

Optimisation de la production du maïs-grain par l'application des formulations d'engrais complexes (NPKSB) dans la zone du Nord Cameroun

[Optimization of grain corn production by the application of complex fertilizer formulations (NPKSB) in the North Cameroon region]

Dérik Pierre SAKATAI¹, Jean-Paul OLINA BASSALA¹, and Alifa MAHAMAT²

¹Institut de recherche Agricole pour le Développement (IRAD) centre de Maroua, BP : 33 Maroua, Cameroon

²Société du Développement du Coton du Cameroun (SODECOTON), BP : 302 Garoua, Cameroon

Copyright © 2018 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 study on evaluation of grain corn productivity of CMS 8501 variety was conducted in 04 sites of the North region, notably (Ngong, Touboro, Pitoa, and Béré). The objective of this study was to evaluate the grain corn productivity parameters in order to determine the technical way of production that provides the optimal result of grain corn production. The Fischer block combining 04 treatments with 06 repetitions was used to conduct this experimental field in the different test sites. The Linear Programming (LP) method and the Variance Analysis (ANOVA) were used to analyze obtained results. At 5% degree of significance, data analysis revealed that, the influence of the fertilizer formulation grain corn productivity is function of each locality (soil type) of production. On the other hand, the fertilizer formulation factor alone does not have a great influence on grain corn productivity. The cost-benefit analysis shows that, profit is maximized using the fertilizer formulation B = 12-20-18-5S-1B2O3 because it permits to get the best physical and economic maximum production in the zone of Béré compared to other areas. To validate this result the Linear Programming (LP) gave an optimal profit result of 168 095.65 CFA francs by using formulation B in the zone of Béré, a difference of 7 124.85 CFA francs representing lost gain produce of the corn grain productions in other localities. Our model (LP) recommends to the producers of the Béré localities, the production of corn on an area of 0.25 ha, to be able to optimize a profit of 168 095 CFA francs by combining respectively 3 360 CFA francs for the capital rent of the ground; 29 120 CFA francs for the fertilizers; 2 464 CFA francs for the capital packaging of seeds and herbicides; and above all, a higher intensity (168 man/day) of labor is necessary.

KEYWORDS: economic evaluation, productivity, fertilization, corn, North region.

RESUME: L'étude sur l'évaluation de la productivité du maïs grains de la variété CMS 8501 a été faite dans 04 sites d'essai de la région du Nord (Ngong, Touboro, Pitoa, et Béré). Il était question pour nous d'évaluer les paramètres de productivité des maïs grains afin de déterminer l'itinéraire technique qui fournirait un résultat optimal de la production de maïs grain. Le Bloc de Fischer combinant 04 traitements avec 06 répétitions a été utilisé pour la mise en place du champ expérimental dans les différents sites d'essai. La méthode de la Programmation Linéaire (LP) (logiciel GAMS) et l'Analyse de la Variance (SPSS) ont été utilisées pour l'analyse des résultats. L'analyse des résultats au seuil de 5% révèlent que l'influence des formulations d'engrais sur la productivité du maïs grains est plus fonction des localités (types de sols) de production. Par contre le facteur formulation d'engrais seul n'a pas une grande influence sur la production du maïs grain. L'analyse coût-bénéfice nous montre que le profit est maximisé en utilisant la formulation B = 12-20-18-5S-1B2O3 car elle permet d'avoir le maximum de produit physique et économique, les meilleurs dans la zone de Béré par rapport à d'autres zones. Pour valider ce résultat, la Programmation Linéaire (LP) nous a donné l'un des résultats de profit optimal de 168095,65 FCFA en utilisant la formulation B dans la zone de Béré, soit une différence de 7124,85 FCFA qui représente un manque à gagner des producteurs de maïs dans les autres localités. Notre modèle (LP) recommande aux producteurs de la localité de Béré, de produire le maïs sur une superficie de 0,25ha, pour

pouvoir optimiser un profit équivalent à 168095 FCFA en combinant respectivement 3360 FCFA pour capital de la location du terrain ; 29120 FCFA pour le capital des éléments fertilisants ; 2464 FCFA pour les capitaux d'emballage, des semences et des herbicides ; et surtout une forte intensité de « main d'œuvre (168hj) est nécessaire.

MOTS-CLEFS: Evaluation économique, productivité, fertilisation, maïs, Nord Cameroun.

1 INTRODUCTION

L'économie des pays de l'Afrique sub-saharienne repose essentiellement sur l'agriculture, les cas du Cameroun, et de la RD Congo qui emploient respectivement plus de 70% et 80% de leur population. Malgré ces proportions élevées, ils contribuent faiblement aux Produits Intérieurs Bruts. Comme la RD Congo, dont le maïs occupe la première place en termes de production céréalière et la deuxième parmi les cultures vivrières après le manioc [1]. Par contre au Cameroun, la production de maïs remplace progressivement celles du sorgho et du mil en partie sous l'impulsion de la SODECOTON [2]. Le maïs comme le riz se caractérise par la diversité de ses formes de consommation (épis frais bouilli ou grillé, couscous, bouillie de maïs, sanga), l'une ou l'autre pouvant être consommée par tous les groupes ethnolinguistiques du pays [3]. Ces auteurs notent que 90% des ménages interrogés consacrent au moins 60% de leur budget alimentaire à la consommation des céréales. D'après [2], le maïs bénéficie de plusieurs avantages car il se récolte plus vite et plus facilement, répond mieux aux engrais et à l'irrigation, connaît relativement peu de ravageurs, se transforme plus facilement et son goût est comparable à celui des sorghos et mils. Par ailleurs, la production des maïs ne nécessite pas de compétences spécifiques mais comme toute autre plante il faut connaître ses exigences et les respecter [4]. Plusieurs études sur l'évolution de la fertilité des sols menées par la recherche Agronomique au Nord-Cameroun par [5], [6], [7], ont mis en évidence les carences en potassium et en magnésium, auxquelles s'ajoutent celles déjà connues de l'azote des sols et l'insuffisance du phosphore disponible. Ces carences en éléments fertilisants entraînent une baisse des productions, notamment le cotonnier, et les cultures vivrières en l'occurrence le maïs qui est très sensible aux carences minérales du sol dans les zones septentrionales. Malgré ces nombreux atouts que présente la culture du maïs, on enregistre des bas rendements soit en moyenne de l'ordre de 0,8 tonne par hectare contre 2 à 5 tonnes respectivement pour des variétés traditionnelles et variétés améliorées.

