

## **Le choix des paquets technologiques des fertilisants organiques et minéraux pour rentabiliser la culture du maïs au Sud-Kivu: Un état de lieu de la recherche dans les territoires de Kalehe et plaine de la Ruzizi en RDC**

### **[ The choice of technology package of chemical and organic fertilizers to improve maize yields and economic returns in South Kivu region: A research carried in Ruzizi plain and Kalehe territories of South Kivu, DRC ]**

**Rodrigue BAHATI<sup>1</sup>, Walangululu MASAMBA<sup>2</sup>, and Grant BULANGASHANE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departement de Sciences économiques, Option Economie rurale, Université Catholique de Bukavu, Ville de Bukavu, RD Congo

<sup>2</sup>Departement de Sciences Agronomiques, Université Catholique de Bukavu, Ville de Bukavu, RD Congo

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The main purpose of this paper was to analyze recommendable technology package combining mineral and organic fertilizer that lead to agronomic and economic efficiency at farmer level. The test on six demonstration plots led to the conclusion that the treatment combining (15Kg N+15Kg P+10Kg K + 10Metric Tons of organic matter ) is efficient in Kalehe territory and Ruzizi plain because gives higher yields in terms of maize production with an average 5.3 MT of maize in Kalehe territory and 3.3MT in Ruzizi plain. Difference in yields for the two zones is mainly explained by the difference of potentials of soil productivity and production costs. Treatment combining (15Kg N+15KgP+10Kg K + 10MT Om) is the most productive in terms of additional yields that increases between 50 and 70% for Kalehe and between 15 and 36% in Ruzizi plain. On the economic aspect profitability of the same treatment (15Kg N+15KgP+10Kg K + 10 MT Om) is the highest in both zones Kalehe and Ruzizi plain. Average gross additional income attributable to the treatment combining the fertilizer package here above mentioned is 3,285\$ per season and per hectare in Kalehe while the gross income attributable is 1,684\$ in Ruzizi plain zones. Treatment (90KgN+30kgP+15kg K + 10MT om) is economically the most profitable in Ruzizi plain with 1,735 \$/ha/harvest season. Estimated rate of financial return of treatment (15Kg N+15KgP+10Kg K + 10 MT Om) is 1.4 in Biriba, 2.8 in Kalehe-centre and 3.8 in Muhongoza. For treatment (90Kg N+30KgP+15KgK + 10MT of Om) the rate of financial return is 2 in Kiliba and 0.75 in Runingu for treatment (45KgN+15KgP+10Kg K + 10 MT of Om). It comes to the conclusion that technology package combining organic and mineral fertilizers increases significantly agronomic and economic efficiency. For farmers to increase yields and generate higher income these technology package are highly recommendable indeed.

**KEYWORDS:** Economic efficiency, agronomic efficiency, yield, fertilizers, production.

**RESUME:** L'objectif principal de cet article était de déterminer quel est le paquet technologique d'engrais chimiques et organiques qui répond à l'efficacité agronomique et économique au niveau des fermiers. Les essais de démonstration sur 6 parcelles dans les territoire de Kalehe et dans la plaine de la Ruzizi dans le Sud-Kivu, en RD Congo ont abouti aux conclusions selon lesquelles : le paquet technologique composé de (15Kg N+15KgP+10Kg K+10 tonnes de matières organiques) sur ha est le plus efficace sur le plan agronomique et économique dans les deux axes d'étude où ce paquet donne plus des rendements additionnels avec une moyenne de 5,3 tonne de maïs à l'ha dans le territoire de Kalehe et de 3,3ha dans la plaine de la Ruzizi. La différence des rendements est expliquée par la différence des dotations en potentiels naturels de nutriments des sols. Ce

paquet technologique accroît entre 50 et 70% le niveau de rendements du maïs dans le territoire de Kalehe et entre 15 et 36% dans la plaine de la Ruzizi. Sur le plan économique, ce même traitement présente une rentabilité financière plus élevée et contribue significativement aux revenus additionnels des ménages agricoles avec un revenu brut additionnel de 3,285\$ à Kalehe et 1685\$ dans la plaine de la Ruzizi. Le paquet technologique composé de (90Kg N+30KgP+15KgK + 10 tonnes mo) est économiquement plus rentable dans la plaine de la Ruzizi avec un ratio de rentabilité de 1,735\$/ha et par saison. Par contre à Kalehe le paquet (15KgN+15KgP+10KgK + 10 t mo) est plus rentable à Kalehe avec un ratio de rentabilité de 3,8 à Muhongoza et 2,8 à Kalehe centre. A Kiliba et Runingu dans la plaine de la Ruzizi seul le paquet technologique (45KgN+15KgP+10Kg K + 10t mo) présente un taux de rentabilité égal à 2 et 0,75 respectivement dans les deux sites. Il revient à conclure que pour augmenter les rendements et atteindre l'efficacité sur le plan agronomique et économique, il est fortement recommandable aux ménages agricoles d'utiliser les paquets technologiques combinant les engrais minéraux et organiques dans le contexte de Kalehe et la plaine de la Ruzizi.

**MOTS-CLEFS:** Efficacité économique, efficacité agronomique, rendement, fertilisants, production.

## 1 INTRODUCTION

La revue de la littérature des nombreuses études menées sur la problématique de la baisse des rendements agricoles au Sud-Kivu soulignent en plus de la dégradation continue des sols l'importance de la faible vulgarisation et application des bonnes pratiques agricoles pour remédier à ce défi.

Aujourd'hui, le faible niveau de rendements agricoles constitue un défi majeur auquel sont confrontés les agriculteurs du Sud-Kivu pour qui, les activités agricoles constituent la principale source de revenu et de survie des ménages. Selon les résultats des enquêtes 1-2-3, analysés par Bahati (2009), 82% de la population du Sud-Kivu vivent en dessous du seuil de pauvreté alimentaire<sup>1</sup> avec pour causes majeures la baisse des rendements agricoles et la faiblesse des revenus des ménages.

Les résultats d'une étude socioéconomique menée en 2011 par le projet VLIR ont démontré que 74% de producteurs des cultures vivrières ont un faible niveau de connaissance sur l'application des bonnes pratiques agricoles et une faible proportion, environ 12% utilisent des microdoses d'engrais pour la fertilisation de leurs parcelles.

Le faible niveau d'application des engrais minéraux et organiques est un facteur déterminant de la baisse des rendements agricoles et plus particulièrement de l'accroissement des importations des produits alimentaires de première nécessité comme le maïs, la céréale la plus cultivée et la plus consommée dans la ville de Bukavu et autres provinces de la RDC.

Bien que le maïs représente la céréale la plus cultivée au Sud-Kivu, les rendements obtenus par les paysans demeurent faibles, avec une moyenne nationale qui varie entre 0,8 à 1 tonne par hectare. Cette situation serait principalement due à la faible utilisation des variétés améliorées, et à la faible fertilité des sols acides caractéristiques de la région (SANGINGA et al., 2001). Par ailleurs, les agriculteurs font face à une dégradation accélérée des sols qui entraîne une chute continue de leur fertilité. Cette situation est exacerbée par la sous-utilisation des engrais minéraux, due au faible revenu des agriculteurs (IFDC-Catalist, 2010).

La dégradation accélérée des sols de la région, due principalement à l'érosion hydrique des sols et la non restitution des éléments nutritifs exportés lors de la récolte, constitue une des causes principales qui font que les engrais minéraux, une fois appliqués, ne sont pas utilisés d'une manière efficace par les cultures (MUKENGERE, 2010). Ceci s'explique en partie par la faible capacité de ces sols à retenir les éléments nutritifs et l'eau du sol et à les rendre disponibles pour la culture au moment opportun. Des essais diagnostics et stratégiques réalisés dans la région, notamment à Kalehe et dans la plaine de la Ruzizi, prouvent à suffisance que l'application de fortes doses de fertilisants n'implique pas toujours une meilleure utilisation par les plantes, les rendements obtenus par ces fortes doses n'étant pas aussi différents de ceux obtenus par l'utilisation de doses faibles et moyennes.

---

<sup>1</sup> Selon Ravallion et Bidani, 1996, ce seuil détermine un niveau de revenu moyen permettant à un individu d'acquiescer au prix du marché, les aliments qui respectent ses habitudes de consommation par jour et qui assurent un régime alimentaire minimal équilibré. Un seuil de 1\$ fixé par la banque mondiale a été une référence dans l'analyse.

De ce fait, l'une des pistes de solution en vue d'accroître l'efficacité agronomique des fertilisants minéraux et par la même occasion, améliorer la rentabilité de leur utilisation serait de mettre en place un paquet technologique comprenant à la fois l'utilisation de la matière organique, l'application des micro-doses de fertilisants minéraux ainsi que le fractionnement de leurs apports (PYPERS et al., cités par MUKENGERE, 2010).

Le présent article est présenté dans le but de déterminer l'efficacité tant agronomique qu'économique de différentes doses de fertilisants minéraux en culture du maïs dans le territoire de Kalehe et dans la Plaine de la Ruzizi.

D'une manière plus spécifique, il a été question de tester l'hypothèse selon laquelle l'efficacité tant agronomique qu'économique des fertilisants pourrait être améliorée d'une manière significative par l'utilisation de la matière organique couplée au fractionnement des apports minéraux. L'essentiel de l'étude a donc été de :

- A. déterminer l'efficacité agronomique des différentes doses d'engrais NPK en culture du maïs dans les deux sites;
- B. subséquemment, déterminer leur efficacité économique;
- C. enfin, trouver la meilleure combinaison de doses d'engrais NPK considérée comme optimale en termes de dépenses d'engrais et de volume de production.

## 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LES NOTIONS D'EFFICACITÉ AGRONOMIQUE ET ÉCONOMIQUE

### 2.1 NOTION D'EFFICACITÉ DES ENGRAIS

L'efficacité agronomique des fertilisants est définie comme étant le rapport entre le rendement supplémentaire obtenu grâce à l'utilisation des engrais et la quantité d'engrais apportée (PRASAD, 2009). Elle comporte diverses variantes, entre autres le facteur de productivité partielle des fertilisants, l'efficacité de redressement, ou encore l'efficacité physiologique.

