg urée à 15 jours+256kg urée à 30 jours+256 kg urée à 45 jours+ 256 kg urée à 60 jours+256 kg urée à 75 jours). Les interactions de ces 2 facteurs donnent 10 traitements.

Pratiques culturales et analyse des données : Au début de la campagne d'octobre 2011, la parcelle a été

labourée à la charrue et les résidus brûlés ont été enfouis. L'engrais NPKS (10-20-10-6) a été appliqué au semis alors que l'urée a été appliquée en différentes dates selon les différentes doses fractionnées comme montre le schéma ci dessus. Le NPKS a été appliqué à la dose de 639,9 kg.ha⁻¹ (correspondant à 63,99 kg N ; 127,98 kg P₂O₅ ; 63,99 kg K₂O et 38,39 kg S par hectare) et 1279,9 kg.ha⁻¹ d'urée correspondant à 588,8 kg N.ha⁻¹. Ces doses ont été apportées suivant les recommandations des firmes Pannar et Omnia (12g de NPKS et 24 g d'urée par pied). Le maïs, de variété Unilu et Pan 53, a été semé à une densité de 53333 plantes par ha⁻¹. Deux sarclages manuels ont été effectués à 4 et 7 semaines après les semis. En début de végétation le taux de levée a été déterminé par le rapport nombre de plantes levées/nombre de graines semées *100. En cours de végétation, les nombre de jours à la floraison (mâle et femelle) ont été déterminés par la différence de nombre de jours entre la date de l'apparition des inflorescences (au moins 50% sur une parcelle) et la date de semis ; la hauteur des plantes et celle à l'insertion des épis ont été mesurées à l'aide d'un mètre ruban. A maturité, les quatre lignes de chaque traitement ont été récoltées et le rendement grain ajusté à 14% d'humidité. En revanche, le nombre d'épi par plante, le poids moyen de grains par

épi, le poids de 1000 grains, et le rendement ont été déterminés. L'analyse de variance (ANOVA) et la séparation des moyennes (test de la LSD) ont été utilisées pour déterminer les différences entre les traitements, à l'aide du logiciel Minitab 16. L'indice d'acceptabilité (IA) a été calculé pour identifier le meilleur traitement facilement adoptable par les cultivateurs. Cet indice compare la rentabilité des nouveaux traitements au traitement de référence bien connu par les paysans. C'est donc le rapport des bénéfices des deux traitements : IA= Bénéfice du traitement/Bénéfice du témoin. Ainsi, une technologie ne peut être facilement adoptée que si la valeur de l'IA est égale ou supérieure à 2. L'adoption se fait avec réticence si cette valeur est entre 1,5 et 2 ; et en dessous de 1,5 il y a rejet (Kaho et al, 2010 ; Useni et al., 2012). Pour l'évaluation des bénéfices, les charges suivantes ont été prises en considération: l'achat de l'urée, l'épandage et le buttage). Le coût de l'urée est celui observé sur le marché local (50US\$ pour un sac de 50kg urée). Le coût de la main-d'œuvre pour épandre l'urée et butter est celui observé en milieu paysan et dont le coût moyen est d'environ 100\$ (90000 Francs Congolais). Le prix moyen de la tonne de maïs dans les marchés de Lubumbashi est d'environ 400 US\$ (360000 francs congolais).

RESULTATS

Influence de la variété sur la croissance et le rendement de *Zea mays* L. : L'analyse de la variance montre que les variétés, le fractionnement ainsi que l'interaction variété*fractionnement ont induit des effets similaires sur les paramètres taux de levée et nombre de jours à l'apparition des inflorescences mâles et femelles. Ceci implique que les nombres de jours à la floraison mâle sont similaires entre la variété Unilu et Pan 53 et que le fractionnement de l'urée ne raccourcit ou n'entraîne pas un retard de floraison mâle et femelle chez le maïs (tableau 2). La hauteur moyenne à l'inflorescence mâle et à l'insertion de l'épi obtenue avec la variété Pan 53. L'analyse de la variance montre que le fractionnement ainsi que l'interaction variété*fractionnement ont induit des effets similaires (respectivement **P=0,943 et P=0,188**). Il ressort de l'analyse de la variance que la variété Pan 53 a été la plus sensible à la verse que la variété Unilu ; Ceci implique que la grande taille des plantes de la variété Pan 53 leur a rendu très sensible. Les résultats de l'analyse de la variance ont montré cependant que le fractionnement ainsi que l'interaction variété*fractionnement ont induit des effets similaires (respectivement **P=0,712 et P=0,32**).

