



Effets du phosphore et du potassium sur la fertilité chimique du sol et des paramètres de rendement du cacaoyer

Acka Jacques Alain KOTAIX¹, Yéboua Firmin KOUASSI^{2*}, Evelyne Gévère Marise ASSI¹,
Lou Djénan Marie-Pierre IRIE², Koffi Hypolith KOUADIO³, N'Dri Norbert KOUAME¹,
Koffi Emmanuel KASSIN⁴, Klotionoma COULIBALY¹ et Louis Anselme KOKO⁵

¹Département Agronomie Physiologie, Centre National de Recherche Agronomique, Divo, Côte d'Ivoire, BP 808 Divo.

²UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire, 02 BP 801 Abidjan 02.

³UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, BP 150 Daloa.

⁴Mondelez, Abidjan, Côte d'Ivoire, 01 BP 5754 Abidjan 01.

⁵Office Chérifien des Phosphates, Abidjan, Côte d'Ivoire, 25 BP 1908 Abidjan 25.

*Auteur correspondant ; E-mail : fyebouak@yahoo.fr; Tel : +225 07 07 14 67 43

Received: 03-05-2022

Accepted: 30-08-2022

Published: 31-10-2022

RESUME

La recherche de solution à la fluctuation de la fertilité des sols sous culture de cacao en Côte d'Ivoire demeure préoccupante face à la baisse des rendements en fèves de cacao. Cette étude visait à évaluer les effets du phosphore et du potassium sur la fertilité chimique du sol et le rendement en fèves de cacao. Le dispositif expérimental utilisé était un bloc de Fisher randomisé, avec 4 répétitions et 4 traitements que sont T1 (300 g/pied/an), T2 (400 g/pied/an), T3 (800 g/pied/an) et T4 (400 g/pied/an), des doses d'engrais composés (PK et NPK) de formules respectives 0-23-19 (engrais de référence), 0-15-15, 3,5-14-7 et 0-18-9. Des échantillonnages de sol ont été effectués dans les parcelles unitaires et suivis d'analyses au laboratoire. Des paramètres de rendement en fèves ont été déterminés. Les résultats ont montré que les teneurs en matière organique (3,45-4,83%) et les rapports C/N (10,0-11,11) des sols ont atteint les seuils recommandés après fertilisation. Les pH étaient compris entre 6,7 et 7,2, avec des capacités d'échange cationique (CEC) conformes au seuil indiqué (15-25 cmol_c kg⁻¹). La quasi-totalité des équilibres chimiques était normale. Le poids des fèves fraîches par cabosse a été plus élevé (182,83 g) dans le traitement T4. Le traitement T2 a donné le gain de rendement le plus élevé (36,87%). Ainsi, une application de l'engrais 0-15-15 conforme à la fertilité chimique initiale du sol pourrait améliorer les rendements en fèves sèches de cacao.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Fertilisation, engrais minéral, cacaoculture, fève, Lakota, Côte d'Ivoire.

Effects of phosphorus and potassium on soil chemical fertility and cocoa yield parameters

ABSTRACT

The search for a solution to changes in the fertility of cocoa orchard soils in Côte d'Ivoire is an ongoing concern in the face of declining cocoa bean yields. This study aimed to assess the effects of phosphorus and potassium on soil fertility and cocoa bean yield. The experimental device used was a Fisher block, with 4 repetitions and 4 treatments which are T1 (300 g/plant/year), T2 (400 g/plant/year), T3 (800 g/plant/year) and T4 (400 g/plant/year), rates of compound fertilizers (PK and NPK), with respective formulas of 0-23-19 (reference fertilizer), 0-15-15, 3.5-14-7 and 0-18-9, respectively. Soil sampling was carried out in unit plots, and samples were subject to analysis in laboratory. Bean yield parameters were also determined. Results showed that the organic matter content (3.45-4.83%) and the C/N ratios (10.0-11.11) of the soils reached the recommended levels following soil fertilization. The pH values were between 6.7 and 7.2, with cation exchange capacities (CEC) within the indicated level (15-25 cmol_c kg⁻¹). Almost all chemical balances were normal. The weight of fresh beans per pod was higher (182.83 g) in the T4 treatment. The T2 treatment gave the highest cocoa bean yield (36.87%). Thus, an application of 0-15-15 fertilizer formula, in accordance with the initial chemical fertility of the soil, could improve the yields of dry cocoa beans.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords : Fertilization, mineral fertilizer, cocoa farming, bean, Lakota, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Le cacao (*Theobroma cacao* Linn.) est une culture de rente importante dans plusieurs pays tropicaux au regard de sa place dans leur économie (Koudjega et Tossah, 2009). La demande mondiale de fèves de cacao était en perpétuelle hausse, passant de 3,7 millions de tonnes en 2007-2008 à 4,225 millions de tonnes en 2015-2016, alors que sa production était passée de 3,7 millions de tonnes à la campagne de 2007-2008 à 4,154 millions de tonnes à celle de 2015-2016 (ICCO, 2008 ; ICCO, 2016). L'offre ne suivant donc pas la demande, les cours mondiaux des fèves ont connu une hausse.