Au vue de l'importance du maïs grain dans l'alimentation aussi bien humaine qu'animale, matière première pour la fabrication des provendes pour les volailles. Plusieurs efforts sont consentis pour pallier à la baisse des rendements de cette spéculation. Nous pouvons mentionner entre autres: la fertilisation minérale par les engrais chimiques [8], [9], [10], [11] ; la fertilisation organique [12], [13], [14], [15] ; l'utilisation des techniques culturales par la pratique des associations culturales, des rotations et des assolements [11], [16]. Les auteurs des références [2] et [17] pensent que pour atteindre l'augmentation des rendements de maïs et leur efficacité sur le plan agronomique et économique, il est fortement recommandé aux ménages agricoles d'utiliser les paquets technologiques combinant les engrais minéraux et organiques. Par ailleurs, une application adéquate des oligo-éléments dans les sols déficients augmente automatiquement l'efficacité d'utilisation des fertilisants NPK [18]. Au vu de tous ces inputs de production, l'élément azote joue un rôle important dans l'augmentation du rendement du maïs, en optimisant l'utilisation du phosphore, du potassium et des autres éléments par la plante [19]. La référence [20] ajoute qu'il faut associer à ces éléments fertilisants l'utilisation des semences améliorées qui, au premier chef, permettent de mieux valoriser les autres facteurs de production agricole. Toutes fois, l'application de ces techniques et éléments fertilisants paraissent plus délicats car [10] a démontré en région de Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo que, le coût élevé des mains d'œuvre de l'épandage et du buttage rendent l'emploi des fertilisants en culture de maïs incompatible au revenu des paysans. La référence [21] a montré également que la rentabilité économique des engrais diminuait avec l'augmentation des doses, conduisant à une augmentation du coût total de production. Malgré les efforts déployés par les producteurs qui sont restés inactifs en utilisant des techniques plus intensives, et en adoptant des nouvelles cultures, l'activité agricole plus précisément dans le grand nord du Cameroun n'est globalement pas très productive car les rendements des principales cultures restent faibles et la grande majorité des producteurs vit en dessous des seuils de pauvreté. C'est dans ce sens que [22] à Lubumbashi (RD-Congo) rapporte que la productivité du maïs n'est pas toujours proportionnelle à la quantité d'engrais apportée car 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. Ceci s'accorde avec les résultats obtenus par [9] qu'au-delà d'un certain seuil d'application de fertilisants, les rendements diminuent. Une étude réalisée sur l'intensification de la culture du maïs dans deux zones de la région du Nord (Gashiga et Ngong) par [23] nous révèle que le gain de rendement apporté par le second niveau d'intensification (200 kg/ha NPKSB (22-10-15-5-2) et 6 kg/ha de sulfate de zinc, au labour, et 120 kg d'urée apportée en trois reprises) était identique sur parcelles fertiles comme dégradées indiquant que la dégradation de ces dernières, avérée par leur moindre production permettait néanmoins une réponse à une intensification accrue. Plusieurs études intéressantes ont montré l'intérêt de l'analyse de la productivité et des contraintes de production du maïs grain, mais la programmation linéaire

(LP) semble être la réponse à la gestion efficiente des inputs de production afin d'améliorer le rendement de maïs. Autrement dit, l'application de la programmation linéaire n'est-il pas une solution efficace pour déterminer la valeur ajoutée qui est un manque à gagner pour les producteurs de maïs ? C'est ainsi que cette étude cherche à répondre aux questions suivantes : quelle est la combinaison technique et les quantités nécessaires des inputs qui permettent aux producteurs du maïs d'optimiser leur profit ?

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental est composé de bloc de Fischer comportant 04 traitements et 06 répétitions dans chaque site. Quatre formulations (A = 21-08-12-3S-1B2O3 (Vulgarisée par la SODECOTON) ; B = 12-20-18-5S-1B2O3 ; C = 14-23-14-5S-1B2O3 ; D = 15-15-15-6S-1B2O3) d'engrais ont été utilisées. Le matériel végétal utilisé est la variété CMS 8501 du maïs avec quatre sites (Touboro, Béré, Ngong, et Pitoa) d'essai en régie. Les unités expérimentales sont constituées de 06 lignes de 10 m de longueurs. L'essai compte six blocs séparés par des allées de 3m. Tous les prix des intrants ont été évalués au prix du marché. Les semis sont effectués du 15 juin et le 15 juillet 2016 en une journée par site, l'engrais et l'urée ont été apportés respectivement à 15 et 35 Jours Après Levé (JAL). Dès la maturation physique, toutes observations se font sur les deux lignes centrales, l'évaluation du nombre des pieds récoltés ont été compté, les poids des maïs grains ont été pesés sur chaque unité expérimentale relative à chaque traitement (formulation d'engrais) et par site d'essai. Lors des analyses de nos résultats, nous avons évalué nos données sur une superficie de 0,25 ha car [3] a démontré que dans le Nord Cameroun, la culture des maïs se développe sur des espaces réduits (en moyenne 0,25 ha), et ne permet pas d'assurer une production de masse pour une consommation annuelle.

2.2 OBJECTIFS ET OUTILS D'ANALYSE DES DONNÉES

2.2.1 OBJECTIF 1 : ÉVALUER LES EFFETS DES TRAITEMENTS (FORMULATIONS D'ENGRAIS) APPLIQUÉS SUR LA PRODUCTIVITÉ PHYSIQUE DU MAÏS-GRAINS

L'analyse de la variance (ANOVA, test de Duncan) a été utilisée, pour comparer les moyennes en volume de production selon les différentes formulations d'engrais appliquées, et sites d'essai choisis.

2.2.2 OBJECTIF 2 : ÉVALUER LES VALEURS DES COÛTS ET BÉNÉFICES DE CHAQUE TRAITEMENT UTILISÉ POUR LA PRODUCTION DU MAÏS-GRAINS

Nous nous sommes inspirés de la méthode de [24] qui s'appuie sur le Coût Total (CT) et le Revenu Total (RT), déterminant le point maximal (maximum physique et maximum économique) en rendement du maïs à différents degrés des traitements (doses d'azote) appliqués. Nos traitements sont constitués des différentes formulations (A, B, C, et D) d'engrais minérales appliquées sur les unités expérimentales dans plusieurs zones afin de mesurer le volume de la production. L'évaluation des coûts et bénéfices a été faite par traitements et par site d'essai.

2.2.3 OBJECTIF 3 : ÉVALUER LA PROFITABILITÉ OPTIMALE DE LA PRODUCTION DU MAÏS GRAINS

Pour atteindre cet objectif, nous avons défini cette fonction de l'objectif à maximiser pour notre problème dont la formule est donnée par :

$$\text{Max } Z = \sum RT - \sum CT \quad (1)$$

Avec :

RT= Revenu Total

CT= Coût Total

Le profit est donné dans le modèle utilisant tous les paramètres nécessaires suivants.

$$Z = (\text{Prix du produit} * \text{Quantité produit}) - ((\text{Coût du travail}) + (\text{Coût des éléments fertilisants}) + (\text{Coût de location du terrain}) + ((\text{Coût des herbicides}) + (\text{Coût d'emballage}) + (\text{Coût des semences}))$$

Fonction de l'objectif

$$\text{Max } Z = \sum RT - \sum CT \quad (2)$$

Avec :

$$RT = \sum P_i Y X_i \quad (3)$$

$$CT = C_{mo} - C_{ef} - C_{lop} - AC \quad (4)$$

Où le profit Z est maximisé P_i = prix de vente d'un sac de 100 kg maïs-grains

Y = Volume de la production du maïs-grains (nombre des sacs de 100 kg maïs-grains)

 X_i = Superficie allouée à la production du maïs-grains C_{mo} = Coût du travail (Intensité des mains d'œuvre) C_{ef} = Coût des éléments fertilisants C_{lop} = Coût de location du terrain

AC = Autres Charges d'intrants (semences, emballage et herbicides)

Tableau 1. Récapitulatif des données sur les ressources, le Revenu Total, Coût Total et profit en fonction de chaque site d'essai sur une surface de 0,25 ha

Sites d'essai	Ressources (inputs)					Profit (FCFA)
	MO (Hj)	Autres charges d'intrants (FCFA)	Éléments fertilisants (FCFA)	Location de la Parcelle (FCFA)	Quantité produit (Kg)	
Touboro	148	2200	27 000	4500	908,85	57351,15
Pittoa	142	2200	34 000	5000	991,40	107674,38
Ngong	142	2200	34 000	3000	1240,88	13755,33
Béré	150	2200	26 000	3000	1848,96	150085,4
Total	168	10000	136 000	20000	4500	

NB : MO correspond aux intensités des mains d'œuvre pour le défrichage, le labour, le semis, le sarclage, le buttage et la récolte. Ces totaux du tableau 1 sont estimés à partir des données d'AGRISTAT numéro 17 du Juillet 2012 du [25] pour la validation de notre modèle.