Influence de la variété et du fractionnement de l'urée sur le rendement de *Zea mays* L. : Les moyennes des résultats obtenus sur le nombre d'épi, le poids moyen de grains d'épi, le poids de 1000 grains et le rendement en maïs grain sont reprises dans le tableau 3. Pour les paramètres nombre d'épi par pied, des différences non significatives ont été signalées après l'analyse de la variance entre les variétés, les fréquences de fractionnement et leurs interactions. Il ressort de l'analyse de la variance que le poids moyen de 1000 grains obtenu avec la variété Pan 53 a été supérieur à celui obtenu avec la variété Unilu. Ceci implique que, pour une même superficie, il faudra utiliser une grande quantité de semence de la variété Pan 53 que de la variété Unilu. Le fractionnement ainsi que l'interaction variété*fractionnement ont induit des effets similaires (respectivement **P=0,642 et P=0,353**). Il ressort de l'analyse de la variance que le rendement moyen obtenu avec la variété Pan 53 (8,94 tonnes par hectare) a été supérieure par rapport à celle obtenue avec la variété Unilu (7,67 tonnes par hectare). Toutefois, de différences non significatives ont été obtenues entre les moyennes des fréquences de fractionnement et les interactions fractionnement*variétés.

Tableau 2 : Influence de la fréquence de fractionnement sur la croissance de *Zea mays* L. (variétés Unilu et Pan 53)

Variétés	FA	TL	JFM	JFF	HIM	HIE	RV
Unilu	F0	100±0,00	68,7±0,58	77,7±0,58	211,7±2,3	96,2±5,1	82,6±4,8
	F1	95,8±7,2	68±0,00	77,7±0,57	190,7±13,1	84,9±12,6	80,6±9,9
	F2	100±0,00	68,7±0,58	77±0,00	200,3±5,0	92,2±5,4	79,2±9,0
	F3	96,7±5,8	68±0,00	78±0,00	206,3±9,1	99,6±4,9	84,0±9,9
	F4	96,7±5,8	68,7±0,58	77,7±0,58	214,3±5,1	101,7±3,1	88,9±5,3
Moyenne Unilu		97,8±4,5a	68,4±0,5a	77,6±0,5a	204,7±11,0b	94,9±8,6b	83,1±7,7a
PAN 53	F0	99,3±1,2	68,3±0,58	77,7±0,58	217,3±8,3	100,5±3,6	82,7±9,6
	F1	98,6±2,42	68±0,00	77±0,00	222,3±15,1	106,2±9,4	82,7±6,0
	F2	96,7±5,8	68,3±0,58	77±0,00	224,7±20,5	104,8±11,3	80,5±4,8
	F3	95,8±7,2	68±0,00	77,3±0,58	219,3±17,0	100±7,15	66,7±5,5
	F4	100±0,0	68,7±0,58	77,7±0,58	212,3±25,8	98,7±17,9	64,6±13,7
Moyenne Pan 53		98,0±3,9a	68,3±0,4a	77,5±0,5a	219,2±16,1a	102,0±9,7a	75,4±11,1b
<i>Moyenne fréquence de fractionnement des engrais azotés</i>	F0	99,7±0,9a	68,0±0,0a	77,7±0,8a	214,5±6,3a	98,4±4,6a	82,7±6,8a
	F1	97,2±5,1a	68,0±0,0a	77,3±0,5a	206,5±21,5a	95,6±15,3a	80,6±7,4a
	F2	98,3±4,1a	68,5±0,6a	77,7±0,0a	212,5±18,9a	98,5±10,5a	79,9±6,5a
	F3	96,3±5,9a	68,0±0,0a	77,7±0,5a	212,8±14,1a	99,8±5,5a	75,4±11,9a
	F4	98,3±4,1a	68,7±0,5a	77,7±0,1a	213,3±16,7a	100,2±11,6a	76,8±16,1a
P Effet variété		0,875	0,456	0,153	0,007	0,042	0,037
P Effet fractionnement Urée		0,716	0,25	0,068	0,924	0,943	0,712
P interaction		0,704	0,906	0,431	0,268	0,188	0,32