L'Afrique détient toujours le monopole de la production, avec plus de 70% de l'approvisionnement mondial de cacao (Wessel et Quist-Wessel, 2015). L'augmentation de la production est ainsi devenue une nécessité et un défi pour les principaux pays producteurs (Jagoret et al., 2014), dont la Côte d'Ivoire, premier pays producteur mondial (ICCO, 2020).

Toutefois, la production cacaoyère ivoirienne, qui résulte, en partie, des tentatives d'intensification et de replantation, mais aussi de création de nouvelles plantations aux dépens des forêts, est confrontée à une baisse des

rendements, consécutive à une diminution des réserves forestières du pays (Kouadjo et al., 2002) et, par conséquent, à celle des teneurs en matière organique des sols. Face à cette situation, l'industrie cacaoyère préconise l'utilisation d'engrais minéraux.

En effet, les critères et techniques d'appréciation de la fertilité des sols cacaocultivés sont divers. Certains se basent sur la diminution des teneurs en matière organique tandis que d'autres sur la baisse des rendements en fèves de cacao marchandes (Vos et al., 2003). Dès lors, il apparaît important de savoir si, en plus de ces critères classiques, d'autres indicateurs ne pourraient pas mieux renseigner sur la fertilité chimique des sols. D'où la nécessité de mener des investigations sur certains éléments nutritifs essentiels du cacao dans les sols pour voir s'ils ne se prêteraient pas mieux à l'identification des causes de la fluctuation de la fertilité chimique des sols cacaocultivés. L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets du phosphore et du potassium sur la fertilité chimique du sol et le rendement en fèves sèches de cacao.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

L'étude a été conduite à Niémélé (Figure 1), dans la Sous-préfecture de Lakota (Région du Lôh-Djiboua), au Centre-Sud de la Côte d'Ivoire. Les coordonnées géographiques du site expérimental sont 5°35'50,2'' W et 5°52'25'' N. Les sols de cette Région appartiennent aux groupes des Ferralsols, Acrisols, Cambisols et Gleysols (Kassin et al., 2016). Le climat est de type tropical, caractérisé par deux saisons humides (Mai à Juillet et Septembre à Novembre) qui alternent avec deux saisons sèches (Août à Septembre et Décembre à Avril). La pluviométrie et la température moyennes annuelles sont, respectivement, de 1 320 mm et 27°C, avec une hygrométrie moyenne annuelle de 85%. La végétation, jadis, constituée de forêt dense semi-décidue, est réduite à une mosaïque de reliques forestières par les activités agricoles et l'exploitation forestière (Kouamé et al., 2007).

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était constitué de diverses variétés (tout venant) de cacaoyers (*Theobroma cacao* Linn) dans une cacaoyère de 7 ha ayant atteint son plateau de production, en milieu paysan, dont l'âge était compris entre 15 et 17 ans. La cacaoyère a été choisie par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) sur la base des travaux antérieurs d'un programme de recherche. Les cacaoyers sélectionnés portaient des fleurs ou des chérelles et n'étaient pas malades ou ne présentaient pas d'attaques sévères de foreurs de tiges.

Fertilisants

Les fertilisants utilisés étaient constitués d'engrais minéraux, proposés par l'Office Chérifien de Phosphate (OCP) suite au diagnostic du sol, dont les formules étaient 0-23-19 (PK), 0-15-15 (PK), 3,5-14-7 (NPK) et 0-18-9 (PK).

Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif en bloc de Fisher randomisé, avec 4 traitements et 4 répétitions (Figure 2), soit un total de 16 parcelles unitaires de 225 m² chacune. La parcelle expérimentale faisait 69 m de longueur et 67,5 m de largeur, soit une superficie de 4 657,5 m². Chaque parcelle unitaire comprenait

42 cacaoyers dont 20 par parcelle utile. Les cacaoyers étaient distants de 2,5 m sur une même ligne, et les lignes faisaient 3 m entre elles, soit une densité de plantation de 1 333 pieds/ha. Dans chaque bloc, les cacaoyers des différents traitements ont été marqués par des couleurs spécifiques correspondant aux traitements.

Traitements et doses des engrais minéraux

Les engrais minéraux ont été apportés à différentes doses selon les traitements (Tableau 1).

Application des engrais minéraux

Les doses des engrais minéraux ont été apportées en deux fractions égales, en surface, aux pieds des cacaoyers sur une ligne circulaire de 0,80 m de rayon autour du collet des arbres (Figure 3), avec la première en Mars-Avril 2020 et la seconde en Août-Septembre 2020.

