

## Effet de la formule unique d'engrais $23-10-05 + 3,6S + 2,6Mg + 0,3Zn$ sur le rendement du maïs Barka dans la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso

Adama TRAORÉ\*, Louis Poulouma YAMEOGO, Isdine Aziz Nabon DA, Karim TRAORÉ,  
Pascal BAZONGO et Ouola TRAORÉ

*Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Département Gestion des Ressources Naturelles et Système de Production (GRN / SP), INERA-Farako-Bâ, Laboratoire Sol-Eau-Plante (SEP), 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso*

\* Correspondance, courriel : [tr\\_adama@yahoo.fr](mailto:tr_adama@yahoo.fr)

### Résumé

Le Burkina Faso est caractérisé par une pauvreté originelle de ses sols en éléments nutritifs majeurs. Les engrais minéraux demeurent donc une alternative si l'on veut convenablement nourrir les cultures pour espérer de bons rendements. Les marchés burkinabè sont inondés chaque année par de nombreuses formulations sans une fiche technique appropriée pour guider les utilisateurs. C'est le cas de la formulation unique d'engrais pour le maïs ;  $23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn$  dont la dose appliquée est estimée à 300 kg/ha par les firmes avec une imprécision sur les périodes d'apport. Afin d'élaborer une fiche technique, un dispositif en bloc de Fisher complètement randomisé en 4 répétitions a été mis en place en station de recherche dans la zone sud-soudanienne du Burkina Faso. Ces traitements composés de différentes doses et de périodes d'apport étaient composés de : T0 : Sans apport de fertilisant ; T1 : Formulation Unique (FU) 200 kg/ha à 15 JAS + FU 100 kg/ha à 30 JAS ; T2 : FU 100 kg/ha à 15 JAS + FU 200 kg/ha à 30 JAS ; T3 : NPK 200 kg/ha à 15 JAS + 100 kg/ha urée à 30 JAS (fertilisation recommandée) ; T4 : FU 200 kg/ha à 15 JAS + urée 50 kg/ha à 30 JAS et T5 : FU 100 kg/ha à 15 JAS urée 100 kg/ha à 30 JAS. Les résultats obtenus montrent des différences statistiquement significatives entre les traitements. Les meilleurs rendements en grain (1811 kg/ha) et en biomasse (2126 kg/ha) de maïs sont enregistrés avec la formulation unique T2. Avec les mêmes doses d'engrais mais de périodes d'apports différents, le traitement T1 (1820 kg/ha) est statistiquement moins performant que le traitement T2 et est identique à la fumure minérale vulgarisée T3 (1298 kg/ha). Toutes les fumures ont obtenu un Ratio Valeur/Coût (RVC) > 2 indiquant des fumures performantes et attractives pour le producteur. Le meilleur RVC de 3,77 a été obtenu avec le traitement T2. Les apports aux doses de 100 kg/ha à 15 JAS et 200 kg/ha à 30 JAS de la formulation unique d'engrais sont les meilleures doses et de périodes d'apports pour une augmentation économiquement rentable des rendements du maïs.

**Mots-clés :** engrais, formulation unique, maïs, rendement, Burkina Faso.

### Abstract

**Effect of the single fertilizer formula  $23-10-05+3.6S+2.6Mg+0.3Zn$  on the yield of maize variety Barka in the south-Sudanese zone of Burkina Faso**

Burkina Faso is characterized by an original poverty of its soils with major nutrients. Mineral fertilizers therefore remain an alternative if we want to properly feed the crops in order to hope for good yields. The markets in Burkina Faso are flooded every year with numerous formulations without an appropriate technical

sheet to guide users. This is the case with the unique fertilizer formulation for maize; 23-10-05 + 3,6S + 2,6Mg + 0,3Zn whose applied rate is estimated at 300 kg.ha<sup>-1</sup> by the firms with an imprecision on the periods of application. In order to develop a technical sheet, a Fisher block device completely randomized in 4 repetitions was set up at a research station in the South Sudanese zone of Burkina Faso. These treatments composed of different doses and periods of intake were composed of: T0: Without fertilizer intake; T1: Single formulation (FU) 200 kg.ha<sup>-1</sup> at 15 DAS + FU 100 kg.ha<sup>-1</sup> at 30 DAS; T2: FU 100 kg.ha<sup>-1</sup> at 15 DAS + FU 200 kg.ha<sup>-1</sup> at 30 DAS; T3: NPK 200 kg.ha<sup>-1</sup> at 15 DAS + 100 kg.ha<sup>-1</sup> urea at 30 DAS (fertilization recommended); T4: FU 200 kg.ha<sup>-1</sup> at 15 DAS + urea 50 kg.ha<sup>-1</sup> at 30 DAS and T5: FU 100 kg.ha<sup>-1</sup> at 15 DAS urea 100 kg.ha<sup>-1</sup> at 30 DAS. The results obtained show statistically significant differences between the treatments. The best yields of grain (1811 kg.ha<sup>-1</sup>) and biomass (2126 kg.ha<sup>-1</sup>) of corn are recorded with the unique T2 formulation. With the same doses of fertilizer but with different periods of application, the T1 treatment (1820 kg.ha<sup>-1</sup>) is statistically less efficient than the T2 treatment and is identical to the popular mineral fertilizer T3 (1298 kg / ha). All the manures obtained a Value/Cost Ratio (RVC) > 2 indicating effective manures and attractive for the producer. The best CVR of 3.77 was obtained with the T2 treatment. The 100 kg.ha<sup>-1</sup> at 15 DAS and 200 kg.ha<sup>-1</sup> at 30 DAS doses of the single fertilizer formulation are the best doses and timing for an economically profitable increase in corn yields.