Légende: F0 : Application à dose unique de 1280 kg d'urée par hectare 30 jours après semis ; F1 : 640 Kg urée 30 jours après semis+640 kg d'urée 70 jours après semis ; F2 : 426,7 kg urée à 25 jours+426,7 kg à 50 jours+426,7kg à 75 jours ; F3 : 320 kg urée à 20 jours+320 jours à 40 jours+320 jours à 60 jours+320 jours à 80 jours ; F4 : 256 kg urée à 15 jours+256kg urée à 30 jours+256 kg urée à 45 jours+ 256 kg urée à 60 jours+256 kg urée à 75 jours.

Moyennes ± écart-type. Les différentes lettres à coté des moyennes indiquent de différence significative après le test de LSD (P=0,05). TL : taux de levée, JFM : jours à la floraison mâle, JFF : jours à la floraison femelle, HIM : Hauteur à l'inflorescence de l'épi, HIE : hauteur à l'insertion des épis, RV : résistance à la verse.

Tableau 3 : Influence de la fréquence de fractionnement sur le rendement de *Zea mays* L. (variétés Unilu et Pan 53).

Variétés	FA	Nep	Pmge	Pmg	Rdt
Unilu	F0	1,07±0,06	247±0,02	456,01±35,9	7,98±0,51
	F1	1,07±0,12	237±0,02	468,81±32,9	7,29±0,73
	F2	1,08±0,13	244±0,02	460,97±26	7,49±0,51
	F3	1,07±0,05	247±0,03	453,5±27,13	7,69±0,34
	F4	1,09±0,06	234±0,01	471,6±25,98	7,98±0,79
Moyenne Unilu		1,07±0,08a	244,3±0,02b	463,38±26,8b	7,67±0,58b
PAN 53	F0	1,07±0,06	290±0,02	511,29±35,12	8,71±1,4
	F1	1,09±0,09	277±0,01	476,97±5,8	10,06±0,88
	F2	1,1±0,09	297±0,008	516,8±8,29	8,727±1,2
	F3	1,2±0,12	281±0,03	472,3±13,17	8,293±1,56
	F4	1,1±0,06	275±0,04	487,05±38,56	8,89±1,46
Moyenne Pan 53		1,13±0,09a	281±0,02a	492,88±27,8a	8,94±1,3a
<i>Moyenne fréquence de fractionnement des engrais azotés</i>	F0	1,07±0,05a	301±0,03a	483,7±43,9a	8,4±1,0a
	F1	1,08±0,09a	260±0,03a	472,9±21,6a	8,7±1,7a
	F2	1,09±0,1a	270±0,03a	488,9±35,1a	8,1±1,1a
	F3	1,15±0,1a	261±0,03a	462,9±21,7a	7,9±1,1a
	F4	1,1±0,06a	301±0,03a	482,3±29,9a	8,4±1,2a
P Effet variété		0,105	0,0001	0,006	0,002
P Effet fractionnement Urée		0,493	0,866	0,642	0,878
P interaction		0,554	0,957	0,353	0,386

Légende: F0 : Application à dose unique de 1280 kg d'urée par hectare 30 jours après semis ; F1 : 640 Kg urée 30 jours après semis+640 kg d'urée 70 jours après semis ; F2 : 426,7 kg urée à 25 jours+426,7 kg à 50 jours+426,7kg à 75 jours ; F3 : 320 kg urée à 20 jours+320 jours à 40 jours+320 jours à 60 jours+320 jours à 80 jours ; F4 : 256 kg urée à 15 jours+256kg urée à 30 jours+256 kg urée à 45 jours+ 256 kg urée à 60 jours+256 kg urée à 75 jours.