Echantillonnages de sol

Les échantillonnages de sol ont été faits par la technique du maillage carré régulier à la fin de la campagne de production (Septembre 2020). Les échantillons de sol ont été prélevés dans les couches 0-20 cm du sol et à 1 m du cacaoyer à l'aide d'un tube cylindrique de sondage. Quatre (4) échantillons composites ont été constitués par traitement et mis dans des sachets plastiques. Ils ont été séchés à l'air ambiant jusqu'à obtenir une masse constante avant d'être tamisés à l'aide d'un tamis à mailles carrées de 2 mm de côté. Ces échantillons de sol ont été analysés au laboratoire de l'OCP à Bingerville, en Côte d'Ivoire.

Analyses physico-chimiques et chimiques des sols

Le pH_{eau} a été déterminé, à l'aide d'un pH-mètre électronique, dans une solution de sol avec un rapport sol/eau de 1/2,5. Les teneurs en carbone et en azote total ont été déterminées, respectivement, par les méthodes de Walkley et Black et de Kjeldahl. Celle en matière organique a été obtenue en multipliant la teneur en carbone organique par 1,724. Quant à celle en phosphore assimilable, elle a été obtenue selon la méthode de Olsen et Dabin (1967) utilisée par Tankou et al. (2020). La

capacité d'échange cationique (CEC) et les teneurs en cations basiques échangeables ont été déterminées par la méthode à l'acétate d'ammonium à pH 7, permettant ainsi de calculer le taux de saturation en cations basiques échangeables (V) en divisant la somme des cations basiques (S) par la CEC et le tout multiplié par 100 (Iren et al., 2021).

Equilibres chimiques des sols

Les équilibres chimiques des sols entre les différents éléments nutritifs du cacaoyer ont été déterminés par la méthode « diagnostic sol » établie par Hornus et Snoeck (2010). Ainsi, les teneurs en éléments nutritifs ont été déterminées par les formules suivantes :

$$N = \frac{[(K+Ca+Mg)+6,15]}{8,9} \quad \text{(Equation 1)}$$

$$K = 8 \times (K + Ca + Mg) \quad \text{(Equation 2)}$$

$$Ca = 68 \times (K + Ca + Mg) \quad \text{(Equation 3)}$$

$$Mg = 24 \times (K + Ca + Mg) \quad \text{(Equation 4)}$$

Avec les teneurs en N, K, Ca et Mg exprimées %.

Mesure des paramètres et du gain de rendement des cacaoyers

Les paramètres du rendement, tels que la masse des fèves fraîches par cabosse et le

rendement en fèves sèches, ont été déterminés. De plus, les gains de rendement ont été évalués. Ainsi, le rendement en fèves sèches a été estimé par la formule suivante (Jagoret, 2011) :

$$Rdt = PMF \times 0,35 \times nCabsain \times 1333 \times 0,001 \quad \text{(Equation 5)}$$

Rdt : rendement (kg ha⁻¹), PMF : masse moyenne de fèves fraîches par cabosse, nCabsain : nombre de cabosses saines par cacaoyer, 0,35 : expression de 35% correspondant à la masse sèche d'une fève de cacao, 1 333 : nombre de cacaoyers à l'hectare, 0,001 : facteur de conversion du gramme en kilogramme.

Les données ont été collectées chaque mois sur 20 arbres par traitement de Juillet à Décembre 2020.

Traitement des données

Les données collectées ont été analysées à l'aide des logiciels EXCEL et SAS 9.4 afin de déterminer d'éventuelles différences entre les traitements. En cas de différence significative, à l'analyse de variance (ANOVA), la formation des groupes de moyennes homogènes a été faite par le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

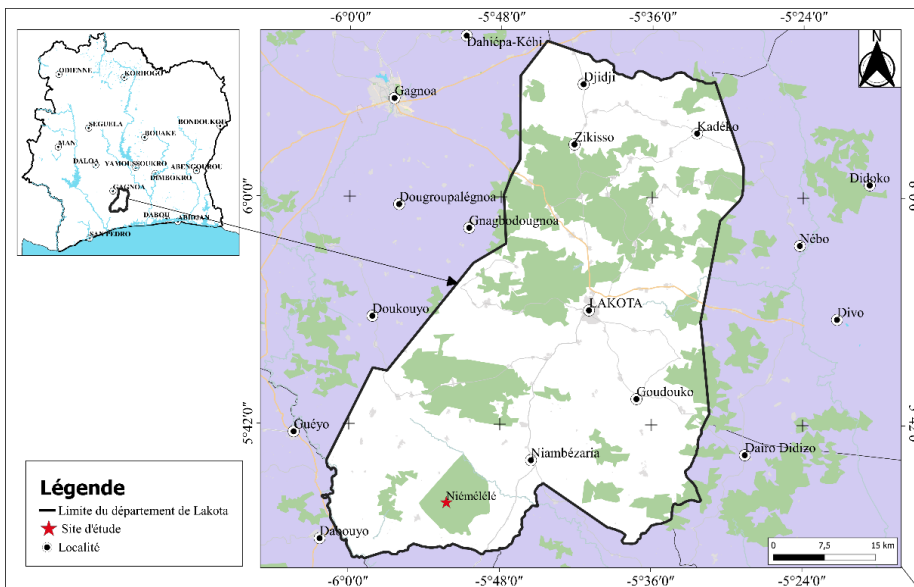


Figure 1 : Carte du site de l'étude.