**Keywords :** *fertilizers, single formulation, maize, yield, Burkina Faso.*

## 1. Introduction

L'agriculture est la principale source d'emplois et de revenus pour plus de 80 % de la population burkinabè [1]. Malgré ce poids prépondérant et l'allocation chaque année de 10 % du budget national, les niveaux de revenus demeurent bas et la production agricole a du mal à nourrir une population en nette croissance [1]. En effet, les sols du Burkina Faso sont caractérisés par leur pauvreté en éléments minéraux et en matière organique [2, 3]. Plusieurs auteurs, dont les références [4, 5], expliquent cette situation par une pauvreté originelle des sols en éléments nutritifs. Les rendements dans la plupart des cas sont faibles [6]. Pour donc obtenir de bons rendements, il faut nécessairement faire recours aux engrais minéraux pour nourrir adéquatement les cultures [7 - 9]. Afin de répondre aux besoins des utilisateurs, les structures de recherches au Burkina Faso ont identifié les besoins en fertilisants minéraux des principales cultures en fonction des zones agroécologiques par la production de fiches techniques [10]. Cependant, force est de reconnaître des dérives constatées dans l'utilisation des engrais minéraux par les utilisateurs dans la production agricole [11]. Les dérives sur la fertilisation dénotent un problème de non-respect des doses, mais aussi de la faible valorisation de l'engrais, à cause de son apport presque toujours tardif et sans enfouissement. Cela entraîne comme conséquences une inefficacité de ces engrais qui constitue une perte d'argent et source de pollution de l'environnement [12, 13]. Plusieurs formulations d'engrais sont disponibles sur les marchés burkinabè [14]. Cependant, beaucoup de ces engrais sont méconnus des structures de recherche nationale et arrivent auprès des producteurs la plupart non instruits sans aucune notion technique sur leur utilisation. Parmi ces nouvelles formules actuelles sur le marché burkinabè figure la formulation 23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn qui est une formulation unique pour le maïs et diversement utilisée par les producteurs et les techniciens sur le terrain avec cependant de bonnes performances. Il faut noter que la culture du maïs jadis classé à la 3<sup>ème</sup> place des céréales les plus produites au Burkina Faso est entrain de se hisser depuis 2011 à la seconde place après le sorgho [15]. Cet engouement pour sa culture tient du fait qu'elle est relativement plus facile avec des potentiels de rendements plus élevés car répondant bien aux engrais minéraux surtout azotés [16, 17]. Il faut toutefois notifier que l'efficacité des engrais minéraux est fonction des périodes et des doses d'apport en fonction sur le maïs [18, 19]. Au vue de l'importance de la place qu'occupe le maïs sur le plan sécurité alimentaire du pays, des travaux de recherches sur la formulation unique d'engrais

23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn mérite d'être menés afin d'orienter les producteurs et les techniciens pour une efficacité dans son utilisation. L'objectif de cette étude vise à

- évaluer les doses et les périodes d'apport de la formulation unique sur le maïs ;
- évaluer les effets de la formulation unique sur les composantes de rendements et le rendement du maïs ;
- évaluer la rentabilité économique de la formulation unique.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Site d'étude

Les travaux ont été conduits durant les saisons des pluies en 2017 et 2018 à la station de recherche agricole de Farako-Bâ dans la zone sud-soudanienne du Burkina Faso. Les coordonnées géographiques de la station de recherche de Farako-Bâ sont : longitude 4° 20' Ouest, latitude de 11° 6' Nord et altitude 405 m. Cette zone est caractérisée par deux saisons bien distinctes dont une courte saison des pluies ou hivernage de Juin à Septembre et une longue saison sèche d'Octobre à Mai. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 800 et 1100 mm [20] avec une mauvaise répartition spatio-temporelle. Les quantités d'eau tombées au niveau de la station de Farako-Bâ ont été de 800,6 en 2017 et en 1303,7 mm en 2018 en respectivement 48 et 70 jours de pluie. Les sols de type ferrugineux tropicaux lessivés à texture sablo-limoneuse sont pauvres en matière organique et en éléments nutritifs majeurs (N, P, K) [21].

### 2-2. Matériel d'étude

#### 2-2-1. Matériel végétal

Le matériel végétal est composé de la variété de maïs Barka. C'est une variété de maïs de couleur blanche avec un cycle semi maturité moyen de 84 jours. Elle est relativement plus résistante à la sécheresse avec un rendement potentiel de 5,5 t/ha.

