



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Effets du mode d'application d'engrais phosphatés (CBKCa et TSP) sur la productivité du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) au centre ouest du Burkina Faso

Iliassou NIGNAN<sup>1,2\*</sup>, Jean OUEDRAOGO<sup>2</sup>, Satoshi NAKAMURA<sup>3</sup>, Idriss SERME<sup>2</sup> et Kalifa COULIBALY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'étude et de recherche sur la fertilité du sol (LERF), Institut du Développement Rural (IDR), Université Nazi BONI (UNB, BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

<sup>2</sup>Institut de l'Environnement et de Recherche Agricole (INERA), BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso.

<sup>3</sup>Crop, Livestock and Environment Division Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS) e-mail [nsatoshi@affrc.go.jp](mailto:nsatoshi@affrc.go.jp)

\*Auteur correspondant ; E-mail : [inignan0@gmail.com](mailto:inignan0@gmail.com) ; Tel. (00226) 71567970

Received: 07-08-2023

Accepted: 03-10-2023

Published: 31-10-2023

### RESUME

La distance d'application des phosphatés pourrait influencer la réponse des cultures à la fertilisation phosphatée due à la faible mobilité du phosphore. Ainsi, une étude a été conduite en 2021 et 2022 à Saria, pour évaluer l'effet de la distance d'application de deux engrais phosphatés sur la productivité du mil. Se sont le Burkina Phosphate calciné enrichi en calcium (CBKCa) et triple super phosphate (TSP). Pour ce faire, un dispositif factoriel avec quatre répétitions a été installé. Les phosphates ont été appliquées sur les parcelles principales à trois distances d'application (0 ; 5 et 10 cm du collet du mil), sur les parcelles secondaires. 23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup> de ces engrais a été appliqués en combinaison avec du NKS (37-14-6-1). Les résultats ont montré que quelle que soit l'année et indépendamment de la distance, le CBKCa et le TSP ont enregistré des valeurs moyennes identiques concernant les paramètres de croissance et la production de biomasse. L'application des phosphates, à 5 cm, a entraîné une augmentation significative du rendement en grain de 42% et 35% en 2021 par rapport à l'apport à 10 et 0 cm. En 2022, ces augmentations étaient de 111% et 33%. L'application de CBKCa à 5 cm pourrait être recommandée.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Burkina Phosphate calciné et enrichi en calcium, distance d'application au collet, rendement, mil, Burkina Faso.

## Effects of phosphate fertilizers (CBKCa and TSP) application mode on millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) productivity in central western region of Burkina Faso

### ABSTRACT

The distance of application of phosphates could influence the response of crops to phosphate fertilization due to the low mobility of phosphorus. Thus, a study was conducted in 2021 and 2022 in Saria, to evaluate the effect of the distance of application of two phosphate fertilizers on millet productivity. These are

Burkina Calcined Phosphate enriched with calcium (CBKCa) and triple super phosphate (TSP). To do this, a factorial design with four repetitions was installed. The phosphates were applied to the main plots at three application distances (0, 5 and 10 cm from the millet collar), to the secondary plots. 23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup> of these fertilizers was applied in combination with NKSB (37-14-6-1). The results showed that whatever the year and independently of the distance, CBKCa and TSP recorded identical average values regarding growth parameters and biomass production. The application of phosphates, at 5 cm, led to a significant increase in grain yield of 42% and 35% in 2021 compared to the application at 10 and 0 cm. In 2022, these increases were 111% and 33%. Application of CBKCa at 5 cm could be recommended.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords:** Calcined Burkina rock phosphate, application distance, millet yield, Burkina Faso.

## INTRODUCTION

Les sols tropicaux sont intrinsèquement pauvres en phosphore (P) disponible pour les plantes et présentent vis-à-vis de cet élément un intense pouvoir de fixation (Dabin, 1970). Cette faible disponibilité du P trouve ses origines d'une part, du fait des phénomènes d'adsorption, de précipitation ou de la conversion du P sous forme organique (Holford, 1997), et l'épuisement du P du sol en raison de la culture continue ainsi que l'érosion du sol. D'autre part, cette faible biodisponibilité du P serait liée à la nature du substratum géologique (Lompo et al., 2007). En effet, de façon générale, sous les tropiques, et plus particulièrement au Burkina Faso, les sols dérivent de matériaux parentaux acides qui ont de faibles niveaux de P (Buresh et al., 1997). Par conséquent, ils sont carencés en phosphore. Pourtant, Sanchez et al. (2015) ont souligné que la carence en P des sols constitue l'une des principales contraintes biophysiques à l'augmentation des rendements des cultures, et par conséquent menace la sécurité alimentaire. Pour lever cette contrainte et améliorer le bilan en P des sols ainsi que la production agricole, divers engrais phosphatés hydrosolubles ont été utilisés dans diverses conditions et se sont avérés très efficaces (Wang et Chu, 2015; Sonmez et Pierzynski, 2017). Malheureusement, il est devenu extrêmement difficile pour les petits agriculteurs des pays en développement d'acheter des engrais minéraux phosphatés en raison de l'augmentation des prix de ces engrais. Dans le même temps, il est très bien connu que d'importantes quantités de phosphates naturels (PN) à faible teneur en