Le facteur de productivité partielle de fertilisants (FPPF), défini comme étant le rapport entre la quantité récoltée et la quantité de nutriments apportée au sol, peut être déterminé dans le cas d'un seul nutriment ou dans celui d'une combinaison de nutriments. Ce facteur, qui a été introduit récemment, ne nécessite pas de parcelle témoin. Cette expression permet la comparaison de l'efficacité agronomique d'utilisation des fertilisants dans différents pays ou dans différentes régions du pays. Elle est très importante dans la comparaison des avantages de l'utilisation des fertilisants dans les expérimentations sur le tillage, l'irrigation, le contrôle de mauvaises herbes, etc... et dans lesquelles une parcelle témoin n'est pas typiquement prévue (PRASAD, 2009).

D'autre part, l'efficacité de redressement (RE), c'est-à-dire le pourcentage de nutriments absorbé par la culture, et l'efficacité physiologique sont déterminées pour des nutriments spécifiques. Parfois, l'efficacité de redressement peut être l'efficacité de redressement apparente, ou l'efficacité de redressement réelle. Cette dernière est déterminée à l'aide des isotopes  $^{15}\text{N}$  pour l'azote et  $^{32}\text{P}$  pour le phosphore. Quant à l'efficacité de redressement apparente, elle est utilisée par les scientifiques du sol et de l'environnement pour trouver la part de nutriments absorbés par la culture et la part responsable de la pollution environnementale (TANDON, 2004).

L'efficacité physiologique (EP), définie comme étant le rapport entre le rendement obtenu lors de la récolte et la quantité de nutriments absorbée par la culture, est utilisée par les physiologistes et ceux qui pratiquent les croisements des plantes dans l'étude de l'efficacité de différentes cultures ou des différents cultivars d'une espèce en utilisant les nutriments absorbés. L'efficacité physiologique est actuellement définie comme le rapport EA (efficacité agronomique d'utilisation des fertilisants)/ER (efficacité de redressement).

### 2.2 MOYENS D'ACCROÎTRE L'EFFICACITÉ D'UTILISATION DES FERTILISANTS ET/OU DES NUTRIMENTS

Le rendement des cultures s'avère, tant directement qu'indirectement, le numérateur dans toutes les expressions de l'efficacité d'utilisation des fertilisants et/ou des nutriments. Ainsi, la culture, le sol et les facteurs agronomiques qui augmentent le rendement des cultures sont donc susceptibles d'accroître l'efficacité agronomique d'utilisation des fertilisants et/ou des nutriments. Ce sont entre autres les variétés et systèmes culturaux, la gestion des sols et des cultures.

#### 2.2.1 ÉLÉMENTS FERTILISANTS ET LEUR MODE D'APPLICATION

- *Éléments fertilisants* : les fertilisants azotés sont fortement solubles, ce qui conduit à des pertes considérables dues au lessivage dans les conditions de hautes terres, et à la dénitrification dans les situations de terres basses. Cependant, des efforts ont été consentis pour développer des fertilisants azotés à faible pouvoir de libération des fertilisants.

Malheureusement, le coût de ces fertilisants est parfois le double ou le triple du coût des fertilisants conventionnels, voire même plus, ce qui les rend inaccessibles à la majorité des agriculteurs.

- *Moment d'application* : sous les conditions d'irrigation, le fractionnement des apports d'azote est une méthode reconnue pour l'augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'azote et la littérature s'accorde abondamment sur ce sujet (PRASAD, 2007). Ce fractionnement est principalement désirable lorsque les plants absorbent de très petites quantités d'azote par hectare et par jour. Pour la plupart, le phosphore et le potassium sont apportés au semis ou à la transplantation, même s'il est dit que le phosphore peut être apporté après la première irrigation dans la culture du blé, et dans ce cas, il ne peut plus être apporté au semis (SINGH, 1985).
- *Mode d'application* : des données considérables existent sur les avantages d'une application de fertilisants en profondeur en vue d'accroître leur efficacité. Concernant l'azote par exemple, une application en profondeur augmente considérablement l'efficacité d'utilisation de l'azote.

## **2.2.2 FERTILISATION NPK ÉQUILBRÉE ET GESTION SPÉCIFIQUE DES NUTRIMENTS BASÉE SUR UN SITE**

Parfois, les agriculteurs ont tendance à appliquer uniquement les fertilisants azotés sur leurs cultures. Pourtant, l'efficacité d'utilisation de l'azote peut être fortement accrue par une fertilisation phosphatée et potassique adéquate. Aussi, une application adéquate des oligoéléments dans les sols déficients augmente automatiquement l'efficacité d'utilisation des fertilisants NPK (JOHN et al., 2006). Les déficiences très répandues des sols en Soufre, Zinc et Bore ont conduit à l'évolution de la Gestion des nutriments basée sur un site spécifique (SINGH et al., 2008). D'une manière simple, la Gestion spécifique des nutriments basée sur un site (Site Specific Nutrient Management ou SSNM en anglais) implique une analyse du sol pour tous les nutriments essentiels pour la plante et développer des recommandations basées sur ces analyses du sol. Cette gestion accroît l'efficacité agronomique de tous les nutriments apportés.

## **2.3 EFFICACITÉ AGRONOMIQUE DES FERTILISANTS ET ENVIRONNEMENT**

Nombreuses littératures montrent qu'il existe une responsabilité globale sur l'effet de l'abus de fertilisants, surtout l'effet des fertilisants azotés sur l'environnement. Une partie de ces fertilisants est perdue sous forme de gaz  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ , et  $\text{NO}_x$  qui affectent négativement l'environnement. L'ammoniac, après oxydation en nitrates, contribue également à l'acidification du sol, pendant que d'autres nitrates et nitrites interviennent dans la réduction de la couche d'ozone. Une autre partie de fertilisants azotés est lessivée sous forme de nitrates et contamine les ressources en eaux souterraines (BIJAI-SINGH et al., 1995), ce qui conduit à des risques sanitaires telle que la méthémoglobinémie. D'après AGRAWAL et al., (1999), l'irrigation sans drainage artificiel augmente la pollution aux nitrates des eaux souterraines, surtout dans les plaines uniformes et faiblement drainées.

## **3 MATÉRIELS ET MÉTHODES**

La méthodologie de recherche pour cet article s'est basée sur une approche expérimentale et documentaire de collecte des données dans les territoires de Kalehe et d'Uvira. Les données utilisées sont celles collectées dans le cadre du projet VLIR dont le but a consisté à promouvoir la gestion intégrée de la fertilité de sols par l'utilisation des microdoses d'engrais dans le Kivu.

L'expérimentation faite a été réalisée dans 3 sous-sites à Kalehe (Kasheke, Kalehe-Centre et Muhongoza) et dans 3 autres sous-sites dans la plaine de la Ruzizi (Kiliba, Runingu et Biriba) au cours de la saison culturale A (de septembre à décembre 2014). Le choix des sites était dicté par le fait que le territoire de Kalehe et la plaine de la Ruzizi sont deux zones potentiellement productrices de maïs dans la province du Sud-Kivu et sont parmi les sites d'action du projet VLIR.

### **3.1 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL**

Des essais multi-locaux avec 6 traitements par essai avaient été installés dans les différents sous-sites qui ont fait l'objet de l'étude. Les différents traitements étaient répartis dans les différentes parcelles telles que le montre la figure 1.

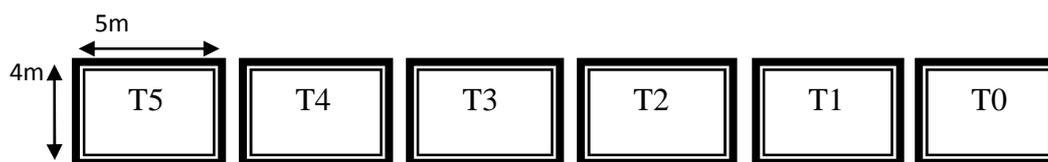


Figure 1: Dispositif expérimental

**Légende :** T0 (NPK 0-0-0) ; T1 (NPK 15-15-10 + 10t mo) ; T2 (NPK 45-15-10 + 10t mo) ; T3 (NPK 90-30-15 + 10t mo) ; T4 (NPK 120-50-40 + 10t mo) ; T5 (NPK 0-0-0 + 10t mo).

Les traitements T2 (micro-dose) et T4 représentent des doses déjà utilisées dans les essais diagnostics et stratégiques conduits dans le cadre du projet VLIR, tandis que T1 représente la dose inférieure à la micro-dose, et T3 une dose supérieure à la micro-dose et celle couramment recommandée pour la culture de maïs (FAO, 2006).

### 3.2 PARAMÈTRES DE MESURE DU RENDEMENT ET EFFICIENCE AGRONOMIQUE DES FERTILISANTS

Le principal paramètre observé en vue de la détermination de l'efficacité agronomique des fertilisants c'est le rendement. La détermination du rendement était basée sur les calculs du nombre d'épis par plant, de la longueur et la grosseur des épis, du nombre de lignes par épis, du nombre de graines par ligne et par épis, et du poids de 100 grains. La formule utilisée est la suivante :

$$Rdt = \frac{\left[ \frac{(\text{Poids } 100\text{grains} * \text{Nbre grains}/\text{épis})}{100} \right] * \text{Nbre épis}/\text{plant} * \text{Densité}}{1000}$$

Avec Rdt = Rendement grains (en kilogrammes/hectare)

1000 = facteur de correction pour passer du gramme au kilogramme (CUBAKA, 2012).