#### 2-2-2. Fumure minérale

La fumure minérale utilisée est composée :

- l'engrais complexe de la formulation 14-23-14+6S+1B ou fumure recommandée (FR). Encore appelé "engrais coton", cette formulation est la plus répandue et la plus utilisée au Burkina Faso.
- l'engrais complexe de la formulation 23-10-05+3.6S+2.6Mg+0.3Zn ; fumure unique (FU) pour maïs nouvellement introduite au Burkina Faso ;
- l'urée (46 %N)

### 2-3. Méthodes

#### 2-3-1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher complètement randomisé en 4 répétitions. Chaque répétition ou bloc est constitué de 06 parcelles élémentaires (PE) représentant les traitements. Les blocs sont séparés d'une distance de 1 m et les parcelles élémentaires ou traitements au sein du même bloc sont distantes de 0,5 m. La parcelle expérimentale a une superficie de 32,5 m x 19 m, soit un total de 617,5 m<sup>2</sup>. Les parcelles élémentaires ont des écartements de 5 m x 4 m, soit 20 m<sup>2</sup>.

### 2-3-2. Semis du maïs et application des fertilisants

Le maïs a été semé après le labour des parcelles aux écartements de 0,80 m entre les lignes et 0,40 m entre les poquets selon les recommandations vulgarisées. Deux (02) plants ont été laissés par poquet après démarrage.

### 2-3-3. Les fumures

Le NPK de la formulation 14-23-14+6S+1B ou fertilisation recommandée (FR) a été apporté 15 jours après semis (JAS) et la formulation unique (FU) 23-10-05+3.6S+2.6Mg+0.3Zn est apportée en deux (02) fractions au 15<sup>ème</sup> et 30<sup>ème</sup> JAS. La dose recommandée par les firmes est de 300 kg/ha de maïs pour la formulation unique. L'urée est apportée à 30 jours après semis pour tous les traitements recevant cet engrais. Les différents traitements mis en comparaison sont les suivants :

- T0 : Sans apport
- T1 : Formulation Unique 200 kg/ha à 15 JAS+100 kg/ha à 30 JAS
- T2 : Formulation Unique 100 kg/ha à 15 JAS+200 kg/ha à 30 JAS
- T3 : NPK 200 kg/ha à 15 JAS+ 100 kg/ha Urée à 30 JAS (Fertilisation recommandée)
- T4 : FU 200 kg/ha à 15 JAS+ Urée 50 kg/ha à 30 JAS
- T5 : FU 100 kg/ha à 15 JAS Urée 100 kg /ha à 30 JAS

## 2-4. Analyses de laboratoire

Le pH<sub>eau</sub> a été mesuré à partir d'une solution du sol obtenue suivant un rapport de masse/ volume de 1 g,2,5 mL<sup>-1</sup> [22]. Le Phosphore total a été mesuré sur le condensé de la minéralisation [23]. Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode de BRAY 1 [24]. L'azote total a été dosé par la méthode de Kjeldahl [25]. Le carbone organique a été déterminé selon la méthode de la référence [26]. Le taux de matière organique a été estimé à partir du taux de carbone selon la formule = Taux de carbone x 1,724 [26]. Le potassium total a été mesuré par spectrophotométrie à partir du reliquat du filtrat issu de la minéralisation des prises d'essai de sol.

### 2-4-1. Calcul de rentabilité économique des fumures

Le Ratio Valeur/Coût (RVC) a été utilisé pour l'évaluation de la rentabilité des fumures. C'est le rapport entre le gain monétaire brut et le coût des engrais. La **Formule** de la référence [27] a été utilisée et est la suivante :

$$RVC = \frac{\text{Valeur de la production}}{\text{Coût de la fertilisation}} \quad (1)$$

- Si le RVC < 1, la fumure n'est pas rentable et au contraire une perte d'argent est enregistrée ;
- Si le RVC = 1, la fumure n'est pas rentable mais il n'y a pas de perte. Le gain de rendement permet de couvrir les dépenses effectuées pour l'achat de l'engrais. L'apport de fumure est sans intérêt économique ;
- Si le RVC > 1, la fumure est considérée comme rentable. Elle permet de couvrir les dépenses et de dégager un bénéfice ;
- Si le RVC > 2, la fumure est véritablement attractive et possède donc beaucoup de chance d'être adoptée par les producteurs [27] ;

## 2-5. Analyse des données

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT 2014.5.03. Les moyennes ont été séparées par la méthode de Newman-Keuls au seuil de confiance de 95 %.

### 3. Résultats

#### 3-1. Caractéristiques chimiques du sol de l'essai

Les résultats d'analyse de sols du site avant la mise en place de l'essai sont consignés dans le **Tableau 1**. On note un pH bas de l'ordre de 5,02 avec une faible teneur en matière organique (0.56 %), en carbone (0.32 %) et par contre une activité biologique assez importante au regard du rapport C/N de 13,35. Les teneurs aux éléments totaux P et K sont élevés avec cependant de faibles parts disponibles qui sont respectivement de 2,38 et 58.51 mg/kg de sol.

**Tableau 1 : Caractéristiques chimique du sol de l'essai avant le labour**

Paramètres	Teneurs
pHeau	5,02
C (%)	0,32
Matière organique (%)	0,56
N-total (%)	0,03
C/N	10,35
P-Total (mg/kg de sol)	118,36
P-Bray1 (mg/kg de sol)	2,38
K-Total (mg/kg de sol)	1198,86
K-disponible (mg/kg de sol)	58,51

#### 3-2. Effet des fumures sur la hauteur et le diamètre des plants

Les résultats des analyses montrent à 50 jours après semis que tous les traitements excepté le témoin sans apport de fertilisants sont statistiquement égaux et enregistrent les meilleurs diamètres au collet des plants de maïs (**Tableau 2**).