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ont été signalées dans la zone tropicale (Nakamura et al., 2013). Cependant, ces PN sont très peu utilisés directement en agriculture, en raison de leur faible solubilité, leur faible teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et leurs taux élevés en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Vassilev et al., 2001). Par conséquent, des travaux sur l'amélioration de leur solubilité ont été entrepris. De ces travaux, il ressort que les engrais phosphatés locaux fabriqués à partir de ces PN de faible qualité sont dotés d'un potentiel pour améliorer significativement la productivité agricole (Kone et al., 2010 ; Nakamura et al., 2019). Par conséquent, un approvisionnement en engrais phosphatés à partir de ces PN renforcerait la production agricole et améliorerait les revenus des agriculteurs. Par ailleurs, d'une part, des études ont démontré qu'une application inadéquate des fertilisants phosphatés pouvait réduire la fertilité du sol par la mobilisation des colloïdes organiques (Siemens et al., 2004 ; Ilg et al., 2005). Et d'autre part, que l'efficacité des engrais phosphatés peut être affectée par les modes d'application des engrais (Amnayl, 1996; Hoefl et al., 2000). Par exemple, Amnayl (1996) a montré que l'application du P en bande améliore le rendement en grain en moyenne de 13 à 25% par rapport à l'apport à la volée. Il est cependant bien reconnu que le phosphore est très faiblement mobile dans le sol. En plus, Giroux et al. (1996), ont montré que les cultures sur sols acides, pauvres en P, et à fort pouvoir fixateur sont celles qui bénéficient le plus de l'application des engrais en bande. Par conséquent, comme la si bien souligné Garg et Welch (1967), l'utilisation la plus efficace des engrais phosphatés est ainsi généralement obtenue lorsque le P est placé en

bande dans un petit volume de sol près de la plante. Par ailleurs, du fait de sa très faible mobilité dans le sol, la stratégie d'apport des engrais phosphatés doit prendre en compte le faible volume de sol exploré par le système racinaire en début de croissance, mais également le développement futur de ce système racinaire. Ainsi, dans un élan d'amélioration de l'efficacité d'utilisation du P et de la production agricole, des techniques spécifiques de fertilisation doivent être mises en œuvre. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude dont l'objectif était d'évaluer la réponse du mil à la fertilisation phosphatée suivant différents points d'application de l'engrais afin de mieux définir des stratégies de fertilisation.

## MATERIEL ET METHODES

### Description du site

L'étude a été conduite sur un sol ferrugineux tropical peu lessivé (CPCS, 1967), dénommé lixisol selon la taxonomie de la base de référence mondiale pour les ressources en sols (IUSS Working Group WRB, 2014) à la station de recherche de Saria dans la zone Nord soudanienne du Burkina Faso. La station est située à 309 m d'altitude ; 12° 15' 57" de latitude Nord et 2° 08' 47" de longitude Ouest de l'équateur. La pluviométrie annuelle au cours des deux campagnes a été mesurée à l'aide de pluviomètre installé dans la station. Les hauteurs des pluies enregistrées durant les périodes de culture allant du 16 Juillet (semis) au 30 Octobre 2021 (récolte) et du 20 Juillet (semis) au 30 Novembre 2022 (récolte) sur le site expérimental à la station de recherche de l'INERA-Saria sont illustrées dans la Figure 1.

Les données de 2021 indiquent que 537,5 mm de pluie ont été enregistrés en 44 jours de pluie (Figure 1A) avec trois évènements pluvieux supérieurs à 50 mm. Le mois d'Août a été le plus pluvieux avec un cumul pluviométrique de 290,4 mm tombée en 20 jours de pluie.

En 2022, de la date des semis à celle de la récolte, on a enregistré 33 évènements pluvieux pour un cumul pluviométrique de 586,3 mm (Figure 1B). Sur les 33 évènements,

on a enregistré 5 dont la pluviométrie est supérieure à 40 mm avec une forte pluie de plus de 60 mm intervenu le 44<sup>ème</sup> JAS. Le mois d'août a enregistré le cumul le plus important (341 mm) en 16 jours de pluie. Comparativement à la campagne 2021, le cumul pluviométrique durant la période de mise en culture de 2022 a enregistré une augmentation de 25,53%. Pour les mois de juillet, d'août et de septembre, des baisses respectives de la pluviométrie de 48,2% ; de 50,7% et de 171,5% et ont été observées en 2021 par rapport à 2022. Des périodes de poche de sécheresse ont été enregistrées aussi bien en 2021 qu'en 2022. La plus importante avec une période de 11 jours est survenue au 2<sup>e</sup> JAS dans le mois de juillet 2022. L'essai a été conduit sur une parcelle laissée en jachère depuis 2018.

Les caractéristiques chimiques de l'horizon 0-20 cm (Tableau 1) indiquent un sol moyennement acide (pH eau = 3,64), avec une faible teneur en MO (0,45%), ce qui explique la faiblesse de la capacité d'échange cationique (CEC). La teneur en phosphore assimilable était de 6,16 mg.kg<sup>-1</sup>. Le sol est classé comme étant très pauvre en P selon Mallarino et al. (2016) suivant Bray I pour les champs agricoles.

### Matériel végétal utilisé

La variété IKMP5 du mil (*Pennisetum glaucum*) (L.) R. Br., avec un rendement moyen de 1,7 t.ha<sup>-1</sup> a été utilisée en 2021 et 2022. Les semences ont été obtenues à l'INERA-Saria. Son cycle semis-maturité dure 110 jours.

### Traitement des semences

Pour le traitement des semences, le produit calcio a été utilisé.