Pour la mise en équation de notre problème, nous avons défini les variables $X_1; X_2; X_3; X_4$ comme suit :

X_1 = quantité de maïs grain produit dans la zone de Touboro avec l'utilisation de tous les inputs de production contenus dans le tableau 1

X_2 = quantité de maïs grain produit dans la zone de Pittoa avec l'utilisation de tous les inputs de production contenus dans le tableau 1

X_3 = quantité de maïs grain produit dans la zone de Ngong avec l'utilisation de tous les inputs de production contenus dans le tableau 1

X_4 = quantité de maïs grain produit dans la zone de Béré avec l'utilisation de tous les inputs de production contenus dans le tableau 1

Z = fonction de l'objectif de la maximisation de profit

Contraintes

Il en ressort du tableau 1, les équations suivantes :

Disponibilité en travail (main d'œuvre):

$$148 X_1 + 142 X_2 + 142 X_3 + 150 X_4 \leq 168 \quad (6)$$

Disponibilité en capital pour la location du terrain:

$$45 X_1 + 50 X_2 + 30 X_3 + 30 X_4 \leq 200 \quad (7)$$

Disponibilité en capital pour les éléments fertilisants:

$$27 X_1 + 34 X_2 + 34 X_3 + 26 X_4 \leq 136 \quad (8)$$

Disponibilité en capital pour les Autres charges (semences, emballage, et herbicides):

$$22(X_1 + X_2 + X_3 + X_4) \leq 100 \quad (9)$$

$$\text{Max } Z = 57351, 15 X_1 + 107674, 38 X_2 + 13755, 33 X_3 + 150085, 4 X_4 \quad (10)$$

Avec la non négativité des variables : $X_1 ; X_2 ; X_3 ; X_4 \geq 0$

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 ÉVALUATION DES EFFETS DES TRAITEMENTS (FORMULATIONS) FORMULATIONS ET FACTEURS GÉOGRAPHIQUES DE VARIABILITÉ SPATIAL SUR LA PRODUCTION PHYSIQUE DES MAÏS GRAINS

Le tableau 2 nous présente les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA, test de Duncan) de comparaison des moyennes en volume de production selon les différentes formulations d'engrais appliquées, et sites d'essai choisis.

Tableau 2. Effet des traitements (formulations) et de la variabilité spatiale (localité) sur le maximum physique (Kg) des maïs-grains sur 0,25 ha.

Formulations d'engrais appliquées/sites d'essai	formulation D (15-15-15-6S-1B2O3)	formulation C (14-23-14-5S-1B2O3)	formulation A (21-08-12-3S-1B2O3)	formulation B (12-20-18-5S-1B2O3)
Béré	1697±420 ^{aA}	1864±254 ^{aA}	1885±210 ^{aA}	1947±314 ^{aA}
Ngong	1463±128 ^{bA}	1187±256 ^{aB}	1161±222 ^{aB}	1151±177 ^{aB}
Pitooa	963±365 ^{aB}	1088±336 ^{aC}	944±348 ^{aC}	968±110 ^{aC}
Toubooro	979±175 ^{aB}	854±156 ^{aC}	770±222 ^{aC}	1031±292 ^{aC}

NB : Les lettres majuscules comparent les différentes localités d'un type de formulation fixe. Les lettres minuscules comparent les productions des différentes formulations dans une zone fixe. Les productions qui sont statistiquement homogènes au seuil de 5% de signification portent les mêmes lettres.

Au seuil de 5%, le test du Duncan de l'analyse de variance du tableau 2 a révélé que le poids moyen de maïs égrené montre qu'il y'a des différences hautement significatives ($p=0,000$) entre les zones de production du maïs à une formulation d'engrais appliquée fixe. Cette comparaison des poids moyens en maïs grain se subdivisent en trois zones telles que Ngong, Béré, et les deux autres zones (Toubooro et Pitooa)). Donc il y'a l'influence de la localité sur le maximum physique du maïs grain produit dans ces différentes zones (Toubooro et Pitooa, Ngong, Béré).

Par ailleurs, l'effet des formulations d'engrais sur la production du maïs grains a été testé par l'analyse de la variance, le test du Duncan, nous révèle dans le même tableau 2 qu'il n'existe pas des différences significatives ($p=0,564$) au seuil de 5% entre le maximum physique maïs grains des différentes formulations d'engrais appliquées à une localité fixe, mais seule la localité de Ngong présente cette différence significative ($p=0,042$). Cette différence constatée dans cette zone est due au fait qu'il existerait des facteurs non contrôlables et inévitables tels que la pluviométrie, la texture et la structure du sol, les erreurs standards dues aux unités des mesures des traitements. Dans le même sens, [10] a démontré à Lubumbashi que les modes d'apport et des fractionnements moyens des doses d'engrais appliquées sur la culture du maïs n'influencent pas sur son rendement moyen. Par contre, le fractionnement de l'urée en deux doses a donné le rendement le plus élevé (8,7 tonnes par hectare). La référence [26] dans la zone du Nord d'Ottawa au Canada n'a pas obtenu de variation de rendement du maïs avec des différentes doses et fréquences de fertilisations azotées. L'étude sur le maïs-fourragier de [27] a montré également que l'effet de différents modes d'apport d'engrais azoté sur la production de la culture de maïs n'était pas significatif.