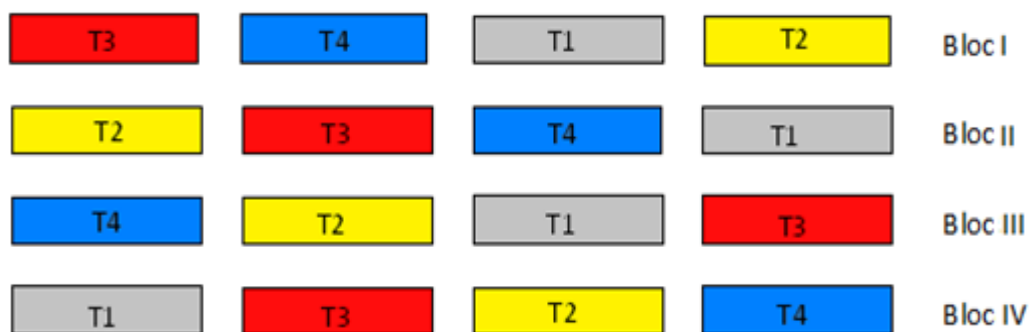


Figure 2 : Schéma du dispositif expérimental.

Tableau 1 : Traitements et doses d'engrais minéraux (PK et NPK).

Traitements	Formules d'engrais	Doses (g/pied/an)
T1 (référence)	0-23-19	300
T2	0-15-15	400
T3	3,5-14-7	800
T4	0-18-9	400



Figure 3 : Engrais minéral appliqué en ligne circulaire autour d'un cacaoyer.

RESULTATS

Effet des fertilisants sur les caractéristiques physico-chimiques et chimiques des sols

Matière organique des sols

Avec des différences hautement significatives ($p < 0,01$), les teneurs les plus élevées en matière organique (4,83%) et en N_{total} (0,27%) des sols ont été enregistrées dans le traitement T4 et les plus faibles dans le traitement T1 avec, respectivement, 3,45 et 0,18%. Les rapports C/N ont été statistiquement identiques ($p > 0,05$), avec une moyenne générale de 10,59 (Tableau 2).

Complexe adsorbant et réaction des sols

Les CEC, les sommes des cations basiques et les pH_{eau} des sols ont été très hautement différents ($p < 0,001$) et les taux de saturation en cations basiques hautement différents ($p < 0,01$) entre les traitements. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues dans le traitement T4 avec, respectivement, 25,2 $cmol_c\ kg^{-1}$, 13,7 $cmol_c\ kg^{-1}$, 7,6, et 54,5% et les plus faibles dans le traitement T1 avec, respectivement, 15,9 $cmol_c\ kg^{-1}$, 5,6 $cmol_c\ kg^{-1}$, 6,2 et 35,3% (Tableau 3).

Eléments nutritifs des sols

L'analyse statistique a montré des différences significatives des teneurs en éléments nutritifs des sols entre les traitements. Les teneurs les plus élevées en P_2O_5 , Ca^{2+} , Na^+ et B_2O_3 ont été obtenues dans le traitement T4 avec, respectivement, 354 ppm, 11,4, 0,05 et 0,4 $cmol_c\ kg^{-1}$. La teneur la plus élevée en K^+ a été enregistrée dans le traitement T3, avec 0,7 $cmol_c\ kg^{-1}$. Concernant Mg^{2+} , le traitement T3 a donné la teneur la plus élevée (2,1 $cmol_c\ kg^{-1}$)

et la plus faible dans le traitement T1 (0,9 $cmol_c\ kg^{-1}$) (Tableau 4).

Equilibres chimiques des sols

Les rapports P_{ass}/P_{total} , $(Ca+Mg)/K$, K/S et Ca/S ont été significativement différents entre les traitements. Pour P_{ass}/P_{total} , les traitements T1 et T4 ont donné la valeur la plus élevée (0,06). Quant à $(Ca+Mg)/K$, la valeur la plus élevée a été relevée dans le traitement T2 (36,1). Concernant K/S , c'est dans le traitement T3 qu'a été obtenue la plus importante valeur (6,6). Quant à Ca/S , la valeur la plus élevée a été enregistrée dans le traitement T4 (82,9). Par contre, les rapports Ca/Mg , Mg/K , Mg/S et $(S+6,15)/N$ ont été statistiquement semblables ($p > 0,05$) (Tableau 5).