### Fertilisants utilisés

Deux sources de phosphore (CBKCa et le TSP) ont été utilisées dans cette étude. Le CBKCa a été préparé en utilisant le Burkina Phosphate (BP) en deux étapes (Nakamura et al., 2019). La première a consisté à mélanger le BP avec du carbonate de potassium (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) et du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>). Quant à la

deuxième étape, elle a pour but d'augmenter la solubilité du P. Dans cette étape, le mélange obtenu précédemment a été calciné pendant 10 minutes à 1000°C. Le triple super phosphate (TSP) a été utilisé comme contrôle positif. En plus de la dose de 23 P, tous les traitements ont reçu des engrais de base selon la formule 37-14-6-1 (N-K-S-B). Le TSP et CBKCa (calciné par IRCAS à Tsukuba au Japon) ont été fournis par le projet auprès de SATREPS. L'étude a été conduite au cours des campagnes agricoles successives de 2021 et de 2022 sur la même parcelle et les mêmes traitements.

### Dispositif expérimental

L'essai a été conduit dans un dispositif expérimental en split-plot avec quatre répétitions mis en place à la station de recherche de Saria au Burkina Faso. Au total six (6) traitements ont été établis en combinant deux sources de phosphore (CBKCa et TSP) à trois points d'application ( $d_0 = 0$  cm ;  $d_5 = 5$  cm et  $d_{10} = 10$  cm) du collet des plantes. Les parcelles secondaires avaient une superficie de 32 m<sup>2</sup> (8 m x 4 m) avec une allée de 1 m entre les parcelles contiguës. Chaque bloc avait des dimensions 46 m sur 4 m.

### Conduite de l'expérimentation

Les semis ont été précédés d'une préparation du sol effectuée en trois étapes suivant les pratiques conventionnelles. La préparation du sol a consisté à débarrasser le sol de la végétation naturelle à l'aide de coupe-coupe et à l'ameublir à partir d'un labour. Ensuite, un nivellement a été réalisé à l'aide d'une herse. Les matières fertilisantes ont été apportées au 15<sup>e</sup> Jours Après Semis (JAS) en 2021 et 2022. Concernant les sources de P, les apports ont été effectués en bande suivant les trois distances d'application (0 ; 5 cm et 10 cm du collet des plantes). Pour ce qui est des autres fertilisants, les apports ont été effectués par poquets. Les différentes doses des fertilisants sont illustrées dans le Tableau 2. Les apports de fertilisants ont été précédés d'une opération de démariage qui a permis de réduire le nombre de plantes à 2 par poquet. Le deuxième apport d'urée a été effectué au 35<sup>e</sup> JAS. Trois

sarclages ont été effectués pour limiter la concurrence entre le mil et les mauvaises herbes.

### Paramètres mesurés

Pour la mesure de l'ensemble des paramètres de croissance, cinq (05) plantes par parcelle élémentaire ont été identifiées à cet effet. Les mesures ont été effectuées à deux périodes différentes (35<sup>e</sup> et 98<sup>e</sup> jours après semis).

La hauteur moyenne a été mesurée à l'aide d'un ruban mètre (du collet au sommet de la dernière feuille). Concernant le diamètre au collet, il a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse. Le taux de croissance relative en hauteur (TCRh) et celui du diamètre au collet (TCRd) ont été calculés selon la formule de Haro et al. (2020) :  $TCRh = (H_f - H_i)/H_i$  et  $TCRd = (D_f - D_i)/D_i$  avec H : hauteur, D : Diamètre au collet, i : initiale et f : finale,

L'évaluation du rendement a été faite sur une placette de 20,48 m<sup>2</sup>. Elle a d'abord consisté à délimiter une superficie de 20,48 m<sup>2</sup> dans chaque parcelle élémentaire à la récolte. Ensuite, les épis et les tiges ont été coupés et disposés au soleil dans une aire de séchage. Puis, les épis ont battu, vannés et pesés pour avoir le poids grains. Enfin, les rendements en grain et en paille ont été mesurés suivant la formule suivante :

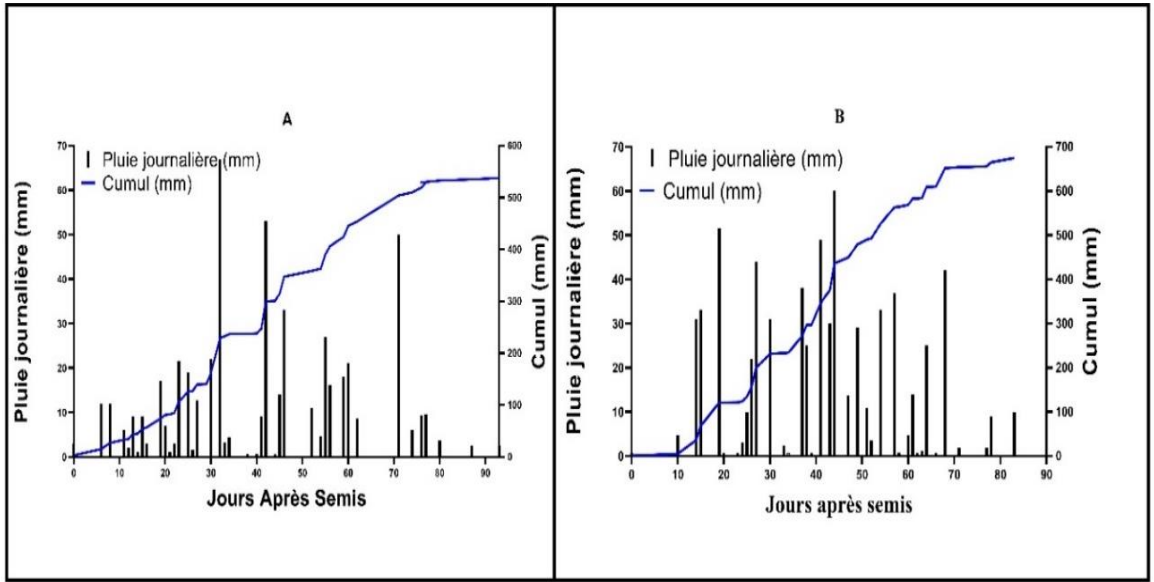
$$\begin{aligned} & \text{Rendement kg. ha}^{-1} \\ & = \frac{\text{Poids grains ou Biomasse (kg)}}{20,48 \text{ m}^2} \\ & * 10000 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Concernant l'indice de récolte (IRC), il a été effectué selon la formule de Jiang et al. (2019) :