Par ailleurs, selon [1], l'effet de la fertilisation azotée sur la productivité des cultures du maïs est très variable. Et que T4 constitué des fumiers de poules se présente comme le meilleur traitement à vulgariser en milieu rural, et ces auteurs montrent que ce traitement peut améliorer la fertilité du sol et augmenter significativement les rendements de cultures. Ces résultats s'accordent avec celui de [14] sur un sol ferrallitique du centre Cameroun en vue d'évaluer les effets combinés des feuilles de *Tithonia diversifolia* (FTd) et des engrais inorganiques (NPK et urée) sur les propriétés du sol et les rendements de maïs nous révèlent qu'il existe des différences hautement significatives entre les traitements en première et deuxième campagne en ce

qui concerne les rendements de maïs grains variant de 1,8 à 6,4 t.ha⁻¹. Ses résultats ont démontré que les doses ont une influence sur les rendements (les traitements T4 et T5 ayant donné les rendements les plus élevés et le traitement T₀ les plus bas). Le résultat similaire constaté chez [17] montre que pour une formulation appliquée fixe, la moyenne en rendement est de 5,3 t/ha de maïs dans le territoire de Kalehe et de 3,3 t/ha dans la plaine de la Ruzizi. Pour lui, cette différence des rendements est expliquée par la différence des dotations en potentiels naturels de nutriments des sols. Pour le cas de notre étude, cette variabilité de la production des maïs-grain dans chaque zone serait influencée par d'autres facteurs tels que la pluviométrie (répartition des pluies) qui diffèrent d'une zone à une autre (Béré (992 mm), Ngong (987 mm), Pitoa (809 mm), et Touboro (1944 mm)). Ces résultats de la variabilité des pluies corroborent avec les études de [28] sur l'efficacité de deux modes d'apport de l'urée fractionnée appliqué à la volée ou en bande sur les plants de maïs dépendait de la distribution des précipitations et des conditions d'humidité du sol au moment de l'application. Allant dans le même sens, par rapport au phénomène de la pluviométrie, la référence [23] a mentionné également dans cette région du Nord Cameroun que seules les exploitations ayant bénéficié de conditions pluviométriques satisfaisantes et surtout pouvant valoriser correctement leur maïs, notamment en évitant de les vendre pendant la période suivant immédiatement les récoltes où les prix sont généralement bas, peuvent tirer profit d'une intensification accrue de la culture de maïs. Mais ces facteurs relatifs à la pluviométrie et à l'humidité du sol ne sont pas les seuls à considérer, car la texture et la structure du site d'essai influenceraient aussi, comme [29] soutenaient que l'augmentation de rendement serait due à l'amélioration des propriétés du sol et à la libération des éléments nutritifs. Cette augmentation de rendement est attribuable au changement favorable des conditions du sol, entraînant un bon développement des racines et une bonne assimilation des éléments nutritifs libérés par la matière organique elle-même ou en retenant les éléments nutritifs libérés par les engrais minéraux [30] et [31]. Comme notaient également [17] que les conditions pédoclimatiques seraient responsables de cet écart considérable vis-à-vis des rendements de maïs. Ces résultats s'accordent avec celui obtenu par [32], qui montre que l'efficacité des engrais dépend largement du type des sols dans lesquels ils sont placés. Mais nous constatons que parmi les formulations appliquées, la meilleure formulation serait le B (12-20-18-5S-1B2O3), car elle nous donne un maximum physique de 7,788 t/ha du maïs-grains par rapport à d'autres formulations.

3.2 EVALUATION DE LA PROFITABILITÉ DU MAÏS-GRAINS PAR LA MÉTHODE D'ANALYSE COÛT-BÉNÉFICE DES DIFFÉRENTES FORMULATIONS D'ENGRAIS APPLIQUÉES

Le tableau 3, nous présente les différents profits par formulation et par zone.

Tableau 3. *évaluation des valeurs économiques des maximums physiques par formulation et par zone d'essai sur une surface de 0,25 ha*

Formulation d'engrais appliquée	Touboro			Pitoa			Ngong			Béré		
	Qté (Kg)	Revenu Total (RT) (FCFA)	Profit (Z= RT-CT) (FCFA)	Qté (Kg)	Revenu Total (RT) (FCFA)	Profit (Z= RT-CT) (FCFA)	Qté (Kg)	Revenu Total (RT) (FCFA)	Profit (Z= RT-CT) (FCFA)	Qté (Kg)	Revenu Total (RT) (FCFA)	Profit (Z= RT-CT) (FCFA)
A	770,83	100207,9	39407,9	944,79	167700,22	99400,225	1161,45	72591,15	8791,15	1885,42	207395,8	154095,8
C	854,17	111042,1	50242,1	1088,54	193215,85	124915,85	1187,5	74218,75	10418,75	1864,58	205104,2	151804,2
D	979,17	127292,1	66492,1	963,54	171028,35	102728,35	1463,54	91471,35	27671,35	1697,92	186770,8	133470,8
B	1031,25	134062,5	73262,5	968,75	171953,12	103653,12	1151,04	71940,1	8140,1	1947,92	214270,8	160970,8
Total	3635,42	472604,6	229404,6	3965,62	703897,55	430697,55	4963,53	310221,35	55021,35	7395,84	813541,6	600341,6
Moyenne	908,85	118151,15	57351,15	991,40	175974,38	107674,38	1240,88	77555,33	13755,33	1848,96	203385,4	150085,4

NB : Qté = quantité ; FCFA= franc CFA ; les valeurs des Coûts Totaux (CT) de production (FCFA) et des prix d'un Kg en FCFA pour chaque site sont de l'ordre de : 60800 et 130 ; 68300 et 177,5 ; 68300 et 125 ; 53300 et 110 respectivement pour les zones de Touboro ; Pitoa ; Ngong ; Béré.

Ce résultat du tableau 3 nous montre que les productions (maximum physique et maximum économique) varient d'une zone à une autre selon la formulation appliquée. Mais seules les zones de Béré et de Touboro ont une production physique (respectivement 1031,25 kg et 1947,92 kg sur 0,25 Ha soient 4,1t/ha et 7,8t/ha respectivement) et le maximum économique (respectivement 73262,5 et 160970,8 FCFA sur 0,25 Ha dont les valeurs correspondent sensiblement à 293052,5 FCFA/ha et 643883,5 FCFA/ha) meilleurs avec la même formulation B, par contre la zone de Pitoa à son maximum physique et maximum économique avec la formulation C, et la zone de Ngong quant à elle à son maximum physique et maximum économique avec la formulation D. Cette variation de production constatée dans la zone du Nord est également obtenue par [17] au Sud de Kivu en RD Congo que, le paquet technologique composé de (90KgN+30KgP+15KgK+10 tonnes Matières Organiques) est

économiquement plus rentable dans la plaine de la Ruzizi avec un ratio de rentabilité de 1127,75 FCFA/ha et par saison. Par ailleurs, l'étude de [29] a obtenu sur 0,25 Ha une variabilité de 625 kg et 1448 kg de production (maximum physique) en appliquant les différents traitements d'engrais. Ses résultats varient avec la valeur négative de 77437,5 FCFA comme maximum économique sur une même surface de 0,25 Ha. Ces résultats corroborent avec celui de [17] qui stipule que les différents traitements T1, T3 et T2 procuraient un revenu brut plus élevé, respectivement à Biriba (1 175 804,5 FCFA/ha/saison), Kiliba (1 684 462 FCFA/ha/saison) et Runingu (890 279 FCFA/ha/saison).