Moyennes ± écart-type. Les différentes lettres à côté des moyennes indiquent de différence significative après le test de LSD (P=0,05). Nep : nombre d'épi par pied, Pmge : Poids moyen de grains par épi (g), Pmg : poids de 1000 grains (g), Rdt : rendement en maïs grain (tonnes par hectare)

Tableau 4 : Analyse économique du fractionnement de l'urée sur la culture de *Zea mays L*

variétés	Fractionnement	Prix achat Urée/ha ⁻¹ et transport (US\$)	Coût épandage et buttage (US \$)	Coût total (US \$)	Rendement t/ha ¹	Revenu bruts (US \$)	Revenu brut (US \$)	IA
Unilu	F0	1330	100	1430	8	3192	1762	-
	F1	1330	200	1530	7,3	2916	1386	0,78
	F2	1330	300	1630	7,5	2996	1366	0,77
	F3	1330	400	1730	7,7	3076	1346	0,76
	F4	1330	500	1830	8	3192	1362	0,77
Pan53	F0	1330	100	1430	8,7	3484	2054	-
	F1	1330	200	1530	10,1	4024	2494	1,21
	F2	1330	300	1630	8,7	3490,8	1860,8	0,91
	F3	1330	400	1730	8,3	3317,2	1587,2	0,77
	F4	1330	500	1830	8,9	3556	1726	0,84
<i>Moyenne fréquence de fractionnement des engrais azotés</i>	F0	1330	100	1430	8,4	3360	1930	-
	F1	1330	200	1530	8,7	3480	1950	1,01
	F2	1330	300	1630	8,1	3240	1610	0,83
	F3	1330	400	1730	7,9	3160	1430	0,74
	F4	1330	500	1830	8,4	3360	1530	0,79

Légende: F0 : Application à dose unique de 1280 kg d'urée par hectare 30 jours après semis ; F1 : 640 Kg urée 30 jours après semis+640 kg d'urée 70 jours après semis ; F2 : 426,7 kg urée à 25 jours+426,7 kg à 50 jours+426,7kg à 75 jours ; F3 : 320 kg urée à 20 jours+320 jours à 40 jours+320 jours à 60 jours+320 jours à 80 jours ; F4 : 256 kg urée à 15 jours+256kg urée à 30 jours+256 kg urée à 45 jours+ 256 kg urée à 60 jours+256 kg urée à 75 jours

Influence du fractionnement sur la rentabilité économique de la culture de maïs : Les résultats sur l'indice d'acceptabilité sont présentés dans le tableau 4. Il ressort de l'analyse du tableau ci-dessus que le