Effets des fertilisants sur les paramètres et le gain de rendement des cacaoyers

Des différences très hautement significatives ($p < 0,001$) ont été obtenues entre les masses des fèves fraîches par cabosse. La masse la plus élevée (182,83 g) a été enregistrée dans le traitement T4 et la plus faible (168,37 g) dans le traitement T3. En revanche, aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été observée entre les rendements en fèves sèches. Toutefois, le rendement le plus élevé (1093,6 $kg\ ha^{-1}$) a été obtenu dans le traitement T2 et le plus faible (740,6 $kg\ ha^{-1}$) dans le traitement T3. Concernant les gains de rendement, les traitements T2 et T4 ont permis d'obtenir, respectivement, 36,87 et 12,27% par rapport au traitement de référence (T1). Par contre, une perte de 7,30% a été enregistrée dans le traitement T3 (Tableau 6).

Tableau 2 : Comparaison des teneurs en matière organique des sols sous cacaoyers en fonction des traitements.

Paramètres	Traitements				Moy.	P	Signif.
	T1	T2	T3	T4			
C_{org} (%)	2,0 b	2,2 a	2,5 a	2,8 a	2,0	0,0032	HS
MO (%)	3,45 b	3,79 ab	4,31 ab	4,83 a	4,10	0,0031	HS
N_{total} (%)	0,18 c	0,22 b	0,23 ab	0,27 a	0,23	0,0019	HS
C/N	11,11 a	10,0 a	10,87 a	10,37 a	10,59	0,9699	NS

C_{org} : carbone organique, MO : matière organique, N_{total} : azote total, C/N : rapport carbone-azote.

Les moyennes avec la même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. Moy. : moyenne, P : probabilité, Signif. : significativité, HS : hautement significatif, NS : non significatif.

Tableau 3 : Effets comparés des traitements sur l'acidité et le complexe adsorbant des sols.

Paramètres	Traitements				Moy.	P	Signif.
	T1	T2	T3	T4			
pH _{eau}	6,2 c	7,0 b	7,4 ab	7,6 a	7,1	0,0001	THS
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	15,9 c	20,1 b	20,8 b	25,2 a	20,5	0,0001	THS
S (cmol _c kg ⁻¹)	5,6 c	10,2 b	10,5 b	13,7 a	10	0,0001	THS
V (%)	35,3 b	51,5 a	50,8 a	54,5 a	48	0,0032	HS

CEC : capacité d'échange cationique, S : somme des cations basiques échangeables, V : taux de saturation en cations basiques échangeables.

Les moyennes avec la même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. Moy. : moyenne, P : probabilité, Signif. : significativité, THS : très hautement significatif, HS : hautement significatif.

Tableau 4 : Effets comparés des traitements sur les éléments assimilables et échangeables des sols sous cacaoyers.

Paramètres	Traitements				Moy.	P	Signif.
	T1	T2	T3	T4			
P ₂ O ₅ (ppm)	127 b	40 c	18 d	354 a	135	0,0001	THS
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,3 b	0,3 b	0,7 a	0,4 b	0,4	0,0001	THS
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	4,3 c	8,2 b	7,7 b	11,4 a	7,9	0,0001	THS
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,9 b	1,7 a	2,1 a	1,9 a	1,7	0,0050	HS
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,0 b	0,04 a	0,03 a	0,05 a	0,03	0,0005	THS
B ₂ O ₃ (cmol _c kg ⁻¹)	0,2 c	0,3 b	0,3 b	0,4 a	0,3	0,0001	THS

Les moyennes avec la même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. Moy. : moyenne, P : probabilité, Signif. : significativité, THS : très hautement significatif, HS : hautement significatif.

Tableau 5 : Effets comparés des traitements sur les équilibres chimiques des sols.

Paramètres	Traitements				Moy.	P	Signif.
	T1	T2	T3	T4			
P _{ass} /P _{total}	0,06 a	0,01 b	0,01 b	0,06 a	0,03	0,0001	THS
Ca/Mg	4,7 a	4,9 a	3,7 a	6,4 a	4,9	0,0765	NS
Mg/K	4,2 a	6,1 a	3,2 a	4,8 a	4,5	0,0939	NS
(Ca+Mg)/K	21,7 b	36,1 a	14,7 b	32,4 a	26,2	0,0010	HS
K/S	5,1 ab	2,7 b	6,6 a	2,9 b	4,3	0,0042	HS
Ca/S	77,3 bc	80,3 ab	73,1 c	82,9 a	78,4	0,0020	HS
Mg/S	17,6 a	16,5 a	20,0 a	13,8 a	16,9	0,1171	NS
(S+6,15)/N	11,1 a	8,9 a	7,8 a	7,5 a	8,8	0,0764	NS

Les moyennes avec la même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. Moy. : moyenne, P : probabilité, Signif. : significativité, THS : très hautement significatif, HS : hautement significatif, NS : non significatif.