Relativement au prix, nous avons enregistré un prix moyen de 135,5 FCFA/Kg dont les valeurs minimales et maximales varient entre 110 FCFA/Kg et 177,5 FCFA/Kg dans les quatre zones de productions du Nord. Ce prix moyen serait favorable au moins à trois zones (Béré, Ngong et Touboro) sur quatre. La hausse de prix dans la zone de Pitoa pourrait s'expliquer par le rapprochement (soit 15km) de cette localité au centre urbaine (ville de Garoua), car l'augmentation du coût de transport amènera les consommateurs à s'y rendre au lieu le plus proche, par conséquent la demande sera supérieure à l'offre du maïs grain d'où l'augmentation du prix au Kg (soit 177,5 FCFA) dans cette localité. Par contre, dans la même région Guibert et *al.* (2016) [23] ont noté que l'intensification accrue de la culture du maïs ne s'avère pas rentable pour le producteur de Ngong, site et année caractérisés par une pluviométrie déficitaire, alors qu'à Gashiga, c'est rentable à partir d'un prix d'achat de 120 FCFA.kg⁻¹. Par ailleurs, [14] notaient que le prix moyen du maïs dans les marchés de Yaoundé est d'environ 300 FCFA/kg. Comparativement au prix du maïs grain au Mali (Sikasso), en période de récolte qui varie entre 80 à 100 FCFA dans les marchés locaux. Alors que sur les marchés urbains nous enregistrons une valeur de 125 FCFA/kg (Octobre à Mars) à 250 FCFA/kg (Mai à Août) [4]. En outre, [29] a relevé dans la vallée de Niari que le prix de vente est instable et peut atteindre 200 FCFA/kg, et ils ont démontré que cette variabilité des prix d'un lieu à un autre se justifie généralement à l'augmentation du coût des transactions de la marchandise. La référence [33] au Sénégal notait que le prix US FOB Golfe de Mexique indique que le prix du maïs rendu à Dakar varie avant dédouanement entre 71 FCFA/kg à 153 FCFA/kg avec un prix moyen de 95 FCFA/kg pour une valeur de 63 à 76 F CFA/kg dans la vallée du fleuve Sénégal. Alors que [9] avait relevé que le prix moyen de la tonne de maïs dans les marchés de Lubumbashi est de 260 000 FCFA. L'analyse de [34] indique que le prix au champ est de 65 FCFA/kg de maïs grain. Tous ceci montrent que la valeur de la rentabilité économique varie d'un site à l'autre d'une part, et d'autre part suivant les rendements et surtout les périodes d'achat et de la vente du maïs grain (loi de l'offre et de la demande du maïs grain sur le marché).

La figure 1 nous décrit l'évaluation du niveau du profit par formulation et par site.

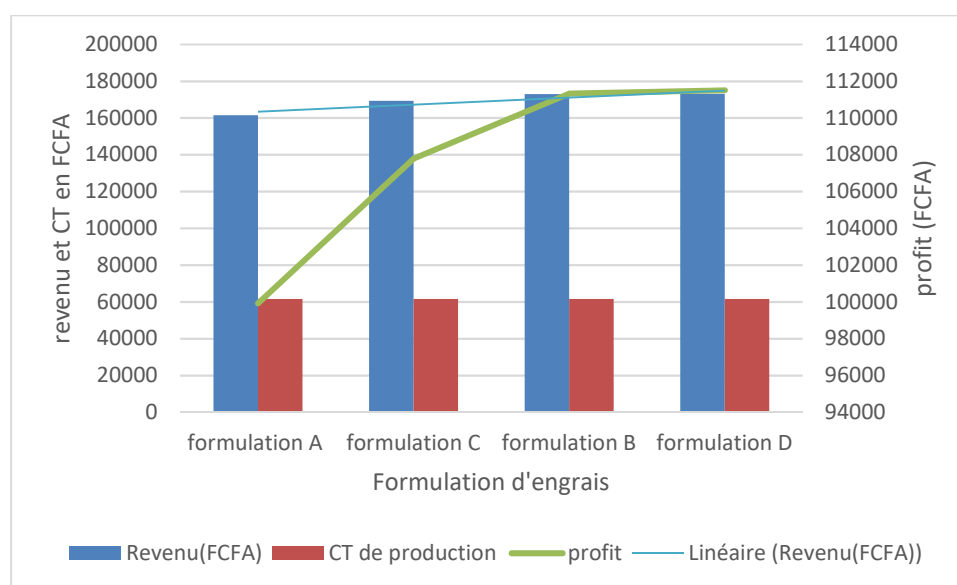


Fig. 1. Evaluation du niveau du profit en fonction des formulations d'engrais appliquées

La Figure 1 montre les meilleurs profits des formulations d'engrais qui sont de l'ordre de 111513,19 FCFA et 111336,61 FCFA correspondant respectivement à la formulation D = 15-15-15-6S-1B2O3) et B = 12-20-18-5S-1B2O3. Ces résultats s'accordent avec celui de [17] qui montre qu'il existe une grande variabilité dans les valeurs de revenu supplémentaire, de Revenu Net, et du Rapport Valeur Coût (RVC) obtenues grâce à l'utilisation des traitements (engrais) et des sites d'essai choisis

au Sud de Kivu en RD Congo. Des études faites au Cameroun par [14] ; au Kenya par [35]; ont également montré que le traitement T4 (5t.ha⁻¹ de Feuille de *Tithonia diversifolia*) composé essentiellement de la matière organique procurait les marges bénéficiaires les plus élevées. Paradoxalement, [10] a montré que les dépenses relatives à la main d'œuvre pour l'épandage et le buttage de cet engrais organique affectaient négativement la rentabilité économique de la culture de maïs à Lubumbashi, sud-est de la RD Congo.

3.3 EVALUATION DES INPUTS DE PRODUCTION DU MAÏS GRAINS PAR LA METHODE DE LA PROGRAMMATION LINEAIRE (LP)

Le tableau 4, nous montre les différents niveaux des quantités des ressources utilisées par rapport au niveau initialement disponible dans chaque zone de production.

Tableau 4. *évaluation des valeurs économiques des maximums physiques par formulation et par zone d'essai sur une surface de 0,25 ha*

Ressources	Quantités disponibles	Quantités utilisées	Productivités marginales
mains d'œuvre (Hj)	168	168	1000,57
capital pour la location du terrain (FCFA)	20000	3360	0
capital pour les éléments fertilisants (FCFA)	136000	29120	0
capital pour autres charges (herbicides, emballage, et semences) (FCFA)	10000	2464	0