**Tableau 2 : Effet des fumures sur la hauteur des plants de maïs à 50 jours après semis (JAS)**

Traitements	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)
T0 : Sans apport	1,13 <sup>b</sup> ± 0,33	62,14 <sup>c</sup> ± 16
T1 : FU (200 kg/ha + 100 kg/ha)	1,33 <sup>a</sup> ± 0,49	119,75 <sup>a</sup> ± 24
T2 : FU (100 kg/ha + 200 kg/ha)	1,38 <sup>a</sup> ± 0,33	120,02 <sup>a</sup> ± 21
T3 : NPK (200 kg/ha) + urée (100 kg/ha)	1,49 <sup>a</sup> ± 0,34	112,85 <sup>a</sup> <sup>b</sup> ± 28
T4 : FU 200 kg/ha + urée 50 kg/ha	1,49 <sup>a</sup> ± 0,29	109,15 <sup>a</sup> <sup>b</sup> ± 25
T5 : FU 100 kg/ha + urée 100 kg/ha	1,37 <sup>a</sup> ± 0,29	106,77 <sup>b</sup> ± 34
Probabilité	< 0,001	< 0,001
Signification	HS	HS

*FU : Formulation unique 23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn ; NPK : 14-23-14+6S+1B ; HS : Hautement significatif. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le Test de Newman et Keuls.*

Pour ce qui est de la hauteur des plants à 50 JAS, on constate que les traitements avec la fumure unique T2 et T1 enregistrent les meilleures hauteurs avec des moyennes respectives de 120,02 et 119,75 cm. Ces traitements sont suivis des traitements T3, T4 et T5 qui sont statiquement équivalents entre eux. La plus faible hauteur tout comme au niveau du diamètre au collet est enregistrée au niveau du traitement T0 sans apport de fertilisant avec une moyenne de 62,14 cm.

### 3-3. Effet des fumures sur le rendement grain du maïs

L'analyse des résultats du **Tableau 3** montrent des différences statistiques entre les fumures sur le rendement grain de maïs. Le meilleur rendement grain a été obtenu avec le traitement T2 à base de fumure unique avec une moyenne de 3042 kg/ha. Les traitements T1 (fumure unique) et T3 (fumure minérale vulgarisée) sont statistiquement équivalents. Les fumures à base de fumure unique et d'urée T4 et T5 ont été moins performantes mais les plus faibles rendements ont été obtenus avec le traitement sans apport de fertilisant T0.

**Tableau 3 : Effet des fumures sur le rendement grains du maïs**

Traitements	Rendements (kg/ha)
T0 : Sans apport	261 <sup>d</sup> ± 46
T1 : FU (200 kg/ha + 100 kg/ha)	2583 <sup>b</sup> ± 164
T2 : FU (100 kg/ha + 200 kg/ha)	3042 <sup>a</sup> ± 136
T3 : NPK (200 kg/ha) + urée (100 kg/ha)	2529 <sup>b</sup> ± 215
T4 : FU 200 kg/ha + urée 50 kg/ha	2353 <sup>b</sup> ± 75
T5 : FU 100 kg/ha + urée 100 kg/ha	1790 <sup>c</sup> ± 165
Probabilité	< 0,001
Signification	HS

FU : Formulation unique 23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn ; NPK : 14-23-14+6S+1B ; HS : Hautement significatif. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le Test de Newman et Keuls.

### 3-5. Effet des fumures sur le rendement de la biomasse sèche de maïs

Tout comme au niveau du rendement grain, les résultats du **Tableau 4** montrent des différences statistiques entre les traitements pour ce qui concerne le rendement de la biomasse sèche du maïs. Les biomasses les plus importantes ont été enregistrées au niveau des traitements à base de la fumure unique des traitements T2 et T1 avec respectivement 3408 et 3101 kg/ha de biomasse sèche. Les traitements T3, T4 et T5 moins productifs que les deux précédents sont statistiquement équivalents entre eux en termes de biomasse sèche. Le traitement sans apport de fertilisants demeure une fois de plus le moins performant avec la plus faible production de biomasse de 550 kg/ha.

**Tableau 4 : Effet des fumures sur le rendement de la biomasse du maïs**

Traitements	Rendements (kg/ha)
T0 : Sans apport	550 <sup>c</sup> ± 105
T1 : FU (200 kg/ha + 100 kg/ha)	3101 <sup>ab</sup> ± 173
T2 : FU (100 kg/ha + 200 kg/ha)	3408 <sup>a</sup> ± 154
T3 : NPK (200 kg/ha) + urée (100 kg/ha)	2966 <sup>b</sup> ± 171
T4 : FU 200 kg/ha + urée 50 kg/ha	2894 <sup>b</sup> ± 382
T5 : FU 100 kg/ha + urée 100 kg/ha	2795 <sup>b</sup> ± 315
Probabilité	< 0,001
Signification	HS

FU : Formulation unique 23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn ; NPK : 14-23-14+6S+1B ; HS : Hautement significatif. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le Test de Newman et Keuls.