L'efficacité agronomique d'utilisation des fertilisants avait été déterminée au sein de chaque parcelle individuelle représentant un type de traitement à l'aide de la formule donnée par BARBER, (1976):

$$EA_{NPK} = \frac{\text{Effet NPK}}{D_{NPK}}$$

Avec :

- $EA_{NPK}$  = Efficacité agronomique d'utilisation des fertilisants NPK (en kg/kg);
- **Effet NPK** = le rendement supplémentaire obtenu grâce à l'application des engrais NPK ;
- $D_{NPK}$  = Dose d'engrais NPK appliquée.

Cependant, du fait qu'il est toujours difficile de comparer les effets de différents nutriments apportés par des fertilisants NPK d'origines différentes (on ne peut pas additionner 1kg d'azote provenant de l'urée avec 1kg de  $P_2O_5$  provenant du TSP, ni de 1kg de  $K_2O$  provenant de KCl), on a exprimé les nutriments N, P et K en unités ayant des significations similaires en rapport avec la croissance des cultures et l'efficacité des nutriments.

Ces unités s'appellent **Crop Nutrient equivalents** ou CNE en anglais et signifient « la quantité du nutriment prélevée par la culture et qui, en situation d'une nutrition équilibrée, possède le même effet sur le rendement que celui du prélèvement d'1kg d'azote (JANSSEN, 2009).

Le tableau 4 dresse les différents facteurs de conversion pour traduire 1kg de fertilisants N,  $P_2O_5$  et  $K_2O$  en équivalents nutritifs des fertilisants pour différentes cultures:

Le tableau suivant présente les Facteurs de conversion d'1kg de fertilisants N,  $P_2O_5$  et  $K_2O$  en équivalents nutritifs des fertilisants pour quelques cultures.

**Tableau 1 : Facteurs de conversion des fertilisants NPK**

Cultures	1 kg équivaut à		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Tubercules	1	0,58	0,56
Céréales	1	<b>0,6</b>	1,03
Riz irrigué	1	0,56	1
Légumineuses (haricot, pois, ...)	1	0,87	1,4
Arachides (graines)	1	1,69	3,85

Ainsi, l'efficacité agronomique des fertilisants NPK se calcule de la manière suivante :

$$EA_{NPK} = \text{Effet NPK} / D_{NPK}$$

Avec  $D_{NPK}$  = la somme des quantités apportés de fertilisants N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O exprimés en termes d'équivalents nutritifs des fertilisants des cultures.

Donc, pour le maïs (céréale), on aura :

$$D_{NPK} = D_N \times 1,00 + D_{P_{2O_5}} \times 0,60 + D_{K_{2O}} \times 1,03$$

Alors, le tableau de doses utilisées devient (tableau 2):

**Tableau 2: Doses NPK reconverties en équivalents nutritifs des fertilisants pour la culture du maïs (céréale)**

Traitements	N	CNE N	DN	P	CNE P	DP <sub>2O5</sub>	K	CNE K	DK <sub>2O</sub>	DNPK
T0	0		0	0		0	0		0	<b>0</b>
T1	15		15	15		9	10		10,3	<b>34,3</b>
T2	45	<b>1</b>	45	15	<b>0,6</b>	9	10	<b>1,03</b>	10,3	<b>64,3</b>
T3	90		90	30		18	15		15,45	<b>123,45</b>
T4	120		120	50		30	40		41,2	<b>191,2</b>
T5	Application de la matière organique uniquement (10tonnes/ha)									

### 3.3 DÉTERMINATION DU RAPPORT EA/EAMAX ET JUGEMENTS SUR L'APPLICATION DES DOSES D'ENGRAIS

Subséquent au calcul de l'efficacité agronomique des fertilisants, il existe des valeurs supposées maximales pour les efficacités agronomiques des fertilisants N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O pour des cultures telles que les céréales, les tubercules et les légumineuses. Pour le maïs et d'autres céréales, la valeur  $EA_{max}N=35$ ,  $EA_{max}P_{2O_5}=21$  et  $EA_{max}K_{2O}=36$ .

Ainsi, le rapport EA/EA<sub>max</sub> permet d'aboutir à des conclusions d'ordre pratique énumérées dans le tableau 3:

**Tableau 3: Appréciation du rapport EA/EA<sub>max</sub> ainsi que les conclusions qui en découlent**

Rapport EA/EAMax	Appréciation du rapport EA/EAMax	Jugement niveau d'application des fertilisants	Conclusion sur l'application des fertilisants
Si > 0,6	Elevé	Très faible	augmenter
Si 0,5 – 0,6	Optimum	Optimum	maintenir
Si < 0,5	Faible	Très élevé	diminuer

### 3.4 CALCUL DE L'EFFICACITÉ ÉCONOMIQUE DES FERTILISANTS

L'analyse de l'efficacité économique des différentes doses d'engrais avait été effectuée dans le but d'estimer les retombées économiques des différents niveaux de productivité en fonction de différents traitements appliqués aux parcelles.

Il s'agit entre autres d'estimer le revenu brut à l'hectare sur base du rendement des cultures suivant leur valeur marchande actuelle et déterminer la contribution de chaque traitement individuel au revenu brut de la culture. La méthodologie utilisée est celle proposée par FAO (2000) :

$$RVC = \frac{\text{Valeur de l'augmentation du rendement par rapport au témoin en espèce}}{\text{Coût des fertilisants}}$$

Avec RVC = Rapport Valeur/Coût

Selon la FAO (2000), le RVC doit être au moins égal à 2 pour permettre aux paysans de couvrir les frais directs liés à l'utilisation des engrais minéraux à la ferme.

Le Revenu net (en dollars/ha) fut calculé à l'aide de la formule décrite par CIMMYT (1988):

$$RN = RB - CT$$

Avec : RN = Revenu net ; RB = Revenu brut ; CT = Coûts totaux

Le taux de rentabilité financière fut obtenu en faisant le rapport entre le revenu net et les coûts totaux. Le revenu brut a été déterminé sur base du prix d'1kg de maïs grain sur le marché local, à savoir 500FC soit 0,54\$ dans la plaine de la Ruzizi, et 0,57\$ dans le territoire de Kalehe. Les coûts des fertilisants minéraux étaient de 1,3\$/kg dans la plaine de la Ruzizi et 2\$/kg à Kalehe, tandis que le prix de 100kg de matière organique était de 1000FC soit 1,08\$ et de 600FC soit 0,65\$ respectivement dans les deux milieux.

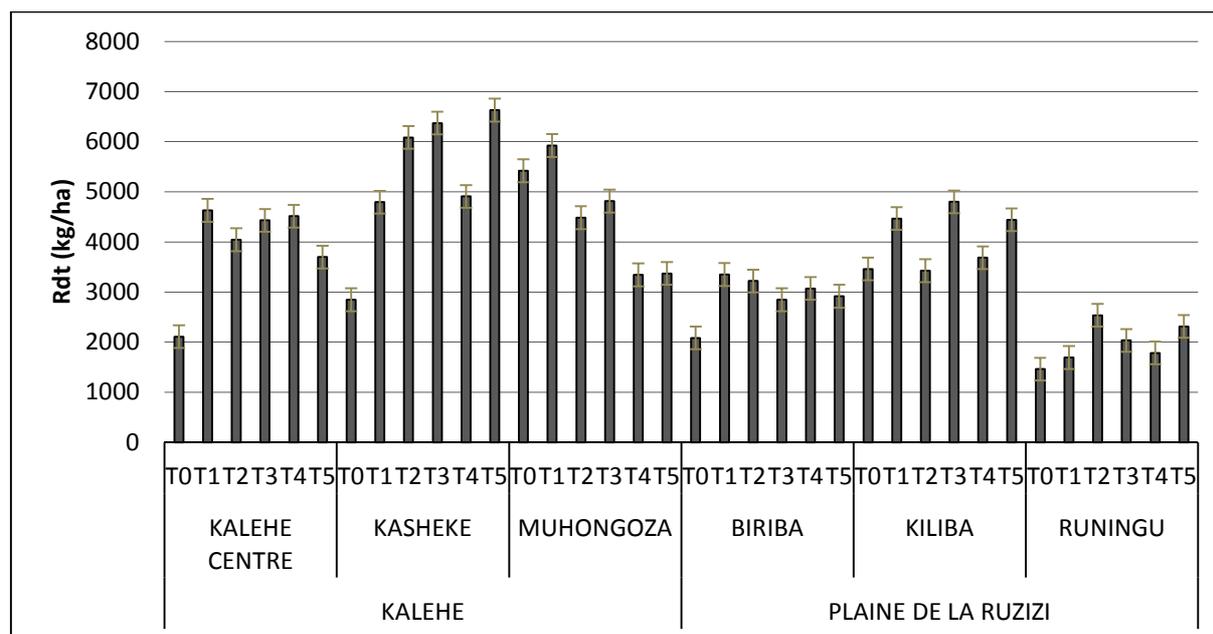
Les coûts totaux avaient été calculés en tenant compte des différentes dépenses engagées dans tout le processus de production, c'est-à-dire de la location du terrain jusqu'aux différentes opérations post-récolte en passant par toute la main d'œuvre ainsi que les intrants utilisés, sachant qu'un homme-jour coûte 2500FC soit 2,7\$ dans la plaine de la Ruzizi contre 1500FC soit 1,6\$ dans le territoire de Kalehe.

## 4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'analyse statistique des données expérimentales avait porté essentiellement sur l'Analyse de la Variance à trois critères de classification (ANOVA 3) pour détecter les différences entre les 6 traitements dans les 3 sous-sites intégrés chacun dans l'un de 2 sites. Pour y arriver, le modèle mixte hiérarchisé a été utilisé de manière à éviter des interactions entre un sous-site et un site ne le contenant pas. Le test ad hoc de LSD avait été utilisé pour la comparaison des moyennes chaque fois que les différences avaient été significatives. Le logiciel GenStat avait été utilisé pour cette fin.

### 4.1 RENDEMENT DU MAÏS

La figure 2 dresse l'évolution du rendement en fonction des différentes doses appliquées dans les différents sites et sous-sites qui faisaient l'objet de l'étude.