Selon ces résultats du tableau 4, le modèle nous recommande qu'il faut prévoir pour 0,25 ha les valeurs suivantes : 3360 FCFA ; 29120 FCFA ; et 2464 FCFA respectivement pour le capital de la location du terrain, pour capital des éléments fertilisants (Engrais et Urée), et pour capital des Autres Charges (herbicides, emballage, et semences). Par contre, les productivités marginales de ces ressources sont nulles. Ceci veut dire que les capitaux totaux disponibles pour produire les maïs grains des zones sont en excès. Alors, ils ne nous permettront pas d'obtenir le profit optimal au vu des ressources dont on dispose. Ce qui veut dire que toutes ces ressources n'ont pas été utilisées ou épuisées dans la production. En d'autres termes, une unité supplémentaire de ces ressources n'ajouterait rien au profit. Comparativement, au Mali, [4] recommande 100 kg/ha de complexe céréales et 150 kg/ha d'urée, soit 5 sacs au total /ha pour une valeur de 28 000 FCFA à 0,25 ha. Par ailleurs, au Sud du Cameroun, vous pouvez aussi apporter 100 kg à 250 kg/ha d'engrais N P K S Mg 15-15-15-6-1 ou d'engrais complet 20.10.10 (soit une valeur de 20125 FCFA en moyenne pour 0,25ha sans apport d'Urée). D'autre part, [1] ont montré que l'utilisation des fertilisants organiques à dose de 7 tonnes de déchets humains recyclés associées à 150 kg de NPK et 100 kg d'urée est souhaitable pour une meilleure production de maïs. Les études similaires conduites au Kenya par [35] et [13], au Cameroun par [14], et à Lubumbashi par [15] ont également montré que la dose de 7 t.ha⁻¹ de déchets humains recyclés combinée à la forte dose des engrais minéraux donne le rendement maximal de 7,7 t.ha⁻¹ tandis que la dose minimale de 1,75 t.ha⁻¹ sans combinaison des engrais minéraux est plus rentable. La référence [35] recommande sur 0,25 ha, 15100 FCFA pour les éléments fertilisants. D'autres auteurs comme [36] ont recommandé pour la partie de la savane centrale d'Afrique qu'il faut 3 sacs de 14 N-24P₂O₅-14 K₂O-3,5 MgO (engrais spécifique maïs) + 1 sac d'urée + 5 kg de sulfate de Zinc/ha pour un rendement en grains de 4 à 5 t/ha (cycle long) et 2 à 3 t/ha (cycle court). Alors que pour un rendement en grains de 6 à 7 t/ha (cycle long) et 4 à 5 t/ha (cycle court) il en faut 5 sacs de 14 N-24 P₂O₅-14 K₂O-3.5 MgO + 10-15 kg de sulfate de Zinc/ha. La référence [9] recommande 300kg NPKS+200 kg Urée par hectare dont le coût d'achat unitaire revient à 35 750 FCFA pour un sac de 50 kg NPKS et 32 500 FCFA pour un sac de 50kg d'urée.

Cependant, la productivité marginale « Shadow price » de la main d'œuvre est de 1000,57 FCFA; cela signifie qu'une augmentation d'Homme jour (Hj) de cette ressource augmenterait l'un des profits optimaux de 1000,57 FCFA, donc le profit optimal passera de 168095.65 FCFA à 169096,22 FCFA.

Pour connaître la zone de production par excellence, une comparaison des résultats du modèle entre les zones de Touboro, Pitoa, Ngong, et Béré, est illustré dans le tableau 5.

Tableau 5. productions des différentes zones en fonction des quantités (disponibles et utilisées) et productivités marginales du modèle du GAMS sur une surface de 0,25 ha

Sites de production	Quantités disponibles	Quantités utilisées	Productivités marginales
Site de production de Touboro	0	0	-90730
Site de production de Pitoa	0	0	-34410
Site de production de Ngong	0	0	-128300
Site de production de Béré	0	1,120	0

De ce tableau 5, l'une des solutions optimales peut être déduite quand le coût réduit (productivité marginale des produits) pour la production de chaque zone sont de l'ordre de : 90730 FCFA pour la zone de Touboro, 34410 FCFA pour la zone de Pitoa, et 128300 FCFA pour la zone Ngong. Alors que la zone de Béré à un coût réduit de 0, pour 1,120 de la quantité utilisée.

A l'issue de ces résultats, la comparaison des quantités nécessaires et productivité marginale de la production du maïs par zone nous montre qu'il serait donc plus profitable de produire le maïs dans la zone de Béré que d'autres zones (Touboro, Pitoa, Ngong) avec une forte intensité en main d'œuvre (soit 168 Hj pour 0,25 ha). Par ailleurs, [23] a montré la différence de la valorisation de la journée de travail soit une moyenne de plus de 1 000 FCFA (8 heures de travail qui est égale à 1Hj) en faveur des champs fertiles. Ces valorisations des journées de travail sont faibles sur champs dégradés de deux sites, soit une moyenne de 560 FCFA /Jour et trois fois plus importantes sur sols fertiles. Par contre, [33] avait recommandé 86 Hj/Ha pour la main d'œuvre familiale, et 20 Hj main d'œuvre saisonnière pour récolte. BNDA (2015) [4] notait que deux à trois sarclages manuels sont nécessaires pour la phase d'entretien de la culture. La référence [34] a évalué que les charges de main-d'œuvre, quant à elles, sont de 8,4 % environ du coût de production. Cependant, si l'on force de produire le maïs dans l'une des zones de Touboro, Pitoa, et Ngong, le profit optimal serait diminué respectivement de 90730, 34410, 128300 FCFA d'où l'un des profits optimaux passera de l'ordre de 168095,65 FCFA à 77365,65FCFA, 133685,65FCFA, et 133685,65FCFA respectivement. Alors que le résultat de l'analyse coût-bénéfice nous a donné un profit maximum de 160970,8 FCFA avec l'utilisation de la formulation B = 12-20-18-5S-1B2O3 dans la zone de Béré. Quant à la Programmation Linéaire (LP), l'un des résultats optimal est de 168095,65 FCFA soit une différence de 7124,85 FCFA comme valeur ajoutée (manque à gagner) sur le profit maximum. Par contre, le résultat du [33] évaluait le profit à 154 401 FCFA/ha en culture irriguée. Et [34] pour leur part estimaient le bénéfice à 153 575 FCFA. Cette comparaison nous amène à dire que le modèle de Programmation Linéaire (LP) est meilleur par rapport à d'autres méthodes d'analyse car il nous permet d'obtenir un résultat meilleur par rapport à d'autres.

4 CONCLUSIONS

Au terme de notre analyse, nous pouvons conclure qu'en dehors de la formulation B = 12-20-18-5S-1B2O3, qui montre un effet positif dans tous les sites, il ressort des analyses que, l'influence des différentes formulations d'engrais (traitements) sur la production de maïs grain est différente selon les sites. Certaines formulations montrent un impact très positif sur le rendement dans un site, alors que la même formulation s'avère moins significative dans un autre site (effet site est très significatif selon les formulations). La pluviométrie, la texture, et la structure des différents sites pourraient expliquer les rendements.

L'analyse aurait été encore plus importante si on avait une petite description des sols des sites et la pluviométrie pour compléter l'argumentaire. En outre, quel que soit le type des formulations d'engrais appliquées, les zones de Béré et de Ngong ont une meilleure production en rendement du maïs grains par rapport aux deux autres localités. Ceci s'explique par le fait qu'une bonne répartition des pluies accompagnée d'intense désherbage accroît les rendements du maïs grains quel que soit le type des formulations choisies.

Pour avoir le profit optimal, la zone de Béré est une zone de production du maïs par excellence avec une combinaison des niveaux des ressources nécessaires tels que le capital pour la location du terrain (3360 FCFA), le capital pour les éléments fertilisants (soit 29120 FCFA pour la formulation B), les capitaux pour l'emballage, les semences et les herbicides (2464 FCFA). Et enfin une forte intensité en main d'œuvre de l'ordre de 168 Hj sont recommandés car il y'a un manque à gagner d'une valeur ajoutée de 7124,85 FCFA en utilisant le modèle de la Programmation Linéaire (LP) par rapport à l'analyse coût-bénéfice. Cette étude nous a permis de comprendre que les performances technico-économiques de l'agriculture au Nord Cameroun, bien que limitées par les aléas pluviométriques (mauvaises répartitions des pluies, sécheresses et inondations), et surtout par la faible fertilité des sols, peut connaître un essor de progression dans les rendements des cultures comme le maïs avec de bonnes pratiques culturales, notamment une fertilisation adaptée à chaque zone de production.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Société du Développement du Coton du Cameroun (SODECOTON) qui a mobilisé les fonds pour la réalisation des travaux de cette étude.