DISCUSSION

Le taux moyen de levée obtenu avec les deux variétés étaient similaires. L'influence du génotype a été à ce stade masquée par celui de l'environnement. Néanmoins, les taux moyens de levée obtenus avec les deux variétés sont bons. Les différentes fréquences de fractionnement de l'urée mais aussi, les interactions V x F ont induit les effets similaires sur le taux moyen de levée. Autrement dit, les parcelles qui avec fractionnement de l'urée ont montré les mêmes résultats que les parcelles avec urée appliquée à la dose unique. A ce stade (à 10 jours), les éléments nutritifs ne seraient pas disponibles à la culture et par conséquent, les plantes installées sur sols avec engrais organiques, se comporteraient de la même manière que celles non fertilisées. En outre, le fractionnement de l'urée a débuté à 15 jours après semis. Les nombres moyens de jours à la floraison mâle et femelle ont été similaires. Les valeurs obtenues pour le présent essai se situent dans la gamme proposée par SENASEM (2008), 60 à 70 jours. Les effets du fractionnement de l'urée seraient masqués par l'influence du patrimoine génétique. Pour les paramètres hauteur à la floraison mâle et hauteur à l'insertion des épis, la faible hauteur a été observée sur les plantes de maïs de la variété Unilu que sur celles de la variété Pan 53. Cette variété serait à souhaiter surtout dans les régions où le vent peut causer la verse que la variété Pan 53, qui par sa taille, présente de fort risque à la verse, surtout si le buttage n'a pas été réalisé. Il semble que ces deux facteurs (hauteur à la floraison mâle et hauteur à l'insertion des épis) soient liés au génotype. Même si les effets du fractionnement de l'urée ont été masqués par l'influence du patrimoine génétique, il apparaît du tableau 3.1. que la taille des plantes de maïs est directement proportionnelle à la fréquence du fractionnement. Cette situation s'expliquerait par la disponibilité de l'azote suite au fractionnement. Toutefois, comme l'ont montré différents auteurs, l'azote est l'élément le plus important pour la vie de la plante. Extrait de l'air par quelques plantes ou du sol, il en est le moteur et sert à construire toutes les parties vertes qui assurent la croissance et la vie des plantes (Thuriès et al., 2000 ; Lafond, 2004 ; Galla Bi Trezi et al, 2011). Bigeriego et al. (1979) ont trouvé que l'application d'engrais N au semis a causé une production plus abondante de la biomasse du maïs mais que l'application en bande en post-levée durant l'été a

fractionnement de l'engrais azoté est une pratique à déconseiller étant donné que l'indice d'acceptabilité obtenu avec les différentes fréquences de fractionnement se trouve dans la catégorie des technologies à rejeter.

augmenté légèrement la production des grains. L'application tardive de N a causé une accumulation plus élevée d'azote dans les grains que l'application plus hâtive au semis, surtout à faible dose de N (Russelle et al. 1981).

Les plantes de la variété Unilu ont été plus résistantes que celles de la variété Pan 53. Il apparaît ici que la variété Pan 53 qui a montré une taille élevée, a été moins résistante à la verse. Pour le fractionnement de l'urée, même si les résultats de l'analyse de la variance ont montré de différence non significative, il a été observé dans le tableau 2 que l'augmentation de la fréquence de fractionnement accroît la sensibilité des plantes à la verse. La grande taille de plantes de maïs issues de parcelles à grande fréquence de fractionnement aurait rendu les plantes très sensibles à la verse. En outre, Useni et al (2012) ont montré que plus la hauteur de la plante est élevée, plus elle sera sensible à la verse et des apports d'azote élevés peuvent aussi provoquer la verse de la plante.

Le rendement moyen obtenu avec la variété Pan 53 (8,94 tonnes par hectare) est supérieure à celui obtenu avec la variété Katanga (7,67 tonnes par hectare). Ce résultat serait lié à la génétique de la plante. Les rendements obtenus pour le présent essai se situent dans la gamme proposée par SENASEM (2008), soit 6 à 8 tonnes par hectare en station. Le rendement moyen en maïs grain a augmenté en fonction de la fréquence de fractionnement de l'urée. Toutefois, le fractionnement de l'urée au de là de deux doses n'entraîne plus une augmentation du rendement. Et dans les conditions de la présente recherche, c'est le fractionnement de l'urée en deux doses qui a donné le rendement le plus élevé (8,7 tonnes par hectare). Selon les études, l'effet de la fertilisation azotée sur la productivité des cultures sont très variables. Gubbels (1978) n'a pas obtenu de variation de rendement avec différentes doses et fréquences de fertilisations azotées. Toutefois, des apports d'azote élevés peuvent aussi provoquer la verse de la plante et ainsi réduire les rendements en grains (Freer et Sansome, 1991; Hocking et al., 1997; Grant et al., 1999). C'est cette situation qui justifie la baisse de rendement observée sur les traitements F2, F3 et F4 par rapport au traitement F1. La fertilisation azotée a eu peu d'effet sur le poids de 1000 grains. Gubbels (1978) n'a pas observé d'effet significatif