### 3-6. Évaluation de la rentabilité économique des fumures

Le **Tableau 5** nous donne le Ratio Valeur/Coût (RVC) selon la formule de la référence [27] des différentes fumures utilisées dans notre expérimentation. Les différents coûts des engrais ont été obtenus auprès de l'Association des distributeurs d'intrants agricoles du Burkina (AGRODIA). Le prix du kg de maïs est obtenu auprès des agroéconomistes de la station de recherche de Farako-Bâ. Les coûts du kg sont de 350 Fcfa/NPK ; 280 Fcfa/urée ; 330 Fcfa/FU et 150 Fcfa/maïs.

**Tableau 5 : Ratio valeur/coût (RVC) des différentes fumures**

Traitements	Prod. (kg)	Coût des fumures FCFA/ha	Coût total du maïs grain (FCFA)	RVC
T1 : FU (200 kg/ha + 100 kg/ha)	2583	96 000	387 450	3,91
T2 : FU (100 kg/ha + 200 kg/ha)	3042	96 000	456 300	4,61
T3 : NPK (200 kg/ha) + urée (100 kg/ha)	2529	98 000	379 350	3,87
T4 : FU 200 kg/ha + urée 50 kg/ha	2353	78 000	352 950	4,41
T5 : FU 100 kg/ha + urée 100 kg/ha	1790	60 000	268 500	4,40

*FU : Formulation unique 23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn ; NPK : 14-23-14+6S+1B ; Prod. : Production. Les résultats montrent que toutes les fumures testées ont un RVC supérieur à 3. On note par ailleurs que les traitements avec la fumure unique (FU) ont les RVC les plus élevés. Le meilleur RVC a été obtenu avec la fumure T2 avec un ratio de 4,61.*

### 4. Discussion

Les résultats de façon générale montrent une performance des engrais minéraux sur les paramètres morphologiques mesurés et le rendement du maïs avec des différences hautement significatives ( $P < 0,001$ ) entre les traitements. Les meilleurs rendements ont été obtenus avec les traitements ayant reçu des engrais minéraux par rapport au traitement témoin sans apport de fertilisants. Cette faible performance du témoin sans apport de fertilisants s'explique au regard des paramètres chimiques analysés. On constate des sols à tendance acides, pauvres en matière organique et en éléments minéraux majeurs N, P et K. Cela s'explique dans un premier temps par la pauvreté originelle des sols en éléments nutritifs et leur mise en culture depuis de nombreuses années sans une véritable stratégie de maintien ou d'amélioration de leur fertilité par des amendements organiques. Avec de telles utilisations des sols, les teneurs en éléments minéraux et aux autres paramètres chimiques ne peuvent que diminuer au fil des années. Ces résultats confirment ceux obtenus par de nombreux auteurs sur le même site qui montrent la baisse de la fertilité des sols à l'image de la majorité des sols du Burkina Faso [28, 29]. Avec une telle pauvreté des sols et face aux exigences du maïs en éléments nutritifs, le non apport d'engrais ne peut que compromettre les récoltes et les rendements tel que constaté au niveau des traitements T0 (sans apports de fertilisants) qui enregistrent les plus faibles rendements. Il faut reconnaître que de nombreuses études ont établies la relation entre le maïs et les engrais dans le but d'assurer la stabilité du rendement en quantité et en qualité [30 - 33]. Plus on apporte de nutriments au maïs plus on a de chance à améliorer les rendements. L'augmentation des rendements du maïs est donc en lien étroit avec les doses de fertilisants (N, P et K) apportées [34]. Cette meilleure performance avec les engrais minéraux est due à leur nature dans l'absorption par les plantes. En effet, les engrais minéraux sont plus solubles et libèrent les éléments minéraux N, P, K etc. sous forme ionique rapidement et directement assimilables par les plantes [35, 36]. Cet avantage lié à l'utilisation des engrais minéraux expliquerait donc

cette performance au niveau des traitements ayant enregistrés les meilleurs rendements. Parmi les engrais minéraux utilisés, l'engrais minéral de formule unique (FU) "23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn" au niveau du traitement T2 ; FU (100 kg/ha + 200 kg/ha) enregistre les meilleurs rendements par rapport aux autres traitements y compris la fertilisation minérale vulgarisée T3 (NPK 200 kg/ha + urée 100 kg/ha). L'avantage de cet engrais sur les paramètres morphologiques (hauteur, diamètre) et le rendement grain pourrait s'expliquer outre les éléments N, P et K, par les oligoéléments qu'il contient (notamment le Zn) qui auraient assuré une meilleure nutrition des plantes de maïs. S'il est admis que les macronutriments sont essentiels dans la nutrition des plantes, les micronutriments tels que le Zn sont nécessaires en petites quantités et tout aussi vitales pour la croissance et le développement des plantes [37]. Le cas particulier du zinc pour la plante de maïs a été démontré par la référence [38] où sa carence, en particulier au stade du remplissage du grain, réduit le rendement en grain et l'efficacité des plantes. La référence [39], mentionne que le maïs peut souffrir de nombreuses carences en micronutriments mais que celle en Zn est peut-être le problème le plus répandu. Cette carence est principalement marquée sur les sols calcaires alcalins mais aussi sur les sols à faible teneur en matière organique comme ceux du site d'étude. D'importants travaux ont montré l'impact du zinc sur les rendements du maïs et même sur la qualité en éléments nutritifs des grains [40]. Les résultats de la référence [41] ont révélé que la fertilisation en micronutriments avec le Zn, Mn et le Fe a été le traitement le plus efficace en donnant les meilleurs épis par plante, de grains par épis, de poids de 100 grains et le rendement en grains au cours de deux saisons d'étude. Ces résultats sont également confirmés par une étude de la référence [42] et de celle de la référence [43], qui montrent que l'application foliaire du Zn permet d'augmenter le rendement en grain du maïs. Il faut toutefois noter une action positive du Mg sur les bonnes performances obtenues avec l'engrais de formule unique (FU).