REFERENCES

- [1] Nyembo, K. L., Ilunga Tabu, H., Muyambo Musaya, E., Ekondo Okese, A., Mick Assani, B.L., Kanyenga Lubobo, A., Mpundu Mubemba, M., and Baboy Longanza, L., Influence de la fertilisation à base des déchets humains recyclés, des engrais minéraux et de leur combinaison sur le comportement de 3 variétés de maïs (*Zea mays* L.). *Journal of Applied Biosciences* 77:6500–6508. ISSN 1997–5902. 2014.
- [2] Barbier, B., Weber, J., Dury, S., Hamadou, O., and Seignobos, C., Les enjeux du développement agricole dans le Grand Nord du Cameroun. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djamena, Tchad -Cirad, Montpellier, France. 2002.
- [3] Fofiri, E. J., Ndamé, J.P., Temple, L., Dury S., Ndjouenkeu, R., and Kamdem, S. M., L'émergence du maïs dans la consommation alimentaire des ménages urbains au Nord-Cameroun. *Economie rurale* (318-319): 65-79. 2010.
- [4] Banque National du Développement agricole (BNDA)., Fiche technique maïs. Version 1.0. (Bamako, Ségou et Sikasso) Mali. 2015.
- [5] Guyotte, K., José, M., and Ekorong, J., Fertilité des sols et réponse du cotonnier à la fertilisation. In Seiny Boukar L., Poulain J.F., Faure G. (eds), 1997. *Agricultures des Savanes du Nord-Cameroun : Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique Centrale*, Actes de l'atelier d'échanges, 25-29 Novembre 1996, Garoua, Cameroun, Montpellier, CIRAD-CA, France, 520 p. 1997.
- [6] Fresneau, C., Guibert, H., and M'biandoun, M., Evolution de la fertilité des sols cultivés sous systèmes de production à base de culture cotonnière au Nord-Cameroun. Communication au séminaire SCV-Agrobiologie, Maroua, 24-28 Septembre 2007, 15p. 2007.
- [7] Olina Bassala, J.P., M'Biandoun, M., Ekorong, J.A., and Asfom, P., Evolution de la fertilité des sols dans un système cotonnier-céréales au Nord-Cameroun: diagnostic et perspectives. *Tropicultura*, vol. 26, 4, 240-245. 2008.
- [8] Galla, B. T. J., Maméri, C., Yao-Kouame, A., and Keli Zagbahi, J., Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau : Cas de la zone de Gagnoa dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 46: 3153–3162. ISSN 1997–5902. 2011.
- [9] Nyembo, K. L., Useni, S.Y., Mpundu, M.M., Bugeme, M.D., Kasongo, L.E., and Baboy, L.L. Effet des apports des doses variées des fertilisants inorganiques (NPK et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique des nouvelles variétés de *Zea mays* L à Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences* 59: 4286-4296. 2012.
- [10] Nyembo, K.L., Useni S.Y., Chinawej, M. M. D., Kyabuntu, I.D., Kaboza, Y., Mpundu, M.M., Tshomba, K.J, Ntumba, N. F., Muyambo, M. E., Kapalanga, K P, Mpundi, M.M., Bugeme, M. D, and Baboy, L. L., 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. *Journal of Applied Biosciences* 65: 4945-4956. 2013.
- [11] Roose, E., Albergel, J., De Noni, G., Sabir, M., and Laouina, A., Efficacité de la GCES en milieu semi-aride, AUF, EAC et IRD éditeurs, Paris. 425 pp. 2008.
- [12] Ganry, F., Sanogo, Z.J. L., Gigou, J., and Olivier, R., Intensification du système cotonnier-sorgho au Mali-sud fondée sur le fumier et la gestion optimale de la fertilisation. In: *La jachère en Afrique tropicale: Rôles, aménagements, alternatives*. Actes du séminaire International, Dakar, 13-16 avr. 1999, vol.I, John Libbey, Paris, 804 pp. 2000.
- [13] Jama, B., Palm, C.A., Buresh, R.J., Niang, A.I., Gachengo, C., and Nziguheba, G., *Tithonia* as a green manure for soil fertility improvement in Western Kenya: a review. *Agroforestry Systems*, 49: 201-221. 2000.
- [14] Kaho, F., Yemefack, M., Feujio-Tegwefouet, P., et Tchanthaouang, J.C., Effet combiné de feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur le rendement du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au centre du Cameroun. *Tropicultura*, 29 (1): 39 – 45. 2011.
- [15] Useni, S.Y., Baboy, L.L., Nyembo, K.L., and Mpundu, M.M., Effets des apports combinés de bio déchets 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. 2012.
- [16] Lompo, F., Effets induits des modes de gestion de la fertilité sur les états du phosphore et la solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina-Faso. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles. Université de Cocody, Côte d'Ivoire. 214 pp. 2008.
- [17] Bahati, R., Masamba, W., and Bulangashane, G., 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. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. ISSN 2028-9324 Vol. 20 No. 2 May. 2017, pp. 461-478, 2017.
- [18] John, P.S.; George, M., and Jacob, D., 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. 2006.
- [19] Banza, M. J.; Nyembo, K. L.; Salima, B. S. N.; Tshipama, T. D.; Kilumba, K. M.; Mpoyo, M. G.; Langunu, S.; and Muteba, K. M., Les faibles doses d'engrais azotés ne permettront pas d'optimiser le rendement des nouvelles variétés de maïs dans la région de Lubumbashi (RD Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. ISSN 2028-9324 Vol. 12 No. 1 Jul. 2015, pp. 176-182, 2015.
- [20] Malisawa, S. C., Tebagwe, J.M.A., and Samy, I.W.U., Etude comparative des pratiques culturales urbaines et périurbaines dans la ville de Lubumbashi : cas de la culture de maïs. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 29 (2017) 55 – 66. ISSN 1813-3290, 2017.
- [21] Kouame, K. A. S., Yte, W., Doumbia, S., Konan, K.E., Kouassi, N.A., Kone, B., and Sekou, D., Détermination de la dose de fumure potassique sous culture de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) dans les conditions du sud-est de la cote d'Ivoire : cas du matériel végétal en cours de vulgarisation. *European Scientific Journal*, June 2014, édit vol 10, N° 18 : 1857-7881. 2014.
- [22] Kindinda, K. L.; Kiluba, K. J.; Tshipama, T.D.; Kilumba, K.M.; Mpoyo, M.G.; Langunu, S.; Muteba, K. M., and Nyembo, K.L., 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. 2015.
- [23] Guibert, H., Pinardel, K. K., Olina, B.J.P., et M'biandoum, M., Intensifier la culture du maïs pour améliorer la sécurité alimentaire: le producteur du Nord Cameroun y a-t-il intérêt ?. *Projet de manuscrit*. Activé par Editorial Manager® et Preprint Manager® appartenant à Aries Systems Corporation. 2013.
- [24] Kay, R.D., Edwards, W.M., et Duffy, P.A., *Farm management* (Sixth Edition). Mc Graw Hill, New York, USA. 2007.
- [25] MINADER., *Annuaire des Statistiques du Secteur Agricole Campagnes 2009 et 2010*. AGRISTAT, Juillet 2012, Direction des Enquêtes et des Statistiques Agricoles. 2012.
- [26] Gubbels, G., Interaction of cultivar and seeding rate on various agronomic characteristics of lax. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 303-309. 1978.
- [27] Zizka, J., and Isfan, D., Effet des sources, des méthodes d'application et du fractionnement de l'azote chez le maïs fourrager. *Naturaliste Can.* 117: 183–188. 1990. consulté sur www.fao.org (17/03/2018)
- [28] Chen, J. S., and Mackenzie, A. F., 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. 1993.
- [29] Mankoussou, M., Mialoundama, F., and Diamouangana, J., Évaluation économique de quelques niveaux de fertilisation du maïs (*Zea mays* L. variété Espoir) dans la Vallée du Niari, République du Congo. *Journal of Applied Biosciences* 111: 10894-10904. ISSN 1997-5902. 2017. Consulté sur <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v111i1.7> (23/01/2018)
- [30] Tejada, M., Hernandez, M.T., and Garcia, C., Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *J Environ. Qual.*, 35: 1010-1017. 2006.
- [31] Maftoun, M., Moshiri, F., Karimian, N., and Ronaghi, A.M., Effects of two organic wastes in combination with phosphorus on growth and chemical composition of spinach and soil properties. *J. Plant Nutr.*, 27(9):1635-1651. 2004.
- [32] Mukengere, B.E., 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 de fin d'études*, Faculté des Sciences Agronomiques et environnement, Université Evangélique en Afrique, 59p, 2010.
- [33] Societe Nationale D'aménagement Et D'exploitation Des Terres Du Delta Du Fleuve Sénégal Et Des Vallées Du Fleuve Sénégal Et De La Faleme (SAED)., *Fiche Itinéraire Technique Du Maïs*. Une filière agro-industrielle en expansion dans la vallée. 200, Avenue Insa Coulibaly–Sor– saint-Louis. 2009.
- [34] Maybelline, E.T.H., and Abdou, M., *Production et transformation du maïs*, La collection Pro-Agro, ISF Cameroun–BP 7105 –Douala-Bassa - Cameroun © CTA et ISF 2012. consulté sur www.isf-cameroun.org (22/12/2017), 2012.
- [35] Muna-Mucheru, M., Mugendi, D., Kung'u, J., Mugwe, J., and Bationo, A., Effects of organic manure and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya. *Agroforestry Systems*, 69:189-197. 2007.
- [36] Feujio, P., and Youri, A., *Itinéraire technique recommandé pour une production intensive des variétés sélectionnées*. IRAD, Station Polyvalente Garoua, BP 415, Garoua, Cameroun. 2002.