**Figure 2: Rendement du maïs (kg/ha) à différents niveaux de fertilisation**

Le tableau 4 montre les résultats de l'analyse de la variance pour le rendement en fonction des traitements, des sites et des sous-sites.

**Tableau 4: Analyse de la variance du rendement en fonction des différents traitements**

Source de variation	DL	SCE	CM	F value	Pr (>F)
<b>TRAITEMENT</b>	5	80350297	16070059	49,01	<0,001 *
<b>SITE</b>	1	294917967	294917967	899,45	<0,001 *
<b>TRAITEMENT.SITE</b>	5	18202733	3640547	11,10	<0,001 *
<b>SITE.SOUS_SITE</b>	4	151608580	37902145	115,60	<0,001 *
<b>TRAITEMENT.SITE.SOUS_SITE</b>	20	92718969	4635948	14,14	<0,001 *
<b>Residual</b>	30	106234930	327886		
<b>Total</b>	35	744033475			

\* : Différence hautement significative, CV = 17%

Les valeurs de P value étant inférieures à 0,05 pour les différents facteurs sources de variation, cela prouve qu'il existe des différences hautement significatives entre les rendements des différents traitements au sein d'un même sous-site et entre les différents sites et sous-sites.

La valeur élevée du coefficient de variation dans l'expression du rendement serait due au fait que la fertilité des sols est très hétérogène dans la zone d'étude et présente une grande variabilité d'une exploitation agricole à l'autre, tant au niveau local que sur l'ensemble de la région (ZINGORE et al., 2007). Du fait qu'il existe des différences significatives entre les rendements obtenus par les différents traitements au sein et entre les différents sites et sous-sites, le test de comparaison des moyennes est présenté dans le tableau 10 pour l'interaction la plus forte (interaction triple)

Le test de séparation des moyennes entre traitements a montré que les moyennes de rendement dans les sous-sites qui constituent un même site ont tendance à se retrouver dans les mêmes groupes. Ceci serait dû à l'homogénéité ou à la proximité des conditions dans lesquelles ces rendements sont obtenus.

En effet, selon MUKENGERE (2010), la réponse de la culture du maïs à l'application des engrais minéraux est fonction du type de sols dans lesquels ils sont placés. De ce fait, les moyennes obtenues présentent des similarités selon les différents sites et sous-sites.

A Kalehe, les rendements des différents traitements au sein des différents sous-sites varient entre 2000kg/ha et 7000kg/ha, ce qui donne une moyenne nettement supérieure à celle obtenue dans la plaine de la Ruzizi (entre 1000 et 5000kg/ha). La texture argileuse des sols à Kalehe et la température (19°C optimum) ainsi que les précipitations élevées seraient en grande partie responsables de cet écart considérable. Toutefois, ces rendements sont proches de ceux obtenus aux environs de Lubumbashi dans les grandes exploitations agricoles avec l'utilisation d'autres variétés améliorées et le recours à la fertilisation minérale ; ces rendements étaient de l'ordre de 4000 à 6000 Kg/ha (NYEMBO, 2010).

En examinant les variabilités dans les différents sous-sites, on s'aperçoit que les rendements les plus élevés ont été obtenus à Kasheke en territoire de Kalehe tandis que les moins élevés ont été obtenus à Runingu dans la plaine de la Ruzizi. Une fois de plus, les conditions pédoclimatiques seraient responsables de cet écart considérable. Cependant, force est de constater que les traitements à forte dose d'engrais ne sont pas nécessairement ceux qui présentent les rendements les plus élevés. En effet, d'après KINDINDA *et al.*, (2015), la productivité n'est pas toujours proportionnelle à la quantité d'engrais apportée.

#### 4.2 RÉPONSE DU MAÏS À LA FERTILISATION

La figure 3 montre la réceptivité de la culture de maïs à la fertilisation organo-minérale. Les données brutes sont fournies en annexe 2.

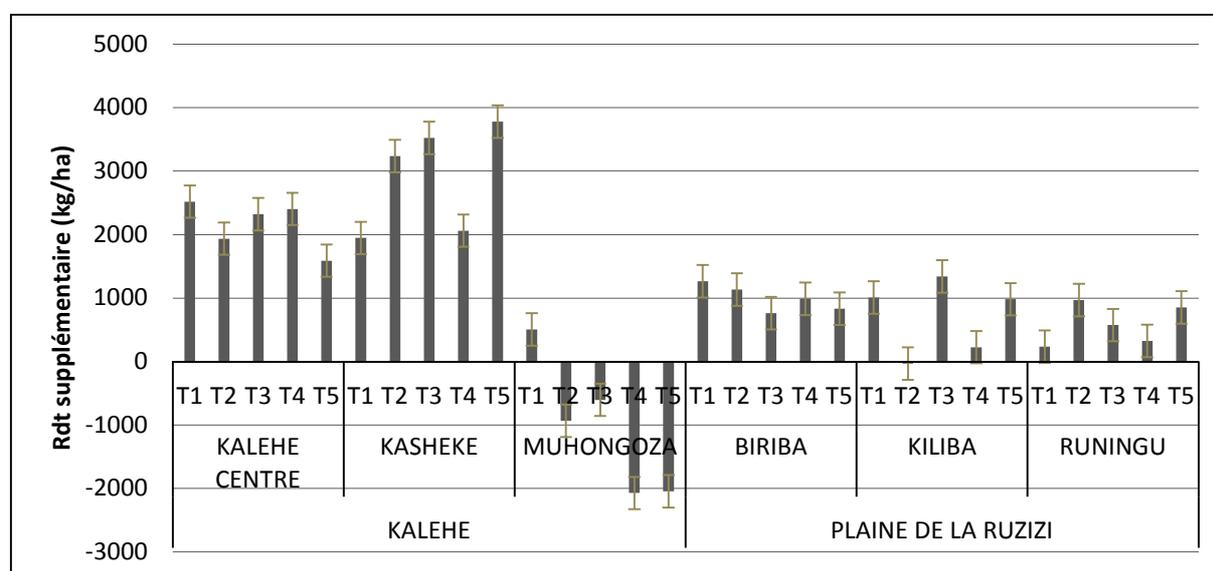


Figure 3: Rendement supplémentaire obtenu grâce à l'utilisation des engrais (en kg/ha)

L'analyse de la variance fournit les résultats tels que présentés dans le tableau suivant :

Tableau 5: Analyse de la variance entre les rendements supplémentaires obtenus grâce à l'utilisation des fertilisants

Source de variation	DL	SCE	CM	F value	P value
TRAITEMENT	4	4925426	1231357	2,80	0,026 *
SITE	1	124033441	124033441	282,48	<0,001 *
TRAITEMENT.SITE	4	8804662	2201166	5,01	<0,001 *
SITE.SOUS_SITE	4	314259764	78564941	178,93	<0,001 *
TRAITEMENT.SITE.SOUS_SITE	16	64059099	4003694	9,12	<0,001 *
Residual	25	118554395	439090		
Total	29	491175409			

\* : Différence hautement significative ; CV = 24,3%

En analysant la variance entre les surplus de production occasionnés par l'application des différentes doses de fertilisants, on se rend compte qu'il existe des différences hautement significatives entre les rendements supplémentaires obtenus suite à l'utilisation des fertilisants, que ça soit en fonction des traitements, des sites ou des sous-sites ( $P < 0,05$ ).

Le coefficient de variation élevé serait dû d'abord aux différents traitements appliqués à la culture, mais aussi à la grande variabilité des conditions pédoclimatiques au sein et entre les différents sites concernés par l'étude.

Le test de séparation des moyennes des rendements supplémentaires avec  $LSD=299,5$  a montré que les moyennes se regroupent encore une fois selon les sites et sous-sites, cas des sous-sites de Kasheke et de Kalehe-centre qui présentent des similarités entre eux, ou encore des moyennes de la plaine de la Ruzizi qui sont plus ou moins proches entre elles, de même que celles de Muhongoza. De ce fait, excepté à Muhongoza, les rendements supplémentaires obtenus dans les deux autres sous-sites de Kalehe se retrouvent dans les groupes A, B et C tandis que ceux obtenus dans tous les sous-sites de la plaine de la Ruzizi se retrouvent dans les groupes D et E. Le sous-site de Muhongoza vient fermer la marche avec des moyennes négatives regroupées dans les groupes F et G. Les différences entre les sous-sites de Kalehe et ceux de la plaine de la Ruzizi s'expliquent par la composition chimique des sols en éléments nutritifs, composition plus élevée à Kalehe que dans la plaine de la Ruzizi.

De là, on s'aperçoit que, dans la plaine de la Ruzizi, T1 serait le traitement le plus recommandable pour atteindre un surplus de production de maïs plus élevé à Biriba, tandis que T3 serait le plus recommandable à Kiliba et T2 à Runingu. Quant à Kalehe, la figure 3 montre que la valeur du surplus de rendement dû à la fertilisation du maïs oscille autour de 2500kg à Kalehe-centre, avec T1 comme le traitement ayant la valeur la plus élevée et T5 avec la valeur la plus faible ; cela signifierait que la culture du maïs est plus réceptive à l'application des engrais minéraux qu'à celle de la matière organique dans ce sous-site.

A Kasheke par contre, T5 est le traitement qui présente la valeur la plus élevée de l'effet d'application des engrais sur le maïs; cela pourrait signifier que, contrairement à Kalehe-centre, la culture du maïs est plus réceptive à la fertilisation organique qu'à la fertilisation minérale à Kasheke. Ceci serait dû au fait que, l'azote étant un élément important dans la nutrition minérale du maïs, l'effet direct de l'apport de la matière organique résulte dans l'absorption de l'azote par la biomasse microbienne du sol, lequel améliore la synchronisation entre les apports et les demandes d'azote par les cultures et réduit les pertes d'azote dans l'environnement (VANLAUWE et al., 2001). A Muhongoza paradoxalement, seul le traitement T1 présente un effet positif sur la production du maïs, les autres traitements présentant un rendement bien inférieur à celui obtenu par le traitement témoin. Cette situation peut s'expliquer soit par la loi des rendements moindres que proportionnels, soit par un déséquilibre nutritionnel induit par l'application des fertilisants, soit par un antagonisme entre certains éléments présents en quantités non adaptées sans oublier que le sol de Muhongoza est le mieux pourvu en éléments minéraux.