$$IRC = \frac{\text{Rendement grain}}{\text{Rendement paille}} * 100$$

### Analyses statistiques

Les données ont été soumises à une ANOVA avec le logiciel GenStat 12<sup>e</sup> édition. Une séparation des moyennes a été faite lorsque les différences étaient significatives via le test de Newman-Keuls ( $p < 0,05$ ). Le logiciel Graphpad prism a été utilisé pour réaliser les figures.



**Figure 1** : Caractéristiques pluviométriques des campagnes agricoles 2021 (A) et 2022 (B) de Saria (Burkina Faso).

**Tableau 1** : Caractéristiques physico-chimiques du sol (0-20 cm) de la station de Saria.

Caractéristiques Physico-chimiques	Teneurs
<b>Texture (%)</b>	
Sable grossier	18
Sable fin	28
Limon grossier	31
Limon fin	9
Argile	14
<b>Carbone total (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	0,605
<b>Azote total (g.kg<sup>-1</sup>)</b>	0,042
<b>Cation (c mol.kg<sup>-1</sup>)</b>	
Ca <sup>++</sup>	1,250
Mg <sup>++</sup>	0,370
K <sup>+</sup>	0,127
Na <sup>+</sup>	0,030
Somme des bases (S)	1,777
Capacité d'échange cationique	3,017
Saturation (S/T x 100)	65,000
<b>pHeau</b>	3,637
<b>Phosphore total (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	37,375
<b>Phosphore assimilable (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	7,47

**Tableau 2** : Les doses des fertilisants apportés.

Fertilisants	Dose (g/parcelle)
TSP	160
CBKCa	409
Urée	257
KCl	75
Sulfate de zinc	107
Bore	22

## RESULTATS

### Effet de la source et du point d'application des engrais phosphatés sur les paramètres de croissance du mil

Les variations des paramètres de croissance du mil en fonction du type d'engrais phosphatés et la distance entre le point d'apport de ces engrais par rapport au collet de la plante de mil sont consignées dans le Tableau 3. Quelle que soit l'année et la période de mesure, le TSP a enregistré la valeur la plus élevée en hauteur et en diamètre au collet. Par contre, concernant le taux de croissance relatif de la hauteur et du diamètre au collet, c'est le CBKCa qui a enregistré la valeur la plus élevée. Concernant le point d'application, le traitement d10 (apport d'engrais phosphaté à 10 cm du collet de la plante) a enregistré la plus grande valeur sur l'ensemble des mesures de la hauteur des plantes et leur diamètre au collet, excepté celle de la hauteur au 98<sup>e</sup> Jour Après Semis (JAS) en 2021. En ce qui concerne le taux de croissance relatif de la hauteur et du diamètre au collet, le traitement d5 (apport d'engrais phosphaté à 5 cm du collet de la plante) a obtenu le taux le plus élevé de la croissance quelle que soit l'année. Les résultats

d'analyse de variance ont indiqué que ni l'apport des différentes sources de P, ni les points d'application n'ont eu d'effet significatif sur les paramètres de croissance du mil quelle que soit la période de mesure. Il en est de même pour le taux de croissance relative du diamètre et de la hauteur. Sur l'ensemble des paramètres de croissance, l'ANOVA n'a révélé aucun effet significatif ( $P > 0,05$ ) pour l'interaction entre les deux facteurs. En plus, indépendamment de l'engrais phosphaté, l'année 2022 a enregistré une baisse comparativement à l'année 2021 sur l'ensemble des paramètres mesurés. Concernant le diamètre des plantes, cette baisse est de l'ordre de 63,71% et de 42,28% respectivement au 35<sup>e</sup> et au 98<sup>e</sup> JAS. Par rapport à l'année 2021, les plantes en année 2022 ont enregistré une baisse de hauteur de l'ordre de 62,05% et de 41,23%.

### Effet du type d'engrais phosphaté et des points d'application sur la productivité du mil

Les rendements en grains et en pailles ainsi que l'indice de récolte ont été évalués en 2021 et 2022. Les variations du rendement en fonction de la source de phosphore et des

points d'application sur la productivité du mil, sont présentées dans le Tableau 3. Les résultats d'analyses en fonction des différentes sources de phosphore par année d'étude montrent qu'il n'existe aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les valeurs moyennes des rendements en grains et en pailles ainsi que les indices de récolte obtenus en 2021 et en 2022. En 2021, l'utilisation de l'engrais phosphaté du type TSP a permis d'obtenir le rendement en grain le plus élevé avec un taux d'accroissement de 5,26% par rapport au CBKCa. Le rendement en paille a suivi la même tendance avec un taux de 10,49%. Par contre, en 2022, malgré une baisse de la production de façon générale, le rendement en grain le plus important a été obtenu par le CBKCa avec un taux d'accroissement de 9,43%.