ANNEXES

ANNEXE 1 : INPUT GAMS

```

*VERSION PRIMAL DU PROBLEME
SETS
J PRODUCTIONS/MAIST, MAISP, MAISNG, MAISB/
I RESOURCES/MO, CAC, CLT, CEF/;
PARAMETERS
C(J) GROSS MARGINS OF PRODUCTIONS ACTIVITIES (FCFA PER QUART)
/MAIST 57351.15, MAISP 107674.38, MAISNG 13755.33, MAISB 150085.4/
B (I) RESOURCE AVAILABILITY
/MO 168, CAC 2500,CLT 5000, CEF 136000/;
TABLE A(I,J) TECHNICAL COEFFICIENTS MATRIX
  MAIST MAISP MAISNG MAISB
MO 148 142 142 150
CAC 2200 2200 2200 2200
CLT 4500 5000 3000 3000
CEF 27000 34000 34000 26000;
VARIABLES
Z TOTAL GROSS MARGINS(FCFA)
PRODUCTIONS LEVELS OF PRODUCTIONS ACTIVITIES(FCFA)
POSITIVE VARIABLE PRODUCTIONS;
EQUATIONS
OBJFN OBJECTIVE FUNCTION
CONSTRNT(I) RESOURCE CONSTRAINTS;
OBJFN..Z=E= SUM(J,C(J)*PRODUCTIONS(J));
CONSTRNT(I)..SUM(J,A(I,J)*PRODUCTIONS(J))=L=B(I);
MODEL IRADMAIS /ALL/;
SOLVE IRADMAIS USING LP MAXIMIZING Z;

```

ANNEXE 2 : OUTPUT GAMS

```

Model Statistics SOLVE IRADMAIS Using LP From line 27
MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS 2 SINGLE EQUATIONS 5
BLOCKS OF VARIABLES 2 SINGLE VARIABLES 5
NON ZERO ELEMENTS 21
GENERATION TIME = 0.000 SECONDS 4 Mb WEX228-228 Jul 26, 2008
EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 4 Mb WEX228-228 Jul 26, 2008
GAMS Rev 228 x86_64/MS Windows 11/29/17 08:16:21 Page 5
:EXO DU GROUPE 6
Solution Report SOLVE IRADMAIS Using LP From line 27
S O L V E S U M M A R Y
MODEL IRADMAIS OBJECTIVE Z
TYPE LP DIRECTION MAXIMIZE
SOLVER CPLEX FROM LINE 27
**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS 1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE 168095.6480

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.019 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000
ILOG CPLEX Aug 1, 2008 22.8.1 WEX 5924.6015 WEI x86_64/MS Windows
Cplex 11.1.1, GAMS Link 34

```

LP status(1): optimal
Optimal solution found.
Objective : 168095.648000
LOWER LEVEL UPPER MARGINAL
---- EQU OBJFN . . . 1.000
OBJFN OBJECTIVE FUNCTION
---- EQU CONSTRNT RESOURCE CONSTRAINTS
LOWER LEVEL UPPER MARGINAL
MO -INF 168.000 168.000 1000.569
CAC -INF 2464.000 10000.000 .
CLT -INF 3360.000 20000.000 .
CEF -INF 29120.000 1.3600E+5 .

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL
---- VAR Z -INF 1.6810E+5 +INF .
Z TOTAL GROSS MARGINS (FCFA)
---- VAR PRODUCTIONS LEVELS OF PRODUCTIONS ACTIVITIES (FCFA)
LOWER LEVEL UPPER MARGINAL
MAIST . . +INF -9.073E+4
MAISP . . +INF -3.441E+4
MAISNG . . +INF -1.283E+5
MAISB . 1.120 +INF .

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED
EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 2 Mb WEX228-228 Jul 26, 2008
USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC G871201/0000CA-ANY
Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com DC0000
**** FILE SUMMARY
Input F:\BIBLIO MAIS\Untitled_13 OPTIMAL PRODUCTION IRAD.gms
Output C:\Users\SAKATAI PIERRE\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_13 OPTIMAL
PRODUCTION IRAD.lst