Comparés les effets de l'application des fertilisants sur le rendement du maïs dans les deux sites, on remarque d'une manière globale que la culture du maïs répond mieux à la fertilisation tant minérale qu'organique dans le territoire de Kalehe que dans la plaine de la Ruzizi. Mais, dans tous les cas, les résultats montrent qu'il y a une augmentation significative du rendement lorsqu'on recourt à la fertilisation jusqu'à un certain seuil ou le rendement ne croît plus. Ces résultats s'accordent avec ceux obtenus au Katanga où, au-delà d'un certain seuil d'application de fertilisants, les rendements diminuent (NYEMBO et al., 2012).

#### **4.3 EFFICIENCE AGRONOMIQUE DES DOSES D'ENGRAIS NPK UTILISÉES**

La figure 4 présente les résultats sur l'efficacité agronomique des fertilisants minéraux appliqués à la culture du maïs à Kalehe ainsi que dans la plaine de la Ruzizi. Les données brutes sont présentées en annexe 3.

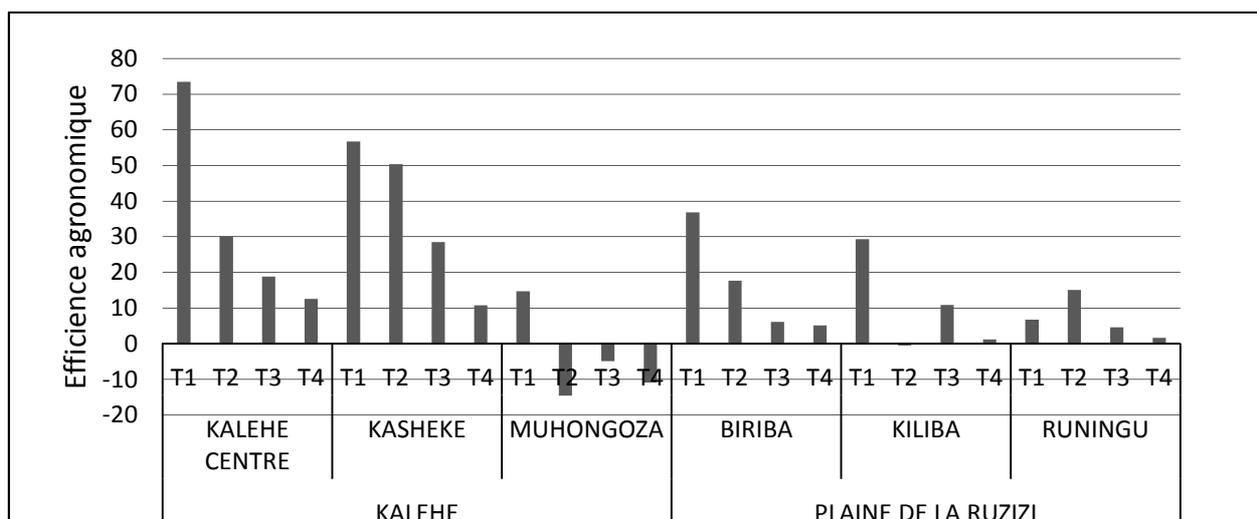


Figure 4: Efficacité agronomique (kg maïs grain/kg de fertilisants) des fertilisants minéraux en culture du maïs dans la plaine de la Ruzizi et dans le territoire de Kalehe

On constate sur la figure 4 que l'efficacité agronomique poursuit une tendance à la baisse au fur et à mesure que la quantité de fertilisants augmente. Le tableau 6 présente l'analyse de la variance des valeurs d'EA :

Tableau 6: Analyse de la variance entre les niveaux d'EA selon les traitements, les sites et sous-sites

Source de variation	DL	SCE	CM	F value	P value
TRAITEMENT	3	53380,75	13345,19	174,97	<0,001 *
SITE	1	17725,22	17725,22	232,39	<0,001 *
TRAITEMENT.SITE	3	9831,33	3277,11	42,97	<0,001 *
SITE.SOUS_SITE	4	27797,52	6949,38	91,11	<0,001 *
TRAITEMENT.SITE.SOUS_SITE	14	16661,45	1190,10	15,60	<0,001 *
Residual	20	18076,62	76,27		
Total	23	118688,56			

\* : Différence hautement significative, CV = 19,1%

Ce tableau montre qu'il existe des différences hautement significatives entre les différents niveaux d'efficacité en fonction des différents traitements, des sites et des sous-sites ( $P < 0,05$ ). La valeur élevée du coefficient de variation serait due à la variabilité dans les caractéristiques de sols et de conditions climatiques qui prévalent dans les deux sites concernés par l'étude, mais aussi aux différents niveaux d'application des fertilisants et de la réponse de la culture à ces fertilisants. Le total du degré de liberté est égal à 23 car seuls les quatre traitements ayant reçu la fertilisation minérale sont concernés par l'analyse de l'EA.

La comparaison des moyennes d'efficacité agronomique en fonction des traitements, des sites et des sous-sites montre des moyennes regroupées différemment selon les différents facteurs en interaction, le traitement T1 ayant les moyennes les plus élevées dans tous les sites et sous-sites. De là, on voit en fait que les traitements inférieurs sont ceux qui présentent les niveaux d'efficacité agronomique les plus élevés à Kalehe mais aussi dans la plaine de la Ruzizi. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les plantes cultivées réagissent d'une manière quasi-instantanée à une fertilisation minérale initiale, aussi faible soit-elle.

Néanmoins, les valeurs d'EA obtenues à Kalehe sont globalement supérieures à celles obtenues dans la plaine de la Ruzizi. Cela pourrait s'expliquer par la variabilité dans les conditions édaphoclimatiques qui prévalent dans les différents sites. En effet, d'après MUKENGERE (2010), l'efficacité des engrais dépend largement du type des sols dans lesquels ils sont placés.

Ainsi, le traitement T1 présente l'efficacité agronomique plus élevée tant à Kalehe-centre qu'à Kasheke et à Muhongoza (EA = 73,4 ; 56,7 et 14,6 respectivement). Cela veut dire que pour T1 à Kalehe-centre, l'application d'1kg d'engrais permet un gain de 73,4kg de maïs grain, contre 56,7kg à Kasheke et 14,6kg à Muhongoza. Ce dernier sous-site présente des valeurs

d'EA négatives pour T2, T3 et T4, ce qui implique que la quantité de rendement obtenu grâce à l'utilisation des fertilisants est inférieure à la quantité de fertilisants appliquée sur la parcelle. Cette valeur négative pourrait signifier que dans ce sous-site, la culture du maïs n'est pas réceptive à la fertilisation minérale, soit parce que le sol est naturellement bien pourvu en éléments nutritifs essentiels à la culture, soit parce qu'il y a fixation des éléments apportés par la fertilisation. Ces trois traitements sont donc à déconseiller dans ce sous-site.

Si on essaye de mettre en relation les résultats relatifs à l'EA avec ceux relatifs au rendement, on s'aperçoit que « rendement plus élevé n'est pas toujours synonyme d'EA plus élevée ». Ceci est bien illustré par le cas de KILIBA où T3 possède le rendement le plus élevé mais c'est T1 qui présente une efficacité agronomique nettement supérieure.

La même tendance s'observe dans le territoire de Kalehe, avec des efficacités agronomiques d'utilisation de fertilisants décroissantes au fur et à mesure que les doses de fertilisants augmentent. Ceci concorde avec les résultats obtenus en Inde, et pour lesquels l'efficacité agronomique était faible et variait entre 4,7 et 10,9 pour les doses NPK les plus élevées (PRASAD, 2009).

#### 4.4 RAPPORT EFFICACITE AGRONOMIQUE/EFFICACITE AGRONOMIQUE MAXIMUM (EA/EAMAX)

Les différents rapports EA/EAMax des différents nutriments apportés en culture de maïs dans la plaine de la Ruzizi et dans le territoire de Kalehe sont présentés dans le tableau 7 :

**Tableau 7: Rapports EA/EAMax des différentes doses d'engrais NPK**

SITE	SOUS-SITE	TRAITEMENT	EA/EAMax N	EA/EAMax P	EA/EAMax K
PLAINE DE LA RUZIZI	BIRIBA	T1	1,053388214	1,755647024	1,02412743
		T2	0,503820404	0,839700674	0,489825393
		T3	0,175872553	0,293120922	0,170987205
		T4	0,147347233	0,245578721	0,143254254
	KILIBA	T1	0,838481672	1,397469454	0,815190515
		T2	-0,014901169	0,516619243	-0,014487248
		T3	0,309971546	-0,024835282	0,301361225
		T4	0,033528885	0,055881475	0,032597527
	RUNINGU	T1	0,194024026	0,716040258	0,18863447
		T2	0,429624155	0,323373377	0,417690151
		T3	0,132709367	0,221182278	0,129022996
		T4	0,048318328	0,080530546	0,046976152
KALEHE	KALEHE CENTRE	T1	2,098375677	3,497292795	2,040087464
		T2	0,859742279	1,432903799	0,83586055
		T3	0,537140543	0,895234238	0,522219972
		T4	0,359175134	0,598625224	0,349198047
	KASHEKE	T1	1,621480633	2,702467722	1,576439504
		T2	1,437947123	2,396578538	1,398004147
		T3	0,815570214	1,359283689	0,792915485
		T4	0,308035714	0,513392857	0,299479167
	MUHONGOZA	T1	0,419825073	0,699708455	0,408163265
		T2	-0,415241058	-0,692068429	-0,403706584
		T3	-0,140079847	-0,233466412	-0,13618874
		T4	-0,309884937	-0,516474895	-0,301277022

**Jaune** : Rapport EA/EAMax élevé, donc le niveau d'application des fertilisants est très faible

**Vert** : Rapport EA/EAMax optimum, donc le niveau d'application des fertilisants est optimal

**Blanc** : Rapport EA/EAMax faible, donc le niveau d'application des fertilisants est très élevé

Il ressort de ce tableau 7 que, dans presque tous les sous-sites et pour les différents nutriments, le rapport EA/EAMax a tendance à diminuer au fur et à mesure qu'on augmente la dose de fertilisants. Ceci s'explique par le fait que l'efficacité agronomique, qui fait office de numérateur dans ce rapport, poursuit la même tendance. Prenons le cas de Biriba, par exemple : pour le traitement T1, le rapport est très élevé et donc le niveau d'application des fertilisants est très faible et

devra être augmenté. Cependant, on ne devrait pas dépasser un certain seuil sous peine d'affecter négativement l'efficacité agronomique de ces fertilisants, le traitement T1 ayant la valeur d'EA la plus élevée dans ce site.