En effet, les références [44, 45], indiquent que les sols les plus susceptibles de manquer en Mg sont les sols acides, sablonneux, fortement lessivés avec une faible capacité d'échange cationique (CEC) et les sols recevant des taux élevés de fertilisation en K. Tous ces critères sont réunis au niveau du sol d'étude au regard des analyses chimiques effectuées mais aussi des résultats obtenus par la référence [15, 46], qui mentionnent respectivement le caractère sableux et la pauvre CEC des sols du site. La présence donc du Mg et la faible quantité de K au niveau des sols et dans l'engrais apporté, pourrait entraîner sa meilleure valorisation par le maïs en donnant de bons rendements. On constate par contre que le traitement T1 : FU (200 kg/ha + 100 kg/ha), avec les mêmes doses d'engrais et les mêmes teneurs en éléments nutritifs que le T2 ; FU (100 kg/ha + 200 kg/ha) a été moins performant sur le rendement grain du maïs. Cela est sans doute lié aux périodes d'apport des doses au niveau de ce traitement T1. La dose de 200 kg apportée à 30 JAS au niveau du traitement T2, comblerait mieux les besoins du maïs en éléments nutritifs à cette période critique. En effet selon la référence [47], les besoins en maïs en N et du P sont faibles en début de végétation et par contre se manifestent surtout au moment de la floraison et de la formation des grains. Au cours de cette période critique la plante absorbe les 2/3 de ses besoins en phosphore. Le fait d'apporter la plus forte dose d'engrais à cette période au niveau du traitement T2 a permis de mieux satisfaire les besoins en éléments nutritifs nécessaires aux plantes de maïs pour améliorer ses composantes de rendement. Ce qui n'a pas été assez pour les 100 kg/ha de la fumure unique apportée au niveau du traitement T1. Pour ce qui est du Ratio Valeur sur Coût (RVC), on note que toutes les fumures testées sont toutes attractives avec un RVC >2. Ce qui indique selon la référence [27] que toutes les fumures possèdent beaucoup de chance d'être adoptées par les producteurs. Par contre lorsqu'on considère les rendements le choix est vite fait pour le traitement T2 qui a le meilleur rendement et le meilleur RVC.

## 5. Conclusion

L'objectif de l'étude était d'évaluer les meilleures doses et les périodes d'apport de la formulation unique sur le maïs ainsi que son impact sur le rendement grain et sa rentabilité économique. De nos résultats nous constatons que les meilleures performances au niveau des paramètres mesurés sont enregistrées avec l'engrais de formulation  $23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn$  en apport unique sur le maïs. En effet, les meilleurs paramètres physiologiques (hauteur et diamètre) des plants de maïs ont été obtenus avec la fumure minérale à apport unique. Les doses et périodes d'apport de 100 kg/ha au 14<sup>ème</sup> jour après semis (JAS) et 200 kg/ha au 30<sup>ème</sup> JAS ont été les meilleures pour obtenir de meilleurs rendements en maïs grains de 3042 kg/ha avec un ratio Valeur/Coût (RVC) de 4,61. Il faut tout de même aviser les utilisateurs quant aux teneurs de la fertilisation  $23-10-05+3,6S+2,6Mg+0,3Zn$  qui contient peu de P et de K. Au vue de la pauvreté des sols du Burkina en éléments majeurs, un déséquilibre nutritionnel pourrait au cours de plusieurs années d'utilisation compromettre les rendements.

## Remerciements

*Les auteurs traduisent leur gratitude : Au Chef de Programme GRN/SP Ouest de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles / Station de Recherches de Farako-Bâ pour son soutien multiforme à la réalisation de cette étude.*