Tableau 6 : Paramètres et gain de rendement.

Traitements	Paramètres		
	Masses des fèves fraîches (g)	Rendements en fèves sèches (kg ha ⁻¹)	Gains de rendement (%)
T1	179,33 ab	799,0 a	-
T2	175,43 b	1093,6 a	36,87
T3	168,37 c	740,6 a	-7,30
T4	182,83 a	897,1 a	12,27
Moyenne	176,49	882,55	-
CV (%)	4,73	62,35	-
Probabilité	0,0001	0,5283	-

Les moyennes avec la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

DISCUSSION

Matière organique des sols

Les teneurs en matière organique des sols étaient bonnes (Assa, 2005). En effet, dans une cacaoyère en phase de production, le sol est recouvert d'une abondante litière de feuilles, régulièrement renouvelée, qui permet de maintenir une teneur en humus de l'horizon organo-minéral conforme à la préférence de la cacaoculture. Ce résultat conforte celui de Kotaix et al. (2021) qui ont obtenu les meilleures teneurs en matière organique dans les sols fertilisés avec les engrais issus du diagnostic sol. Aussi, le dépôt de litière de feuilles protège-t-il le sol contre l'érosion et autres facteurs de déstructuration (Bwandamuka et al., 2021 ; Dicko et al., 2022). Le rapport C/N normal (Assa, 2005) témoigne d'une bonne minéralisation de la matière organique du sol. En effet, la litière de feuilles de cacaoyer aurait une bonne teneur en azote pour enrichir la matière organique du sol et stimuler l'activité biologique à sa minéralisation, comme le cas des fertilisants organiques à base de fiente de poulet, son de riz et excréments de bœuf bien fournis en azote (18,50 %) (Kouassi et al., 2021) ainsi que des fertilisants organo-minéraux (Traoré et al., 2022).

Complexe adsorbant et réaction des sols

Les sols étaient neutres, ce qui était favorable à un bon développement du cacaoyer. Cet état des sols serait lié à une augmentation des teneurs en cations basiques, surtout en potassium issu des fertilisants apportés. De plus, ces fertilisants ne sont pas azotés, sauf un qui a, d'ailleurs, une faible teneur en azote (3,5%). Aussi, Appiah et al. (2006) et Tossah et al. (2006) ont-ils indiqué que les sols légèrement acides ne constituent pas une contrainte pour le cacaoyer car, même si l'optimum du pH est 7 pour les meilleurs sols sous cacaoyers, cette plante peut se développer sur des sols acides ou légèrement basiques.

Les CEC des sols étaient bonnes. Elles étaient comprises dans l'intervalle requis pour les sols propices à la cacaoculture (Snoeck et al., 2015) car favorables à une bonne nutrition minérale des cacaoyers.

Les sols étaient moyennement à fortement dénaturés du fait d'une lixiviation des cations basiques provoquée par les précipitations abondantes. En effet, avec un ordre de susceptibilité décroissant à la lixiviation des éléments nutritifs de N, K⁺, Ca²⁺, Mg⁺ (Munkholm et al., 2003), l'apport d'engrais potassique à ces sols doit être fortement rationalisé pour plus d'efficacité. Toutefois, cette situation constitue une

contrainte, car un taux de saturation en cations basiques inférieur à 60% est un facteur de déséquilibre nutritionnel pour les cacaoyers. Aussi, les travaux de Kouassi et al. (2021) et Yao et al. (2021) ont-ils montré l'importance des apports d'eau aux cultures qui doivent tenir compte de la réserve facilement utilisable du sol pour éviter des pertes de nutriments par lixiviation qui pourraient impacter négativement l'efficacité des fertilisants.

Eléments nutritifs et équilibres chimiques des sols

Les teneurs en phosphore assimilable des traitements T2 et T3 présentent des déficits car les doses apportées ne seraient pas suffisantes pour couvrir les besoins des cacaoyers durant la période de production. Cet élément qui, après l'azote, présente une carence dans les Ferralsols (Kouassi et al., 2021), a des teneurs supérieures à 100 ppm dans les traitements T1 et T4, cette valeur constituant le seuil minimal pour une bonne nutrition végétale (Assa, 2005). L'équilibre entre Mg et K est optimum à élevé. Le rapport (S + 6,15)/N indique que l'azote n'est probablement pas indispensable parce que soit le sol est pauvre en cations basiques échangeables, soit l'azote est en quantité suffisante. Ainsi, dans le premier cas, les cacaoyers répondront à une augmentation des teneurs en cations basiques échangeables et, dans le second, un apport supplémentaire d'azote peut être toxique pour les cacaoyers. Les teneurs en magnésium et en potassium ont été inférieures au seuil établi par Snoeck et al. (2006) tandis que celle en calcium a été supérieure. Ce déficit en ces cations serait dû à la nature des colloïdes des sols qui auraient tendance à être rapidement saturées, entraînant ainsi leur lixiviation. C'est pourquoi, il est préférable d'utiliser des fertilisants organiques pour fertiliser les sols, permettant, ainsi, de renforcer leur pouvoir d'adsorption à l'effet d'améliorer leur capacité à fournir les nutriments aux plantes cultivées (Anguessin et al., 2021 ; Samoura et al., 2022)