Pour ce qui est de T2, toujours à Biriba, le niveau d'application des fertilisants azotés est optimal (45kg/ha), tandis que celui des fertilisants phosphatés est très faible (15kg/ha) et celui de fertilisants potassiques très élevé (10kg/ha). Les deux autres traitements (T3 et T4) présentent un niveau très élevé d'application de fertilisants tant azotés, phosphatés que potassiques. Notons aussi que ce sont ces deux traitements qui présentent également la plus faible valeur d'EA à Biriba.

Cependant, contrairement à la situation du rapport EA/E<sub>max</sub> dans la plaine de la Ruzizi où la plupart des traitements montrent un rapport faible pour les différents nutriments et dans les différents sous-sites, on constate à Kalehe et particulièrement à Kalehe-centre et Kasheke que la plupart de traitements donnent un rapport EA/E<sub>max</sub> élevé, tandis qu'à Muhongoza, ce rapport est essentiellement faible. Ainsi, le niveau d'application des différents fertilisants est très faible pour les traitements T1 et T2 à Kalehe-centre, et T1, T2, T3 à Kasheke et devrait donc être augmenté ; tandis qu'à Muhongoza les traitements T2, T3 et T4 présentent un rapport faible, ce qui signifie que ce niveau d'application des fertilisants devrait être diminué.

Néanmoins, on constate quelques spécificités relatives aux différents sous-sites, aux différents traitements ainsi qu'aux différents éléments fertilisants. A Kalehe-centre par exemple, le traitement T3 présente un niveau optimal pour les nutriments N et K, alors que le niveau d'application de P est faible et devrait donc être augmenté. Cependant, lorsqu'on arrive à T4, on remarque un certain renversement de la situation, le niveau d'application de N et K devenant très élevé et celui de P devenant optimal. Cela permet d'aboutir à la conclusion que le niveau optimal qui permet une meilleure efficacité d'utilisation des fertilisants à Kalehe-centre serait une application du traitement T3 pour les fertilisants azotés et potassiques, et T4 pour les fertilisants phosphatés (90kg N + 50kg P + 15kg K/ha). Considérés séparément les différents nutriments, on constate que le rapport EA/E<sub>max</sub> du phosphore est beaucoup plus élevé que celui des autres nutriments pour différents traitements, ce qui veut dire que le niveau d'application des fertilisants phosphatés est très faible et devrait être augmenté. Ceci peut s'expliquer par la plus grande contrainte liée à l'utilisation des engrais phosphatés, à savoir la fixation du phosphore, surtout dans les conditions des sols tropicaux acides (NGONGO et al., 2009).

#### 4.5 REVENU BRUT ET COÛTS TOTAUX

La figure 5 présente l'évolution des revenus bruts en fonction des coûts totaux engagés dans le processus de production de maïs fertilisé dans la plaine de la Ruzizi ainsi que dans le territoire de Kalehe. Les données brutes sont présentées en annexe 4.

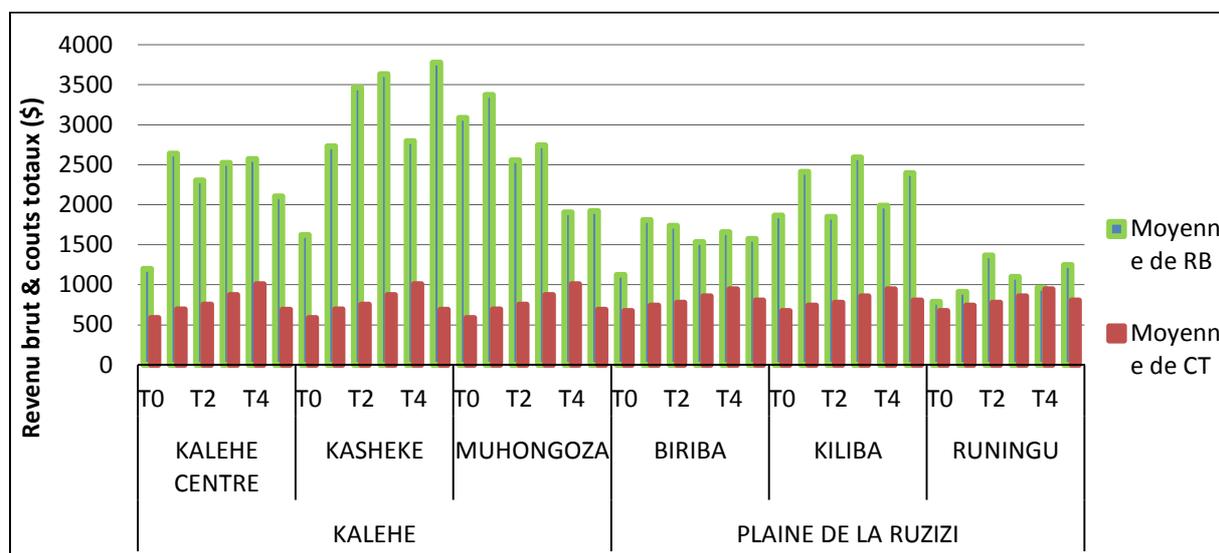


Figure 5: Revenu brut (en \$/ha/saison) et coûts totaux (en \$/ha/saison) occasionnés par la production du maïs à différents niveaux de fertilisation

En examinant la figure 5, on se rend compte que T1, T3 et T2 sont les traitements qui procurent un revenu brut plus élevé, respectivement à Biriba (1808,93\$/ha/saison), Kiliba (2591,48\$/ha/saison) et Runingu (1369,66\$/ha/saison). A Runingu, le traitement T4, tel qu'on peut le voir sur la figure 5, présente un revenu brut égal aux coûts engagés dans le

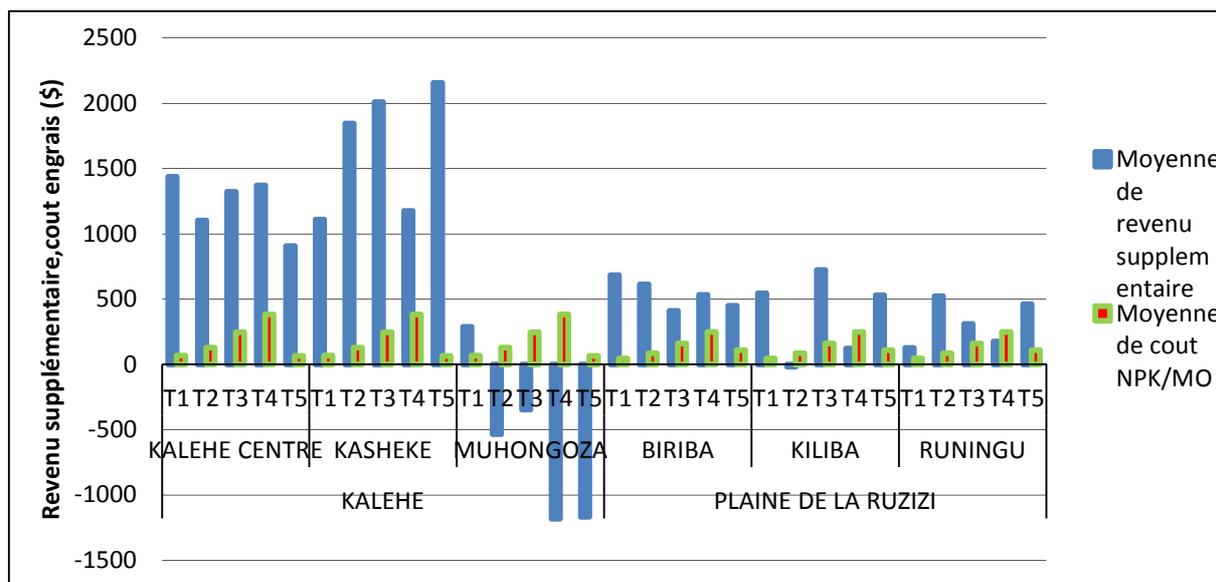
processus de production du maïs, et donc une marge bénéficiaire nulle. Ce traitement serait donc moins intéressant, surtout lorsqu'on poursuit l'objectif de la rentabilité de l'exploitation agricole. En effet, la corrélation qui s'établit entre les doses d'engrais et la rentabilité du maïs montre qu'au-delà de 150 kg NPK+100 kg urée/ha, la rentabilité commence à diminuer (KINDINDA *et al.*, 2015).

A Kalehe-centre, par contre, les revenus bruts des différents traitements varient entre 1000 et 3000\$/ha, avec T1 le traitement qui a occasionné le revenu brut le plus élevé (2638,2\$/ha/saison) avec un coût de production de 693,8\$/ha/saison ; et T0 le revenu brut le plus faible (1202,3\$/ha/saison) mais aussi avec le coût de production le plus faible (585,2\$/ha/saison). A Kasheke, les revenus bruts varient entre 1500 et 4000\$/ha/saison, T5 étant le traitement qui a procuré le revenu brut le plus élevé (3777,7\$/ha/saison) avec un coût de production de 690,41\$/ha/saison, et T0 le revenu brut le plus faible (1622,3\$/ha/saison) avec un coût de production le plus faible (585,2\$/ha/saison).