## Références

- [1] - MAHRH, "Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture, Burkina Faso", Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH), Ouagadougou, Burkina Faso, (2011) 43 p.
- [2] - K. OUATTARA, "Improved soil water conservatory managements for cotton-maize rotation system in the Western cotton area of Burkina Faso". Thèse de Doctorat, Swedish University of Agriculture Sciences, UMEA., 50 p.
- [3] - A. M. KOUYATE, P. VAN DAMME, S. GOYENS, S. DE NEVE, G. HOFMAN, "Evaluation de la fertilité des sols à *Detarium microcarpum* Guill. & Perr". *Tropicultura*, 25 (2) (2007) 65 - 69 p.
- [4] - B. V. BADO, M. P. SEDOGO et F. LOMPO, "Efficacité d'un phosphatage de fond sur la productivité d'un sol ferrallitique. *In* : Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest", (4 - 8mars 1997) 85 - 88 p.
- [5] - B. V. BADO, F. LOMPO, M. P. SEDOGO et V. HIEN, "Comment fertiliser les céréales à moindre : le Burkina phosphate comme alternative". 4<sup>ème</sup>Ed. FIRSIT, (2000) 1 - 19
- [6] - A BATIONO, S. M. NANDWA, J. M. KIMETU, J. M KINYANGI, B. V. BADO, F. LOMPO, S. KIMANI, F. KIHANDA, S. KOALA, "Sustainable intensification of crop-livestock systems through manure management in eastern and western Africa : Lessons learned and emerging research opportunities. Sustainable crop-livestock production in West Africa", (2004) 173 - 198 p.
- [7] - F. LOMPO, Z. SEGDA, Z. GNANKAMBARY, N. OUANDAOGO, "Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs". *Tropicultura*, 27 (2) (2009) 105 - 109
- [8] - A. OBERSON, H. U. TAGMANN, M. LANGMEIER, D. DUBOIS, P. MÄDER, E. FROSSARD, "Fresh and residual phosphorus uptake by ryegrass from soils with different fertilization histories". *Plant Soil*, 334 (2010) 391 - 407

- [9] - M. B. POUYA, M. BONZI, Z. GNANKAMBARY, K. TRAORE, J. S. OUEDRAOGO, A. N. SOME, M. P. SEDOGO, "Pratiques actuelles de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la production du cotonnier et sur le sol dans les exploitations cotonnières du Centre et de l'Ouest du Burkina Faso". *Cah Agric*, 22 (2013) 282 - 92
- [10] - CAPES, "Résultats de la recherche, de l'invention et de l'innovation technologique au Burkina Faso: état des lieux de l'exploitation pour un développement. Centre d'analyse des politiques économiques et sociales Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso", (2006) 56 p.
- [11] - O. TRAORE, N. A. SOME, K. TRAORE, K. SOMDA, "Effect of land use change on some important soil properties in cotton-based farming system in Burkina Faso". *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 1 (1) (2007) 7 - 14 p.
- [12] - S. SAVCI, "An agricultural pollutant : Chemical Fertilizer", *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 3, N° 1 (2012)
- [13] - S. CZARNECKI and R. A. DÜRING, "Influence of long-term mineral fertilization on metal contents and properties of soil samples taken from different locations in Hesse, Germany". *Soil*, 1 (2015) 23 - 33
- [14] - AFRICAFERTILIZER, "Atelier de validation des statistiques engrais 2017 par les groupes de travail technique engrais Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Sénégal". Rapport Technique, (2018) 44 p.
- [15] - PAM, "Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition", (2014) 108 p.
- [16] - S. AHMAD, A. A. KHAN, M. I. KAMRAN, I. AHMAD, S. ALI *et al.*, "Response of Maize Cultivars to Various Nitrogen Levels". *Eur Exp Biol*, Vol. 8, N° 1 (2018) 2
- [17] - G. H. DEMARI, I. R. CARVALHO, M. NARDINO *et al.*, "Importance of nitrogen in maize production". *Journal of Current Research*, 8 (08) (2016) 36629 - 36634
- [18] - E. A. PRECIOUS and O. A. T. NAMO, "Effect of time of fertilizer application on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in Jos - plateau environment". *Global Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 14, (2015) 1 - 9
- [19] - C. JIANG, X. REN, H. WANG, D. LU, C. ZU and S. WANG, "Optimal Nitrogen Application Rates of One-Time Root Zone Fertilization and the Effect of Reducing Nitrogen Application on Summer Maize", *Sustainability*, 11 (2019) 2979
- [20] - S. GUINKO, "Végétation de la Haute-Volta", Thèse de doctorat, Sciences naturelles", Université de Bordeaux III. France, tome 2, (1984) 394 p. + annexes
- [21] - B. V. BADO, "Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso", Thèse de doctorat, Université de Laval Québec, Canada, (2002) 148 p.
- [22] - BUNASOLS, "Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, eaux et plantes". Document technique, N° 3 (1986) 48 - 128
- [23] - J. M. ANDERSON, J. S. INGRAM, "Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods", *C.A.B. International*, (1989) 171 p.
- [24] - S. R. DICKMAN, H. R. BRAY, "Colorimetric determination of phosphate". *Ind. Eng. Chem, Anal. Ed*, 12 (1940) 665 - 668
- [25] - W. F. HILLEBRAND, G. E. F. LUNDELL, H. A. BRIGHT, J. I. HOFFMAN, "Applied Inorganic Analysis" (2nd edn). *John Wiley & Sons, Inc*: New York, USA, (1953) 1034
- [26] - A. WALKLEY, R. N. BLACK, "An examination of the method Degtjareff for determining soil organic matter and to proposed modification of the chromic acid titration method". *Soil Science*, 37 (1934) 29 - 38
- [27] - P. L. DELVILLE, "Gérer la fertilité des terres dans le sahel. Diagnostic et conseil aux paysans". *Collection le « point sûr »*, (1996) 397 p.
- [28] - A. TRAORE, K. TRAORE, B. V. BADO, O. TRAORE, H. B. NACRO, P. M. SEDOGO, "Effet des précédents culturaux et de différents niveaux d'azote sur la productivité du riz pluvial strict sur sols ferrugineux tropicaux de la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso". *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6 (9) (2015) 2847 - 2858