Les valeurs moyennes des rendements en grains et en pailles (Tableau 4) obtenues par année de production ont été influencées significativement par les points d'applications des engrais phosphatés. Par contre, concernant l'indice de récolte, aucune différence significative n'a été observée entre les valeurs moyennes des différents points d'applications. En 2021, le traitement d5 (apport d'engrais phosphaté à 5 cm du collet) a enregistré le rendement en grain le plus élevé (1059 kg.ha<sup>-1</sup>). Il est suivi du traitement d0 (apport d'engrais phosphaté au collet) avec un rendement en grain de 784 kg.ha<sup>-1</sup>. Le plus faible rendement (749 kg.ha<sup>-1</sup>) a été obtenu avec le traitement d10 (apport d'engrais phosphaté à 10 cm du collet) (Tableau 4). Ainsi, le traitement d5 a entraîné une augmentation du rendement de 35% par rapport au traitement d0. Cette augmentation a été évaluée à l'ordre de 42% par rapport à d10.

Pour le rendement en paille, le même ordre de classement a été enregistré avec des valeurs de 3692 kg.ha<sup>-1</sup>, 2130 kg.ha<sup>-1</sup> et de 2441 kg.ha<sup>-1</sup> respectivement pour d5, d0 et d10. A ce niveau, d5 a permis d'obtenir une augmentation de rendement de 30% et de 51%, comparée respectivement aux traitements d0 et d10. L'ANOVA a relevé une différence significative ( $p=0,010$ ) et hautement significative ( $p=0,008$ ) entre les différents traitements pour le rendement en grains et en pailles, respectivement.

En 2022, les rendements en grains ont varié de 651 kg.ha<sup>-1</sup> en d5 à 309 kg.ha<sup>-1</sup> en d0. Quant aux rendements en paille, ils ont varié de 1794 kg.ha<sup>-1</sup> en d10 à 1089 kg.ha<sup>-1</sup> en d0. Concernant le rendement en grain, l'analyse de variance a montré une différence significative ( $p=0,045$ ) entre d5 et d0. Pour ce qui est du rendement en paille, les analyses ont indiqué que d0 et d5 d'une part et d5 et d10 d'autre part sont identiques statistiquement. Par contre, d0 et d10 présentent une différence significative. Indépendamment de l'année de production et du paramètre mesuré, aucune interaction n'a été observée entre les différentes sources du phosphore et le point d'application (Tableau 4). Ainsi, il ressort de cette analyse que le traitement d5 a permis d'enregistrer le rendement en grain le plus élevé et ce quelle que soit l'année de production, avec une différence statistiquement significative. Cependant, les rendements n'ont pas été stables sur l'ensemble des points d'application des sources de P par rapport au collet des plantes durant les deux années de production. En effet, sur l'ensemble des traitements, il y'a eu une baisse de rendement en grain de 2021 à 2022. Cette baisse est de l'ordre de 60,56% ; 38,48% et 34,60% pour d0, d5 et d10 respectivement.

**Tableau 3** : Effet du type et de la distance d’application des engrais phosphatés par rapport au collet sur la croissance du mil.

Facteurs	Traitements	Diamètre 1		Diamètre 2		TCRd		Hauteur 1		Hauteur 2		TCRh	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
		2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Source	CBKCa	9,22	3,51	16,89	9,75	0,84	1,92	34,03	12,83	232,25	128,31	6,00	9,02
	TSP	10,39	3,62	17,9	10,20	0,74	1,95	36,53	13,94	251,00	154,69	6,02	10,29
	Probabilité	0,152	0,822	0,435	0,430	0,464	0,94	0,427	0,430	0,362	0,287	0,982	0,354
	Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Points d’apports	d10	10,25	4,04	17,92	10,58	0,75	1,88	37,083	14,25	244,12	160,62	6,26	10,27
	d5	9,92	3,65	16,71	10,13	0,68	1,82	1,79	13,88	221,79	126,79	5,00	8,13
	d0	9,25	3,00	17,25	9,22	0,76	2,10	36,96	12,04	258,96	138,58	6,78	10,57
	Probabilité	0,567	0,246	0,247	0,168	0,755	0,787	0,304	0,395	0,337	0,490	0,126	0,291
	Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Interaction	Source*Points d’apports	0,570	0,958	0,832	0,708	0,470	0,901	0,53	0,847	0,831	0,967	0,360	0,709

Hauteur 1 et 2 : hauteur mesurée respectivement à 30 et 98 jours après semis. TCRh : taux de croissance relative en hauteur. Diamètre 1 et 2 : diamètre mesuré respectivement à 30 et 98 jours après semis. TCRd : taux de croissance relative du diamètre au collet. NS : non significatif. D0, d5 et d10 correspondent respectivement à la série de distance de 0, 5 et 10 cm entre le point d’apport des engrais phosphatés et le collet de la plante ; jours après semis (JAS).