Quant à Muhongoza, T1 présente le revenu brut le plus élevé (3375,4\$/ha/saison) tandis que T4 et T5 présentent les revenus bruts les plus faibles (1906\$/ha/saison et 1921\$/ha/saison respectivement). On voit donc que la plupart des traitements dans lesquels on a appliqué des fortes doses de fertilisant n'ont pas exprimé un niveau de rentabilité élevé. En effet, d'après NYEMBO *et al.*, (2012), l'apport des fortes doses des engrais chimiques réduit sensiblement la rentabilité de l'emploi des engrais chimiques. Le coût élevé des engrais minéraux couplé au faible coût des produits de récolte sur le marché justifierait ce phénomène.

#### 4.6 REVENU SUPPLÉMENTAIRE DÙ AUX FERTILISANTS ET COÛT DES FERTILISANTS

La figure 6 présente les résultats sur le revenu supplémentaire obtenu suite à l'utilisation de fertilisants tant organiques que minéraux. Les données brutes sont présentées en annexe 5.



**Figure 6: Surplus de revenu et coût (\$/ha) occasionnés par l'utilisation des fertilisants**

Sur la figure 6, on remarque une grande variabilité dans l'expression du surplus de revenu obtenu grâce à l'utilisation des engrais. A Biriba, par exemple, on remarque une évolution inverse du surplus de revenu en fonction du coût de fertilisants (revenu supplémentaire plus élevé au traitement T1, puis diminue à T2 et encore plus à T3 pour remonter timidement au traitement T4 et ensuite rechuter à T5. Cela montre qu'à Biriba, le traitement T1 est celui qui occasionne le surplus de revenu le plus élevé, avec un coût lié à l'achat des fertilisants faible.

A Kiliba, par contre, on remarque une variation plus spectaculaire dans le surplus de revenu, avec des pics allant de 543\$/ha (T1) à plus de 723\$/ha (T3), en passant par T2 qui présente un déficit de revenu dû à l'utilisation des fertilisants (-18\$). Le traitement T2 n'est donc pas intéressant sur le plan économique à Kiliba, de même que le traitement T4. A Runingu, par ailleurs, T2 est le traitement qui procure un surplus de revenu plus élevé, suivi de T5, alors que T4 représente un traitement non recommandable sur le plan économique. Quant à Kalehe-centre, le traitement T1 donne le surplus de revenu

le plus élevé (1435,8\$/ha) avec le coût d'achat des engrais plus faible (68,6\$/ha), et serait donc considéré comme le traitement le plus intéressant du point de vue économique.

A Kasheke, T5 est le traitement qui donne un surplus de revenu plus élevé (2155,3\$/ha) avec un coût d'achat d'engrais faible (65,2\$/ha). Le traitement T4 serait le moins intéressant à ce niveau vu le faible revenu supplémentaire qu'il occasionne alors qu'il comporte le coût le plus élevé pour l'achat des fertilisants. A Muhongoza paradoxalement, seul le traitement T1 (68,6\$/ha pour l'achat des fertilisants) serait intéressant sur le plan économique, avec un revenu supplémentaire de 287,2\$.

#### 4.7 REVENU NET (INDICE DE PROFITABILITÉ)

Les résultats sur le revenu net obtenu à l'issue du processus de production sont présentés dans la figure 7.

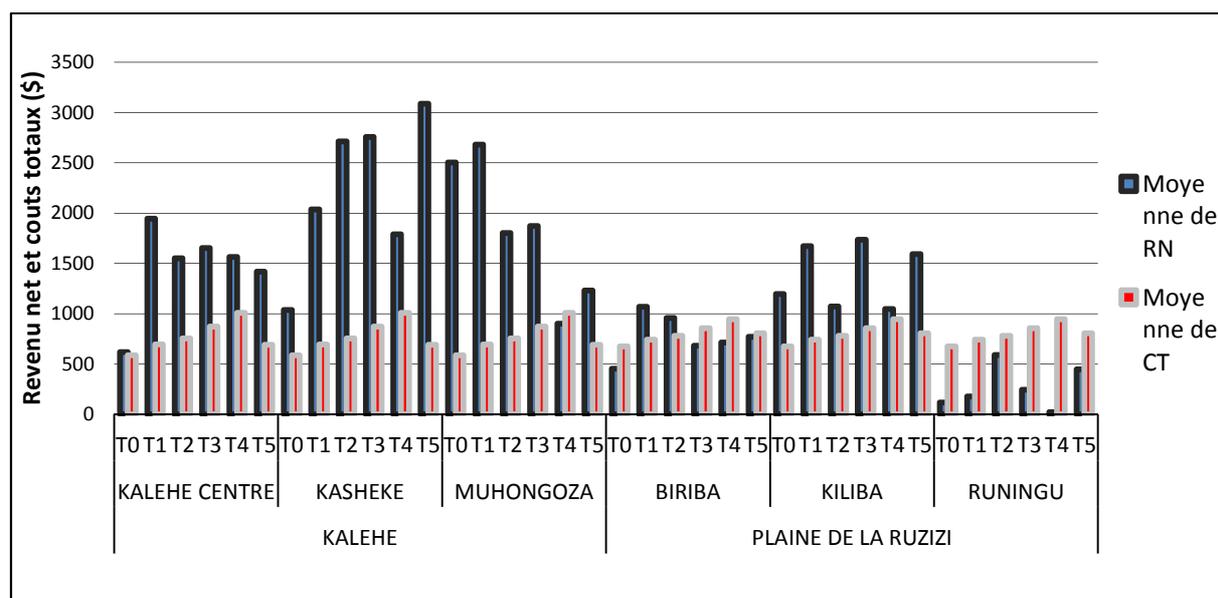


Figure 7: Revenu net et dépenses occasionnés par la production du maïs dans les deux sites (en \$/ha/saison)

Sur la figure 7, on constate qu'à Biriba, le traitement T1 est celui qui a occasionné le profit le plus élevé (1068,4\$ de bénéfice par hectare et par saison pour 740,47\$ investis; soit un taux de rentabilité financière de 1,4) tandis que le traitement T0 présente le niveau de profitabilité le plus faible (451,9\$ de bénéfice par hectare et par saison pour 674,15\$ investis, soit un taux de rentabilité financière de 0,67).

D'après CUBAKA, (2012), le taux de rentabilité financière doit être supérieur à zéro pour que l'activité engagée soit financièrement rentable. Ceci veut dire que, bien que les deux traitements soient financièrement rentables, ils ne le sont guère au même point : chaque 1 dollar investi dans le traitement T1 rapporte un bénéfice net de 1,4\$ supplémentaires tandis que chaque dollar investi dans le traitement T0 rapporte 0,6\$ de bénéfice.

A Kiliba, T3 présente le revenu net le plus élevé (1735,11\$ de bénéfice par hectare et par saison pour 856,3\$ investis, soit un taux de rentabilité financière de 2), alors que T4 présente le revenu net le plus faible (1044,97\$ pour 944,44\$ investis, soit un taux de rentabilité financière égale à 1,1, nettement inférieure au taux de rentabilité financière du traitement témoin T0 qui est égale à 1,77). A Runingu, par contre, les revenus nets sont bien inférieurs à ceux des deux autres sous-sites, avec T2 qui possède la valeur de revenu net la plus élevée (590,19\$ de bénéfice pour 779,47\$ investis, soit un taux de rentabilité financière de 0,75) ; tandis que T4 possède le revenu net le plus faible (19,57\$ de bénéfice par hectare et par saison pour 944,44\$ investis, soit un taux de rentabilité financière insignifiant de 0,02).

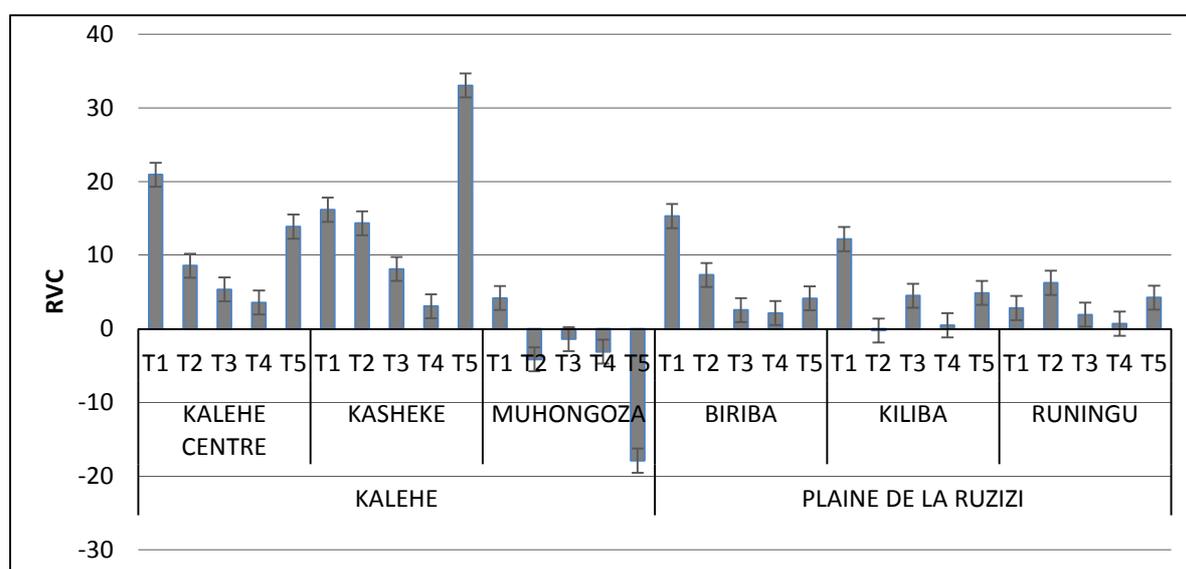
Dans le site de Kalehe, on constate que T1, T5 et T1 sont les traitements ayant procuré les revenus nets les plus élevés respectivement à Kalehe-centre, Kasheke et Muhongoza, tandis que T0, T0, et T4 ont donné les revenus nets les plus bas dans ces sous-sites respectifs. Le taux de rentabilité financière pour T1 à Kalehe-centre est de 2,8 alors qu'il est de 1,05 pour T0.