Effets des fertilisants sur le rendement du cacaoyer

Les rendements enregistrés sur six mois de production ont été supérieurs à celui qui a été obtenu par Assiri (2010) sur sol sans apport d'engrais minéraux qui était de 400 kg ha⁻¹. L'effet positif de ces engrais peut être dû à une amélioration des caractéristiques chimiques des sols qui présentaient des déséquilibres ainsi que des déficiences en phosphore et en potassium, car ces deux éléments, majeurs dans la nutrition minérale des cacaoyers, contribuent à la prolifération des fleurs et donc à l'augmentation du nombre de fruits (Assiri, 2010). Ainsi, le rendement le plus élevé a été obtenu dans le traitement T2, avec un gain de 36,87% par rapport au traitement de référence (T1).

Conclusion

L'étude consistait à évaluer les effets du phosphore et du potassium sur la fertilité chimique du sol et le rendement en fèves sèches du cacaoyer. La teneur en matière organique, le pH, la CEC, la somme des cations basiques échangeables et la teneur en phosphore assimilable des sols ont été conformes aux normes requises pour la cacaoculture, hormis le taux de saturation en cations basiques. Les équilibres chimiques ont presque tous atteint les normes pour la cacaoculture. Concernant le rendement du cacaoyer, la formule d'engrais minéral (PK) 0-15-15 s'est mieux exprimée, donnant le gain de rendement le plus important (36,87%) par rapport à l'engrais minéral (PK) de référence de formule 0-23-19, permettant ainsi de le proposer aux cacaoculteurs.

CONFLITS D'INTERETS

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

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

AJAK et YFK ont rédigé l'article. EGMA, NNK et KC ont conduit l'essai. LDMPI a collecté les données. KHK a fait les analyses statistiques. LAK et KEK ont supervisé les travaux.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) et l'Office Chérifien du Phosphate (OCP) pour leurs soutiens matériel et financier, à travers un projet, qui a permis de réaliser cette étude.

REFERENCES

- Appiah K, Ofori-Frimpong A, Afrifa A, Abekoe K, Snoeck D. 2006. Improvement of soil fertility management in cocoa plantations in Ghana, FSP Regional Cacao scientific and technical final report. CRIG (Cocoa Research Institute of Ghana), Ghana, p. 22.
- Assa A. 2005. *Précis de Pédologie*. EDUCI, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 92.
- Assiri A. 2010. Etude de la régénération cacaoyère en Côte d'Ivoire : Amélioration de la production des vergers par la réhabilitation et l'identification de techniques adaptées de replantation. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 158.
- Anguessin B, Mapongmetsem MP, Ibrahima A, Fawa G. 2021. Effet de la fertilisation organique à base de litière foliaire de *Jatropha curcas* L. et *Jatropha gossypifolia* L. sur la culture de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) à Guider (Nord/Cameroun). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **15**(2): 524-535. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i2.12>
- Bwandamuka KMF, Mukalay BJ, Ndandula KF, Masangu KF, Kasongo MM, Makanda MG, Fyama MNJ, Mukonzo LKE. 2021. Évaluation du risque d'érosion sur quelques sols de la plaine de Lubumbashi, R.D. Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **15**(5): 2095-2117. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i5.32>
- Dicko G, Bengaly A, Ballo S. 2022. Effets des pratiques agricoles sur l'érosion hydrique en zone soudanienne du Mali (station de l'IPR/IFRA de Katibougou). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **16**(1): 345-352. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i1.29>
- Hornus P, Snoeck D, 2010. Le diagnostic sol et la fertilisation du cacaoyer. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), p. 9.
- ICCO, 2008. Rapport annuel 2007/2008. ICCO. Londres, WC1A, Royaume Uni, p. 40.
- ICCO, 2016. ICCO quarterly bulletin of cocoa statistics, Cocoa year 2015/16, 42(3), p. 1.
- ICCO, 2020. ICCO quarterly bulletin of cocoa statistics, Cocoa year 2019/2020, 46(4), p. 1.
- Iren OB, Udoh DJ, Ediene VF, Aki EE. 2021. Assessment of soil properties and the development of lime requirement equations for some soils in South-Eastern Nigeria, *Int. J. Soil Sci.*, **16**(1): 1-12. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijss.2021.1.12>
- Jagoret P. 2011. Analyse et évaluation des systèmes agroforestiers complexes sur le long terme : Application aux systèmes de culture à base de cacaoyer au Centre Cameroun, p. 220.
- Jagoret P, Deheuvels O, Bastide P. 2014. S'inspirer de l'agroforesterie. Production durable de cacao. Centre de coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). Perspective intensification écologique, 27, p. 4.
- Kassin E, Snoeck D, N'Guessan JC, Yao-Kouamé A, Camara M. 2016. Projet de cartographie des sols. Rapport final CNRA, CIRAD, p. 17.
- Kotaix AJA, Kassin KE, Kouadio KH, Angui KTP, Kouamé NN, Gbeuli TA, Assi ME, Coulibaly K, Koko LA, Bacayoko S. 2021. Les engrais minéraux issus du diagnostic sol améliorent la fertilité chimique et la production cacaoyère à l'Est de la Côte d'Ivoire. *J. anim. Plant Sci.* **47**(1): 8387-8399. DOI : <https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v47-1.4>
- Kouamé B, Koné D, Yoro GR. 2007. La pluviométrie en 2005 et 2006 dans la moitié Sud de la Côte d'Ivoire. Bulletin Le CNRA en 2006, document technique, 12-13.
- Kouassi YF, Abobi AHD, Assié KH, Koné WA, Angui KTP. 2021. Influence of organic and organo-mineral fertilizers on growth and fruit yield of eggplant on