**Tableau 4** : Effet des engrais phosphatés et des points d'apport sur la productivité du mil.

Facteurs	Traitements	Rendement en grain (Kg.ha <sup>-1</sup> )		Rendement en paille (Kg.ha <sup>-1</sup> )		Indice de récolte	
		2021	2022	2021	2022	2021	2022
Source	CBKCa	841,87	505,10	2829,14	1350,40	30,21	43,20
	TSP	886,18	462,00	3126,04	1455,76	28,78	32,29
	Probabilité	0,565	0,576	0,329	0,605	0,567	0,230
	Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Points d'apport	d10	748,83 <sup>b</sup>	309,01 <sup>ab</sup>	2440,96 <sup>b</sup>	1794,16 <sup>b</sup>	31,50	28,39
	d5	1059,75 <sup>a</sup>	651,93 <sup>b</sup>	3691,91 <sup>a</sup>	1325,43 <sup>ab</sup>	28,70	45,42
	d0	783,50 <sup>b</sup>	489,70 <sup>a</sup>	2829,89 <sup>b</sup>	1089,66 <sup>a</sup>	28,29	39,42
	Probabilité	0,010	0,010	0,008	0,038	0,525	0,300
	Signification	S	S	HS	S	NS	NS
Interaction	Source* Points d'apports	0,330	0,262	0,875	0,404	0,557	0,158

S : significatif ; NS : non significatif ; HS : hautement significatif. d0, d5 et d10 correspondent respectivement à la série de distance de 0, 5 et 10 cm entre le point d'apport des engrais phosphatés et le collet du plante.

## DISCUSSION

Cette expérimentation a été mise en œuvre afin d'évaluer la réponse du mil à l'apport en bande d'engrais phosphaté (TSP et CBKCa) de différentes solubilités suivant trois points d'application (0 ; 5 et 10 cm du collet de la plante) sur sa productivité sur un lixisol au Burkina Faso. Les résultats, indépendamment de l'année de production, obtenus sur l'ensemble des paramètres de croissance en fonction des différentes sources de P ont montré que le CBKCa a induit des effets statistiquement similaires à ceux du TSP. Ceci s'expliquerait par le fait que le CBKCa a permis de libérer suffisamment de P directement assimilable par les plantes qui assurent convenablement leur nutrition, et leur

développement. En ce qui concerne la distance d'application des engrais phosphatés, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements. Cette observation pourrait s'expliquer la teneur initiale du phosphore assimilable dans le sol (7,4 mg.kg<sup>-1</sup>). En effet, selon Barber (1995), une concentration de 0,2 ppm de phosphore est adéquate pour assurer une croissance optimale. Par ailleurs, l'obtention de bon rendement et conditionné par le maintien de cette concentration durant tout le cycle de la culture.

Concernant l'année de production, la campagne de 2022 a enregistré une baisse comparativement à celle de 2021 sur l'ensemble des paramètres mesurés. Cette observation serait imputable à la mauvaise

répartition des pluies en 2022. En effet, l'analyse de la distribution des pluies aussi bien en 2021 qu'en 2022 a indiqué que l'année de production 2022 a été plus pluvieuse que celle de 2021. En plus, en 2021, la distribution des pluies a été plus régulière qu'en 2022. Aussi, en 2022, la campagne a été marquée par une poche de sécheresse de 11 jours survenue au 2<sup>e</sup> JAS. Ces résultats corroborant les travaux de Weil et al. (1994). En effet, ces auteurs dans leurs travaux ont montré que l'augmentation de la teneur en eau du sol croissance de la plante et l'absorption du phosphore par les racines, entraînant ainsi une plus grande provoquée par les précipitations ou l'irrigation accroît la dissolution des PN.

En plus, aucune différence significative n'a été observée entre les différentes sources de P concernant les rendements en grains et en pailles ainsi que l'indice de récolte quelle que soit l'année de production. Cela suggère que l'application du CBKCa peut être une alternative viable au TSP comme engrais P dans la zone d'étude. Des résultats similaires ont été trouvés par de nombreux auteurs dont Bolland et al. (1999) ; Kone et al. (2010) et Nakamura et al. (2019). Ces auteurs ont montré que suite aux travaux sur l'amélioration de la solubilité du Burkina Phosphate (BP), les engrais phosphatés locaux fabriqués à partir des BP de faible qualité, apportés au poquet sont dotés d'un potentiel pour améliorer la productivité agricole au même titre que les engrais phosphatés fortement solubles dans l'eau. En effet, le CBKCa est issu d'un processus de calcination du BP et enrichi en calcium, ce qui va sans doute permettre de disponibiliser le P au profit des plantes sensiblement au même titre que celui du TSP.

En 2021, le TSP a permis d'obtenir le rendement en grain le plus élevé avec un taux d'accroissement de 5,26% par rapport au CBKCa. Le rendement en paille a suivi la même tendance avec un taux de 10,49%. Par contre, en 2022, malgré une baisse généralisée de la production, le rendement en grain le plus élevé a été obtenu par le CBKCa avec un taux d'accroissement de 9,43%. Cette observation serait imputable d'une part à l'hétérogénéité de la parcelle. Et d'autre part, à un effet

résiduel du CBKCa appliqués en bandes l'année précédente. En effet, en dépit du fait que le CBKCa ait été obtenu par calcination du BP afin d'améliorer sa solubilité, il a un processus de libération du P plus lent et donc plus étalé dans le temps que celui du TSP, fumure à libération rapide, ce qui pourrait entraîner une précipitation du P par les minéraux du sol Al, Fe Ca et les argiles et limons (Tamungang et al., 2016).