A Kasheke, ce taux est de 4,4 pour le traitement T5 alors qu'il est de 1,77 pour T0 et pour T4. A Muhongoza, ce taux est de 3,8 pour T1 et de 4,2 pour le traitement témoin T0. Cela s'explique par le fait que T1 occasionne plus de dépenses que T0 (dépenses dues à l'utilisation des engrais principalement, et qui ne sont pas proportionnelles à l'augmentation subséquente du revenu). Le traitement T4 présente quant à lui un taux de rentabilité financière de 0,89 qui est nettement inférieur à celui obtenu par les autres traitements.

Ces résultats s'accordent avec ceux obtenus par KINDINDA et *al.*, (2015) pour qui les doses les plus élevées n'étaient pas nécessairement les plus rentables, bien qu'elles génèrent le rendement le plus élevé tel qu'observé dans le cas de cette étude.

#### RAPPORT VALEUR/COÛT

La figure 8 donne le rapport Valeur/coût des différents traitements appliqués à la culture de maïs à Kalehe et dans la plaine de la Ruzizi. Les données brutes figurent en annexe 7.



**Figure 8: Rapport Valeur/Cout des différents niveaux de fertilisation de la culture du maïs dans les 2 sites**

Le rapport valeur/coût permet de déterminer si, et à quel niveau, un traitement individuel est rentable économiquement ou pas. Il fait office d'efficience économique et est obtenu en divisant la valeur du surplus de revenu obtenu grâce à l'utilisation des fertilisants par les coûts occasionnés par l'achat des dits fertilisants.

De ce fait, sur cette figure, on voit que dans le sous-site de Biriba, ce taux est très élevé pour le traitement T1 (RVC = 15,3) mais diminue drastiquement au fur et à mesure que le niveau et donc le coût d'application des fertilisants augmente, jusqu'à atteindre un niveau critique à T4 (RVC = 2,1). Cela pourrait signifier qu'à Biriba, la valeur du RVC est une fonction inverse du taux et donc du coût d'application des fertilisants.

A Kiliba, ce rapport est également très élevé pour le traitement T1 (RVC = 12,1) alors qu'il est énormément faible pour T4 (RVC = 0,4 < 2) voire négatif pour T2 (RVC = -0,2 << 2). T3 présente quant à lui un rapport plus ou moins acceptable (RVC = 4,5). En effet, d'après la FAO (2000), ce rapport doit être au moins égal à 2 pour permettre à l'exploitant agricole de couvrir les frais directs liés à l'utilisation des fertilisants dans son exploitation.

Ainsi, T1 serait le traitement le plus recommandable du point de vue économique dans le sous-site de Kiliba, suivi de T3. A Runingu, seuls T2 (avec un RVC = 6,2) et T1 (avec un RVC = 2,8) seraient recommandables économiquement. T3 et T4 présentent des rapports valeur/coût inférieurs à 2 et donc ne répondant pas au critère FAO.

En effet, l'adoption se fait avec réticence si ce rapport est entre 1,5 et 2 ; et en dessous de 1,5 il y a rejet (KAHO et *al.*, 2011). Dans le territoire de Kalehe, le sous-site de Muhongoza présente une fois de plus des particularités dans l'expression du rapport valeur/coût, T1 étant le seul traitement qui possède un RVC acceptable (autour de 4), tandis que tous les autres

traitements présentent des rapports négatifs et ne sont donc pas intéressants du point de vue économique. Par contre, T1 serait le traitement le plus recommandable sur le plan économique dans les deux autres sous-sites (RVC = 20,9 à Kalehe-centre contre 16,17 à Kasheke), suivi de T2 (8,5 à Kalehe-centre contre 14,3 à Kasheke), T3 et enfin T4.

## REFERENCES

- [1]. Abdul, R.; Farrukh, M.; Muhammad, E. S.; Safdar, H., and Naeem, A., 2011. Grain quality, nutrient use efficiency, and bioeconomics of maize under different sowing methods and NPK levels: 586-593. *Chilean Journal of Agricultural Research*.
- [2]. Agrawal, G. D.; Lunkad, S. K., and Malkhad, T., 1999. Diffuse agricultural nitrate pollution of groundwaters in India. *Water Sci. Tech.*, 39: 67–75.
- [3]. Bahati R, Etude sur l'état de la pauvreté au Sud-Kivu, une analyse basée sur les enquêtes 1-2-3 du DSCR, UCB 2009.
- [4]. Barber, S.A., 1976. Efficient fertilizer use: 114-117. In: F.L. Patteron (ed.): *Agronomic research for food*. Special Publication 26. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA: 79pp.
- [5]. Bijai, S.; Yavinder, S., and Sekhon, G.S., 1995. Fertilizer use efficiency and nitrate pollution of groundwater in developing Countries. *J. Contaminant Hydrol.*, 20: 167–184.
- [6]. CIMMYT, 1988. From agronomic data to farmer recommendation: An economics training manual: 25-33. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) Economics Program, Mexico D.F.: 79p.
- [7]. Cubaka, B. J., 2012. Evaluation de la rentabilité économique du maïs (*Zea mays*) cultivé sous fertilisation organo-minérale à Luhihi et Burhale. Mémoire inédit, UCB, 2012 :69p.
- [8]. FAO, 2000. Fertilizers and their use – A pocket guide for extension officers. Fourth edition. FAO, Rome : 34pp.
- [9]. FAO, 2006. Nutrient management guidelines for some major field crops. FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100, Rome, Italy : 115pp.
- [10]. Janssen, B. H., 2009. Do long-term experiments provide the key to sustainable soil productivity? (August 4, 2009). *The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI*. Sacramento, California: 17-33.
- [11]. John, P.S.; George, M., and Jacob, D., 2006. Sulphur fertilization in rice based cropping system in laterite soils of Kerala: 163–184. Proc. TSI-FAI-IFA Symposium-Workshop on Sulphur in Balanced Fertilization, October 4-5, 2006, New Delhi: 217pp.
- [12]. Kaho, F.; Yemefack, M.; Feujio-Tegwefouet, P., et Tchanthaouang, J., 2011. Effet combiné des 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.
- [13]. Kindinda, K. L. ; Kiluba, K. J. ; Tshipama, T. D. ; Kilumba, K. M. ; Mpoyo, M. G. ; Langunu, S. ; Muteba, K. M., et Nyembo, K. L., 2015. Mise en évidence des doses de fertilisants minéraux à appliquer aux nouvelles variétés de maïs introduites dans la région de Lubumbashi. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 12 (1) : 96-103.
- [14]. Mukengere, B. E., 2010. Evaluation de l'efficacité d'usage des engrais dans les sols dégradés du Sud-Kivu sur la culture du maïs et du haricot. Cas du groupement de Burhale. Mémoire inédit, UEA : 59pp.
- [15]. Ngongo, M.; Van ranst, E.; Baert, G.; Kasongo lenge, E.; Verdoodt, A.; Mujinya, B. B., et Mukalay, J., 2009. Guide des Sols en R.D. Congo, Tome I : Etude et Gestion. UGent, HoGent, UNILU : pp282.
- [16]. Nyembo, K. L.; Useni, S. Y.; Mpundu, M. M.; Bugeme, M. D.; Kasongo, L. E, et Baboy, L. 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, 59: 4286– 4296, *Journal of Applied Biosciences* : 11pp.
- [17]. Nyembo, K. L., 2010. Augmentation du rendement du maïs par l'exploitation de l'effet hétérosis des hybrides produits au Katanga, République Démocratique du Congo. Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi : 157pp.
- [18]. Prasad, R., 2007. Strategy for increasing fertilizer use efficiency. *Indian J. Fert.*: 53–62.
- [19]. Prasad, R., 2009. Efficient fertilizer use: The key to food security and better environment. *Journal of Tropical Agriculture*, New Delhi 110012, India : 17pp.
- [20]. Sanginga, N.; Okogun, J.A.; Vanlauwe, B.; Diels, J.; Carsky, R.J., and Dashiell, K., 2001. Nitrogen contribution of promiscuous soybeans in maize-based cropping systems.: 157-178. In: Tian, G. ; Ishida, R., and Keatinge, J.D.H., 2001: *Sustaining Soil Fertility in West Africa*. SSSA Special Publication, Number 58, Madison, USA : 328pp.
- [21]. Singh, R.P., 1985. Report of the All India Wheat Improvement Project. Wheat Agronomy 1984-85. Project Directorate for Wheat, New Delhi: 87pp.
- [22]. Singh, V.K.; Tiwari, R.; Gill, M.S.; Sharma, S.K.; Tiwari, K.N.; Dwivedi, B.S.; Shukla, A.K., and Mishra, P.P., 2008. Economic viability of site-specific nutrient management in rice-wheat cropping. *Better Crops-India*: 16–19.
- [23]. Tandon, H.L.S, 2004. Fertilizers in Indian Agriculture: from 20th – 21st Century. FDCO, New Delhi : 239pp.

- [24]. Vanlauwe, B.; Wendt, J., and Diels, J., 2001. Combined application of organic matter and fertilizer. 247-280 In: Tian G, Ishida F and Keating J : *Sustaining soil fertility in West Africa*. Soil Sciences Society of America, Special Publication N°58: 328pp.
- [25]. Zingore, S. ; Murwira, H.K. ; Delve, R.J., and Giller, K.E, 2007. Soil type, management history and current resource allocation: Three dimensions regulating variability in crop productivity on African smallholder farms. *Field Crops Research*, 101: 296-305.