- [29] - I. A. N. DA, K. TRAORE, A. TRAORE, P. BAZONGO, O. TRAORE et H. B. NACRO, "Évolution des propriétés d'un sol ferrugineux tropical soumis à différentes options de fertilisations dans un système de culture à base de coton dans la zone sud-soudanienne du Burkina Faso". *Afrique SCIENCE*, 15 (1) (2019) 391 - 402
- [30] - L. ANDRIC, M. RASTIJA, T. TEKLIC, V. KOVACEVIC, "Response of maize and soybeans to liming". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36, (2012) 415 - 420. Doi: 10.3906/tar-1107-23
- [31] - H. M. HAMMAD, A. AHMAD, F. ABBAS, W. FARHAD, "Optimizing water and nitrogen use for maize production under semiarid conditions". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36 (2012) 519 - 532, doi:10.3906/tar-1111-24
- [32] - M. I. TAJUL, M. M. ALAM, S. M. M. HOSSAIN, K. NAHER, M. Y. RAFII, M. A. LATIF, "Influence of Plant Population and Nitrogen-Fertilizer at Various Levels on Growth and Growth Efficiency of Maize, *The Scientific World Journal*, Article ID 193018, Vol. (2013) 9 p.
- [33] - R. I. NAZLI, A. KUŞVURAN, I. INAL, A. DEMİRBAŞ, V. TANSI, "Effects of different organic materials on forage yield and quality of silage maize (*Zea mays* L.)". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38 (2014) 23 - 31
- [34] - M. BOLDEA, F. SALA, H. RAWASHDEH and D. LUCHIAN, "Evaluation of agricultural yield in relation to the doses of mineral fertilizers". *Journal of Central European Agriculture*, 16 (2) (2015) 149 - 161 p.
- [35] - K. L. NYEMBO, S. Y. USENI, M. M. MPUNDU, M. D. BUGEME, L. E. KASONGO, L. L. BABOY, "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". *Journal of Applied Biosciences*, 59 (2012) 4286 - 4296
- [36] - T. H. ILUNGA, M. J. BANZA, M. L. LUKUSA, K. I. MUKUNTO, H. L. MALONGO, L. A. KANYENGA, K. L. NYEMBO, "Influence du moment d'application du NPK sur la croissance et le rendement du maïs (*Zea mays* L.) installé sur un ferralsol". *Journal of Applied Biosciences*, 127 (2018) 12794 - 12803, ISSN 1997 - 5902
- [37] - B. J. ALLOWAY, "Zinc in Soils and Crop Nutrition". *IZA Publications, International Zinc Association, Brussels*, (2004) 1 - 116
- [38] - U. C. SHUKLA and H. RAJ, "Influence of Genotypical Variability on Zinc Response in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.)". *Plant and Soil*, 104 (1987) 151 - 154
- [39] - FAO, "Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management", ISSN 0259-2495, (2006) 368 p.
- [40] - Q. B. BALOCH, Q. I. CHACHAR and M. N. TAREEN, "Effect of Foliar Application of Macro and Micro Nutrients on Production of Green Chillies (*Capsicum annum* L.)". *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4 (2008) 177 - 184
- [41] - H. M. SALEM and N. K. H. EL-GIZAWY, "Importance of Micronutrients and its Application Methods for Improving Maize (*Zea mays* L.) Yield Grown in Clayey Soil". *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 12 (7) (2012) 954 - 959, 2012 ISSN 1818-6769
- [42] - E. HOFFLAND, C. WEI, and M. WISSUWA, "Organic Anion Exudation by Lowland Rice (*Oryza sativa* L.) at Zinc and Phosphorus Deficiency". *Plant and Soil*, 283 (2006) 155 - 162
- [43] - A. TARIQ, S. A. ANJUM, M. A. RANDHAWA, E. ULLAH, M. NAEEM, R. QAMAR, U. ASHRAF and M. NADEEM, "Influence of Zinc Nutrition on Growth and Yield Behaviour of Maize (*Zea mays* L.) Hybrids". *American Journal of Plant Sciences*, 5 (2014) 2646 - 2654
- [44] - H. MARSCHNER, "Mineral Nutrition of Higher Plants". *Academic Press*, London, (1995)
- [45] - J. L. HAVLIN, J. D. BEATON, S. L. TISDALE and W. L. NELSON, "Soil Fertility and Fertilizers- An Introduction to Nutrient Management". *PHI Learning Pvt. Ltd.*, New Delhi, (2009)
- [46] - A. P. K. GOMGNIMBOU, "Valorisation agronomique des substrats organiques d'origine animale dans la zone urbaine et périurbaine de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)". Thèse de doctorat en développement rural, système de production végétale, Science du sol. IDR/UPB/ Burkina Faso, (2015) 236 p.
- [47] - A. GROS, "Engrais. Guide pratique de la fertilisation", (1976)