Des observations de l'effet des trois points (d0 ; d5 et d10) d'application du phosphore sur les rendements du mil, il ressort que le traitement d5 a été favorable à une amélioration significative de la productivité du mil comparativement aux autres traitements (d0 et d10). Ce résultat montre clairement que l'efficacité d'utilisation du P par les cultures est fortement liée à l'écart entre le point d'application des engrais phosphatés et le collet de la plante de mil. En effet, au début de la croissance, le système racinaire de la plante est très peu développé. Par conséquent, elle bénéficie au maximum des apports des différentes sources de P à son collet. Malheureusement, le processus de croissance des plantes s'accompagne d'un développement de son système racinaire. Par conséquent, le phosphore étant un élément qui diffuse peu, les racines s'éloignent du P pour d0 et n'atteignent pas celui de d10, faisant du d5 le point d'apport convenable pour la satisfaction des besoins importants de la plante en phosphore. Ces résultats corroborent ceux de Garg et Welch (1967), qui ont clairement montré que l'utilisation la plus efficace des engrais phosphatés n'est obtenue que lorsque le phosphore est placé en bande dans un petit volume de sol près de la plante.

Les résultats ont également montré qu'indépendamment de la source du P et du point d'application des engrais phosphatés, la productivité du mil a été plus faible en 2022 comparativement à 2021. Cette différence de la productivité interannuelle s'explique d'une part par la poche de sécheresse qui est intervenue dix jours après les semis intervenue en 2022. Et d'autre part par l'excès d'humidité qui a inhibé la croissance des plantes par asphyxie, après la reprise des fortes pluies. En

effet, selon Sale et al. (1997), en Australie, ont montré qu'un approvisionnement en eau adéquat améliore l'efficacité agronomique des PN. Cette situation traduit une mauvaise répartition des eaux de pluie, et pourrait avoir de toute évidence un impact sur le développement et la croissance du mil ainsi que sur son rendement en grain.

### Conclusion

Les résultats de la présente étude montrent de façon générale que l'apport du TSP n'a pas présenté des effets significatifs sur la croissance et la production de biomasse du mil comparativement à ceux du CBKCa. Elle a permis de montrer également que quelle que soit l'année et la source du P, l'apport des engrais phosphatés à 5 cm du collet de la plante du mil améliore la production de biomasse. Par conséquent, il ressort de cette analyse qu'au-delà de l'intérêt que présente l'apport des engrais phosphatés au sol du Burkina Faso, elle met en évidence l'importance de la stratégie d'une application adéquate de ces engrais. Aussi, le CBKCa, bien qu'il s'agisse d'une source de P à libération lente, pourrait constituer une alternative aux engrais chimiques face au problème de carence des sols en P de la zone tropicale d'Afrique de l'Ouest. Des études complémentaires sur d'autres cultures tropicales et à conditions d'humidité différentes sont nécessaires pour évaluer les limites des résultats de cette étude. Également, de nombreuses études ont souligné l'efficacité d'utilisation du phosphore par les plantes sous l'inoculation des mycorhizes de souches locales. Par conséquent, ne serait-il pas intéressant de tester la réponse d'une interaction entre une inoculation mycorhizienne de souche locale et cette stratégie d'apport des engrais phosphatés surtout locaux ? Toute chose pouvant permettre d'améliorer la nutrition phosphatée et la productivité agricole.

### CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas de conflit d'intérêts.

### CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Tous les auteurs ont participé à la rédaction. Ils ont amendé le présent article lors de son élaboration.

### RÉFÉRENCES

- Amnayl L. 1996. Fertilisation phosphatée des légumineuses alimentaires : Dose et méthodes d'application du phosphore. *AL AWAMIA (MA)*, **92**: 93-100.
- Badjissaga M. 2007. Identification des éléments nutritifs majeurs limitant et des stratégies appropriées de fertilisation sous la culture de maïs dans l'Ogou-Est de la région de plateau. Mémoire Ingénieur Agronome, Université de Lomé, p. 86.
- Barber SA. 1995. *Soil Nutrient Bioavailability : A Mechanistic Approach*. John Wiley and Sons : New York, USA.
- Bolland MDA, Siddique KHM, Loss SP, Baker MJ. 1999. Comparing responses of grain legumes, wheat and canola to applications of superphosphate. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **53**: 157-175. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009798506480>
- Buresh RJ, Smithson PC, Hellums DT. 1997. Building Soil Phosphorus Capital in Africa. In *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Replenishing Soil Fertility in Africa*. SSSA Special Publication **51**: 111-149. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub51.c6>
- CPCS. 1967. Commission de pédologie et de cartographie des sols. 1967. Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes des sols. Service de classification des sols. INRA, France. p. 87.
- Garg PK, Welch LF. 1967. Growth and Phosphorus Uptake by Corn as Influenced by Phosphorus Placement. *Agronomy Journal*, **59**(2): 152-154. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1967.00021962005900020008x>
- Giroux M, Bernier D, Émond C. 1996. Utilisation agronomique et environnementale judicieuse des engrais phosphatés selon les caractéristiques des