de la fertilisation azotée sur le rendement en grains. Cependant, Nuttall et Malhi (1991), Turner (1991) et Diepenbrock et al. (1995) ont obtenu des rendements en grains plus élevés avec une augmentation de la dose de la fertilisation azotée que de la fréquence de fractionnement. Freer et Sansome (1991) ont indiqué qu'une application de 80 kg N ha⁻¹ a généralement été adéquate pour la culture du lin oléagineux mais que des apports fractionnés des fortes doses d'azote ont permis d'augmenter le rendement en grains dans certains cas seulement. Lafond (1993) a mentionné que l'effet de la fertilisation azotée n'est pas toujours stable mais qu'une augmentation de l'azote peut accroître les rendements en grains du lin oléagineux. Grant et al. (1999) qui ont obtenu des augmentations de rendements suite à l'application d'engrais azotés ont indiqué également que l'application d'azote entraînait plutôt une réduction des rendements en grains lorsque la verse était présente. Les engrais azotés assurent de hauts rendements et une bonne qualité du maïs-grain et du maïs-fourrage. Toutefois, ces engrais peuvent avoir des impacts négatifs sur l'environnement si leur utilisation n'est pas optimisée (Isfan, et al. 1995; Tran, 1995). Il est donc important de mesurer leur efficacité selon différentes pratiques culturales et dans les conditions pédoclimatiques représentatives. Les modes d'apport et les doses d'azote sont parmi les facteurs importants qui peuvent affecter l'efficacité et l'utilisation des engrais azotés appliqués sur la culture du maïs. D'autres modes d'application en postlevée sont recommandés ailleurs pour le maïs-grain afin de mieux synchroniser la minéralisation avec la croissance du maïs et d'éviter les pertes d'azote au début de la saison de végétation (Miller et al., 1975). Selon ces études, l'application d'azote en bande en post-levée sur les cultures en rangées était habituellement supérieure à

l'apport à la volée avant le semis. Dans le cas de sols sablonneux et sous irrigation, où le potentiel de perte d'azote par lessivage est élevé, l'application d'azote a aussi donné plus de rendement en grains en postlevée qu'avant semis (Maddux et al., 1984). Par ailleurs, dans une étude sur le maïs-fourrage, Zizka et Isfan (1990) ont trouvé que l'effet de différents modes d'apport d'engrais azoté sur la production de cette culture n'était pas significatif. Chen et MacKenzie (1993) ont constaté que l'efficacité de deux modes d'apport de l'urée fractionné appliquée à la volée ou en bande sur le maïs-grain dépendait de la distribution des précipitations et des conditions d'humidité du sol au moment de l'application. Bigeriego et al. (1979) ont trouvé que l'application d'engrais N au semis a causé une production plus abondante de la biomasse du maïs mais que l'application en bande en post-levée durant l'été a augmenté légèrement la production des grains ; ce qui justifie la diminution de rendement observé lorsque l'urée est appliquée avant 30 jours après le semis. L'application tardive de N a causé une accumulation plus élevée d'azote dans les grains que l'application plus hâtive au semis, surtout à faible dose de N (Russelle et al. 1981). Par ailleurs, une application trop tardive d'engrais (après la floraison) peut diminuer le rendement ; c'est cette situation qui a été observé sur le traitement F4. En résumé, les résultats de cette étude démontrent l'avantage de l'apport de l'urée à la dose unique quant à l'efficacité d'utilisation de l'engrais azoté et à l'indice d'acceptabilité. Le fractionnement de l'azote en deux doses constitue un moyen efficace de répartir la disponibilité de l'engrais azoté en fonction du développement physiologique du maïs. Toutefois, le coût élevé de l'épandage et du buttage rendent cette pratique incompatible au revenu des paysans.