- acidic soil. *Journal of Agricultural Science*, **13**(12): 61-70. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v13n12p61>
- Kouassi YF, Assié KH, Ama TJ, Angui KTP. 2021. Hydrodynamic assessment of soils under continuous cultivation in the savannah zone, North of Côte d'Ivoire. *Int. J. Soil Sci.*, **16**(1): 13-19. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijss.2021.13.19>
- Koudjega T, Tossah BK. 2009. Improvement of soils fertility management in cocoa plantations in Togo. Proceeding of the 7th international symposium on plant-soil interactions at low pH. 17-21 may, Guangzhou, China, 184-185.
- Kouadjo JM, Kého Y, Mosso RA, Toutou KG. 2002. Production et offre du cacao et du café en Côte d'Ivoire. Rapport d'enquêtes, ENSEA, Abidjan, p. 100.
- Munkholm LJ, Schjonning P, Rasmussen KJ, Tanderup K. 2003. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research*, **71**(2): 163-173. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00062-X)
- Samoura B, Balde MM, Kourouma V, Barry I, Sangaré L, Camara MM, Diallo BS. 2022. Effets du compost enrichi de l'urine humaine sur le rendement de la pomme de terre (*MANDOLA*) dans la Commune Urbaine de Faranah/République de Guinée. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **16**(2): 733-743. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i2.18>
- Snoeck D, Abekoe MK, Afrifa AA, Appiah MR. 2006. The soil diagnostic method to compute fertilizer requirements in cocoa plantations. Proc. Int. Conf. on Soil Science, Accra, Ghana, July 16-21, p. 10.
- Snoeck D, Koko K, Joffre J, Bastide P, Jagoret P. 2015. *Cacao nutrition and fertilization: Relevant agronomic basic a fertilizer issue*. Sustainable Agriculture Reviews, 19, p. 40.
- Tankou CM, Beyegue HD, Kouam EB, Essam JVLM, Ngouenet A. 2020. Responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties to green manure. *Int. J. Agric. Res.*, **15**(1): 41-47. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijar.2020.41.47>
- Tossah B, Koudjega T, Snoeck D. 2006. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols dans les plantations de cacaoyers au Togo. Rapport final scientifique et technique du FSP Régional Cacao, ITRA/CRAF, Togo, p. 43.
- Traoré M, Gadiaga DA, Garane A, Somé K, Hien E. 2022. Effet de différents types de fertilisants sur la dynamique de la macrofaune du sol et les rendements en culture de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) au Centre du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **16**(1): 134-144. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i1.12>
- Vos JGM, Ritchie BJ, Flood J. 2003. A la découverte du cacao. Un guide pour la formation des facilitateurs. CABI Biosciences, a division of CAB International, 11-58.
- Wessel M, Quist-Wessel FF. 2015. Cocoa production in West Africa, a review and analysis of recent developments. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, **74-75**(1): 1-7. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2015.09.001>
- Yao KB, Kouakou KJ, Adjoumani K, Kossonou KL, Kouakou TH. 2021. Effect of fertilizers type and watering methods on the agronomic performance of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown on substrate in southern Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **15**(4): 1282-1296. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i4.1>