- sols et des engrais. Dans Colloque sur la fertilisation intégrée des sols, CPVQ inc.; 49-64.
- Dabin B. 1970. Méthode d'étude de la fixation du phosphore sur les sols tropicaux. Coton et fibres tropicales.
- Haro H, Semde K, Bahadio K, Sanon KB. 2020. Effet de l'inoculation mycorhizienne avec des souches des champignons mycorhiziens arbusculaires sur la croissance de *Mucuna pruriens* (L.) DC en condition contrôlée. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **14**(3): 1065-1073. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i3.32>
- Hoeltz RG, Nafziger ED, Johnson RR, Aldrich SR. 2000. *Modern Corn and Soybean Production*. (1st edn). MCSP Publications, Champaign, 3.
- Holford ICR. 1997. Soil phosphorus: Its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research*, **35**(2): 227-240. DOI: <https://doi.org/10.1071/S96047>
- Ilg K, Siemens J, Kaupenjohann M. 2005. Colloidal and Dissolved Phosphorus in Sandy Soils as Affected by Phosphorus Saturation. *Journal of Environmental Quality*, **34**(3): 926-935. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0101>
- IUSS Working Group WRB. 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO.
- Jiang W, Liu X, Wang X, Yang L, Yin Y. 2019. Improving Phosphorus Use Efficiency and Optimizing Phosphorus Application Rates for Maize in the Northeast Plain of China for Sustainable Agriculture. *Sustainability*, **11**(17): 4799. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11174799>
- Kone B, Saidou A, Camara M, Diatta S. 2010. Effet de différentes sources de phosphate sur le rendement du riz sur sols acides. *Agronomie Africaine*, **22**(1): 55-63. DOI: <https://doi.org/10.4314/aga.v22i1.62318>
- Koulibaly B, Traore O, Dakuo D, Lalsaga R, Lompo F, Zombre P. 2015. Acidification des sols ferrugineux et ferrallitiques dans les systèmes de production cotonnière au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(6): 28-79. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.44>
- Lompo F, Bonzi M, Bado BV, Gnankambary Z, Ouandaogo N, Sedogo MP, Yao-Kouame A. 2007. Effets des modes de gestion de la fertilité sur la solubilisation des phosphates naturels dans un lixisol en zone nord soudanienne du Burkina Faso. *Science et technique, Sciences naturelles et agronomie*, **29**(1 et 2): 38-55. Consulté à l'adresse [https://revuesciences-techniquesburkinq.org/index.php/science\\_naturelles\\_et\\_appliquee/article/view/1822](https://revuesciences-techniquesburkinq.org/index.php/science_naturelles_et_appliquee/article/view/1822).
- Mallarino R, Henegar C, Mirasierra M, Manceau M, Schradin C, Vallejo M, Beronja S, Barsh GS, Hoekstra HE. 2016. Developmental mechanisms of stripe patterns in rodents. *Nature*, **539**(7630): 518-523. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature20109>
- Nakamura S, Fukuda M, Nagumo F, Tobita S. 2013. Potential Utilization of Local Phosphate Rocks to Enhance Rice Production in Sub-Saharan Africa. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, **47**(4): 353-363. DOI: <https://doi.org/10.6090/jarq.47.353>
- Nakamura S, Kanda T, Imai T, Sawadogo J, Nagumo F. 2019. Solubility and application effects of African low-grade phosphate rock calcinated with potassium carbonate. *Soil Science and Plant Nutrition*, **65**(3): 267-273. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1598236>
- Ouedraogo J, Serme I, Pouya MB, Sanon SB, Ouattara K, Lompo F. 2021. Improvement of sorghum productivity through introducing integrated soil fertility management options in the Northern Sudanian zone of Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **14**(9): 3262-3274. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.23>

- Sale PWG, Gilkes RJ, Bolland MDA, Simpson PG, Lewis DC, Ratkowsky DA, Gilbert MA, Garden DL, Cayley JWD, Johnson D. 1997. The agronomic effectiveness of reactive phosphate rocks 1. Effect of the pasture environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **37**(8): 921. DOI : <https://doi.org/10.1071/EA96108>
- Sanchez PA, Shepherd KD, Soule MJ, Place FM, Buresh RJ, Izac AMN, Mokwunye UA, Kwesiga FR, Ndiritu CG, Woomer PL. 2015. Soil Fertility Replenishment in Africa: An Investment in Natural Resource Capital. *Soil Science Society of America American Society of Agronomy*, **51**: 1-46). DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub51.c1>
- Siemens J, Ilg K, Lang F, Kaupenjohann M. 2004. Adsorption controls mobilization of colloids and leaching of dissolved phosphorus: Adsorption controls colloidal and dissolved P. *European Journal of Soil Science*, **55**(2): 253-263. DOI : <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2004.00596.x>
- Sonmez O, Pierzynski GM. 2017. Changes in Soil Phosphorus Fractions Resulting from Crop Residue Removal and Phosphorus Fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **48**(8): 929-935. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1323094>
- Tamungang NEB, Mvondo-Zé AD, Ghogomu JN, Mofor NA. 2016. Evaluation of phosphorus sorption characteristics of soils from the Bambouto sequence (West Cameroon). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **10**(2): 860. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i2.33>
- Vassilev N, Vassileva M, Fenice M, Federici F. 2001. Immobilized cell technology applied in solubilization of insoluble inorganic (rock) phosphates and P plant acquisition. *Bioresource Technology*, **79**(3): 263-271. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00017-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00017-7)
- Wang J, Chu G. 2015. Phosphate fertilizer form and application strategy affect phosphorus mobility and transformation in a drip-irrigated calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **178**(6): 914-922. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201500339>
- Weil S, Gregg PEH, Bolan NS. 1994. Influence of soil moisture on the dissolution of reactive phosphate rocks. In L.D. Currie P. Loganathan, eds. The efficient use of fertilizers in a changing environment: reconciling productivity and sustainability. Palmerston North, New Zealand, Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, 7; 75-81.