CONCLUSION

Les résultats obtenus ont montré que le rendement moyen obtenu avec la variété Pan 53 (8,94 t.ha⁻¹) est supérieure par rapport à celui obtenu avec la variété Unilu (7,67 t.ha⁻¹). En revanche, seule le fractionnement de l'urée en deux doses permet une meilleure disponibilité de l'azote, par conséquent une augmentation de rendement. Toutefois, les résultats de l'analyse économique des données (indice

d'acceptabilité) montrent que le fractionnement est une technologie à rejeter au regard des dépenses qu'il entraîne pour l'épandage de l'urée et le buttage. Par ailleurs, cette étude constitue un apport à la fertilisation raisonnée en culture de maïs, dans un contexte où le coût élevé des opérations agricoles (dont l'épandage et le buttage) constitue un frein à l'intensification de la culture de maïs en milieu paysan.

REMERCIEMENTS : Les auteurs remercient les sociétés Omnia et Pannar, les autorités académiques de la faculté

des sciences agronomiques Unilu pour leur appui matériel.

BIBLIOGRAPHIE

- Bigeriego, M., Hauck, R. D. et Olson, A. 1979. Uptake, translocation and utilization of ^{15}N -depleted fertilizer in irrigated corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **43**: 528–533.
- Breman, H., 1997. Amélioration de la fertilité des sols en Afrique de l'Ouest : Contraintes et perspectives, In : Soil Fertility Management in West African Land Use Systems, pp. 7-20, Renard et al. (eds.), Proceedings, Niamey, Niger.
- Chen, J. S. et Mackenzie, A. F. 1993. Effects of rates and placement methods of urea and potassium chloride on soil nitrogen and potassium and corn dry matter yield. *Can. J. Soil Sci.* **73**: 147–155.
- Diepenbrock, W. A., Léon, J. et Clasen, K. 1995. Yielding ability and yield stability of linseed in Central Europe. *Agron. J.* **87**: 84–88.
- Dudal R., 2002. Forty years of soil fertility work in Sub-Saharan Africa. In: Vanlauwe B., J. Diels, N. Sanginga & R. Merckx (Eds.), *Integrated Plant Nutrient Management in Sub-Saharan Africa. CAB International 2002*.
- FAO, 2005. Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols, Manuel de formation, Projet Intrants, Niger 25p
- Freer, J. B. S. et Sansome, G. 1991. The influence of plant population and nitrogen fertility on the seed yield and quality of linseed. *Asp. Appl. Biol.* **28**: 49–53.
- Galla Bi T.J. Camara M., Yao Kouame A., Keli ZJ., 2011. Rentabilité des engrais minéraux en riziculture de plateau : cas de la zone de Gagnoa dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of applied bioscience* **46** : 3153-3162
- Giroux M., N'Dayegamiye A., Royer R., 2007. Effet des apports d'automne et de printemps de fumiers et de boues mixtes de papetières sur le rendement, la qualité de la pomme de terre et l'efficacité de l'azote. *Agrosolutions* **18** (1): 25-34
- Grant, C. A., Dribnenki, J. C. P. et Bailey, L. D. 1999. A comparison of the yield response of solin (cv. Linola 947) and flax (cvs. McGregor and Vimy) to application of nitrogen, phosphorus, and Provide (*Penicillium bilaji*). *Can. J. Plant Sci.* **79**: 527–533.
- Gubbels, G. H. 1978. Interaction of cultivar and seeding rate on various agronomic characteristics of flax. *Can. J. Plant Sci.* **58**: 303–309.
- Hocking, P. J., Kirkegaard, J. A., Angus, J. F., Gibson, A. H. et Koetz, E. A. 1997. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. I. Effects of nitrogen fertilizer on dry-matter production, seed yield and seed quality. *Field Crops Res.* **49**: 107–125.
- Isfan, I., Zizka, J. D'Avignon, A. et Deschênes, M. 1995. Relationship between nitrogen rate, plant nitrogen concentration, yield and residual soil nitrate-nitrogen in silage corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **26**: 2531–2557.
- Kaho F, Yemefack M, Feujio-Tegwefouet P, Tchanchaouang 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. *Tropicicultura*, **29** (1) : 39-45
- Lafond, J. 2004. Fractionnement de la fertilisation azotée minérale et organique : Effet sur la productivité du canola de printemps et sur les nitrates du sol. *Can. J. Soil Sci.* **84**: 491–501.
- Maddux, L. D., Kissel, D. E. et Barnes, P. L. 1984. Effects of nitrogen source, placement and application time on irrigated corn. *J. Fert. Issues.* **1**: 86–90.
- Miller, H. F., Kavanaugh, J. et Thomas, G. W. 1975. Time of N application and yields of corn in wet, alluvial soils. *Agron. J.* **67**: 401–404.
- Mpundu M.M., 2010. Contaminations des sols en Eléments Traces Métalliques à Lubumbashi (Katanga/RDCongo). Evaluation des risques de contamination de la chaîne alimentaire et choix de solutions de remédiation. Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, université de Lubumbashi, 410p
- Mulaji K.C., 2010. Utilisation des composts de biodechets menagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat, université de Liège- Gembloux Agro-Biotech, 220p.
- Nuttall, W. F. et Malhi, S. S. 1991. The effect of time and rate of N application on the yield and N uptake of wheat, barley, flax and four cultivars of rapeseed. *Can. J. Soil Sci.* **71**: 227–238.
- Nyembo K.L., 2010. Exploitation de l'effet hétérosis des hybrides produits au Katanga, République Démocratique du Congo ». Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi, 157p
- Ristanovic D., 2001. Le maïs. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International

- Coöperation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Coöperation, Brussels, Belgium. pp. 23–45
- Sanchez PA, Shepherd KD, Soule MJ, Place FM, Mokwunye AU, Buresh RJ, Kwesiga F.R., Izac A.N., Ndiritu C.G., Woomer P.L, 1997. Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital *in*: Buresh RJ and Sanchez PA, 1997, *Replenishing soil fertility in Africa*. Madison, USA, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, SSSA Special Publication 43-121p
- SENASEM, 2008. Politique nationale du développement du sous-secteur de semences. Appui au projet ASS, Minagri, Kinshasa 56p
- Thyries L., Arrufat A., Dubois. M, Fellrt.C, Herrmann. P, Larré-Larrouy M.C., Martin C., Pansu M., Remy J.C., Viel M., 2000. Influence d'une fertilisation organique et de Solarisation sur la productivité maraîchère et les propriétés d'un sol sableux sous abri. *Étude et gestion des sols*, 7 (1) : 73-88
- Tran, T. Sen. 1995. Efficacité et devenir de l'engrais azoté marqué (15N) appliqué sur la culture du maïs (*Zea mays* L.). Thèse de doctorat. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, PQ. 162 pp.
- Turner, J. A. 1991. Linseed plant populations relative to cultivar and fertility. *Asp. Appl. Biol.* **28**: 41–48.
- Useni S.Y., Baboy L.L., Nyembo K.L., Mpundu M.M., 2012. Effets des apports combinés de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur le rendement de trois variétés de *Zea mays* L. cultivées dans la région de Lubumbashi. *Journal of Applied Biosciences* **54**: 3935– 3943
- Vagstad N., Broch-Due A., Lyngstad I., 2001. Direct and residual effects of pulp and paper mill sludge on crop yield and soil mineral. *Soil use and management* **17**:173-178
- www.fao.org consulté le 25 mai 2012
- Zizka, J. et Isfan, D. 1990. Effet des sources, des méthodes d'application et du fractionnement de l'azote chez le maïs fourrager. *Naturaliste Can.* **117**: 183–188.
- www.fao.org consulté le 10 juin 2012