



# Effets d'un amendement phosphaté combiné à l'engrais minéral NPK sur les paramètres chimiques du sol et de rendement du cacaoyer au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Kotaix Acka Jacques Alain<sup>1</sup>, Assi Marise Evelyne Gévère<sup>1</sup>, Kouamé N'dri Norbert<sup>1</sup>, Coulibaly Klotionoma<sup>1</sup>, N'guessan Walet Pierre<sup>1</sup>, Kouadio Koffi Hypolith<sup>2</sup>, Koffi Kouakou Stanislas<sup>2</sup>, Gogbe Diby Balet Françoise<sup>1</sup>, N'guessan Amoin Yvette<sup>3</sup>, Kassin Koffi Emmanuel<sup>4</sup>, Kone Brahima<sup>3</sup>, Koko Louis Anselme<sup>5</sup>, N'douba Mandela Elogne<sup>5</sup>, Tahï Gnion Mathias<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire, Département Agronomie Physiologie, BP 808 Divo, [kotaixalin9@gmail.com](mailto:kotaixalin9@gmail.com), [jackalin9@yahoo.fr](mailto:jackalin9@yahoo.fr), [ndri\\_norbert@yahoo.fr](mailto:ndri_norbert@yahoo.fr), [evelyne\\_assi@yahoo.fr](mailto:evelyne_assi@yahoo.fr), [coolklotiolo@yahoo.fr](mailto:coolklotiolo@yahoo.fr), [walet\\_pierre@yahoo.fr](mailto:walet_pierre@yahoo.fr), [ndri\\_norbert@yahoo.fr](mailto:ndri_norbert@yahoo.fr), [francoisegogbe2@gmail.com](mailto:francoisegogbe2@gmail.com), [tahi\\_mathias@yahoo.fr](mailto:tahi_mathias@yahoo.fr)

<sup>2</sup>Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, [k.koffihypolith@gmail.com](mailto:k.koffihypolith@gmail.com), [koffistanislas@yahoo.com](mailto:koffistanislas@yahoo.com).

<sup>3</sup>Université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, 01 BP V 34 Cocody Abidjan Côte d'Ivoire

[kbrabima@hotmail.com](mailto:kbrabima@hotmail.com), [nguessanvette@gmail.com](mailto:nguessanvette@gmail.com)

<sup>4</sup>Mondelez, Abidjan Côte d'Ivoire 01 BP 5754 Abidjan 01, [emmanuel.kassin@mdlz.com](mailto:emmanuel.kassin@mdlz.com),

<sup>5</sup>Office Chérifien de Phosphate, 25 BP 1908 Abidjan 25, [l.koko@ocpafrika.com](mailto:l.koko@ocpafrika.com), [me.ndouba@ocpafrika.com](mailto:me.ndouba@ocpafrika.com)

**Auteur correspondant**, KOTAIX Acka Jacques Alain, Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire, Département Agronomie Physiologie, BP 808 Divo, [kotaixalin9@gmail.com](mailto:kotaixalin9@gmail.com); [jackalin9@yahoo.fr](mailto:jackalin9@yahoo.fr)

**Mots clés** : Amendement minéral, Phosphate naturel, paramètre chimique, rendement du cacaoyer, Côte d'Ivoire

**Keywords**: Mineral amendment, Natural phosphate, Chemical parameter, Cocoa yield, Côte d'Ivoire

Submitted 21/02/2024, Published online on 31/03/2024 in the [Journal of Animal and Plant Sciences \(J. Anim. Plant Sci.\) ISSN 2071 – 7024](https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v59-3.3)

## 1 RÉSUMÉ

Une étude a été réalisée sur un amendement minéral au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire afin, d'assurer la durabilité de la production cacaoyère. Mais de façon spécifique, il a s'agit d'évaluer les effets du phosphate naturel (PR) et de l'engrais minéral NPK sur les paramètres chimiques du sol et de rendement du cacaoyer à Soubré. Ainsi, le dispositif expérimental a été en bloc de Fisher, avec 4 répétitions pour 5 traitements. Les résultats ont montré que les traitements ayant reçu le phosphate naturel ont obtenu dans l'ensemble, une bonne teneur en phosphore assimilable ( $\geq 11,5 \text{ cmolkg}^{-1}$ ). Concernant les équilibres ioniques, les traitements ont eu dans l'ensemble, un bon ratio Ca/Mg (1,5-5) et Mg/K ( $\geq 3$ ), traduisant un sol favorable à la cacaoculture. Par contre, seuls les traitements T1 (100%PR + 100 % NPK 0-23-19), T3 (80%PR + 100 % NPK 0-23-19) et T1, T2 (90%PR + 100 % NPK 0-23-19), T3 ont favorisé respectivement un ratio (Ca/SBE)  $\times 100 \geq 68\%$  et un ratio (Ca+Mg)/K compris entre 12 et 40. Tous ces traitements justifient, un bon équilibre ionique entre le calcium et la somme des bases échangeables et entre le potassium et la somme du calcium et du magnésium. En revanche, les traitements T1, T3 et T5 (100 % NPK 0-23-19) ont eu des carences en potassium avec (K/S)  $\times 100 < 8 \%$ . Quant au rendement, le traitement T1 (100%PR+100 % NPK 0-23-19) avec  $2420,94 \text{ Kgha}^{-1}$  a été le plus expressif.



Effects of a phosphate amendment combined with NPK mineral fertilizer on soil chemical parameters and cocoa yield in southwest Côte d'Ivoire.

#### ABSTRACT

A study was carried out on a mineral amendment in south-west Côte d'Ivoire to ensure the sustainability of cocoa production. Specifically, the aim was to evaluate the effects of rock phosphate (RP) and NPK mineral fertilizer on soil chemistry and cocoa yield parameters in Soubré. The experimental set-up was a Fisher block design, with 4 replications for 5 treatments. The results showed that the treatments receiving rock phosphate had a good overall assimilable phosphorus content ( $\geq 11.5 \text{ cmolkg}^{-1}$ ). With regard to ionic balances, the treatments as a whole had a good Ca/Mg (1.5-5) and Mg/K ( $\geq 3$ ) ratio, reflecting a soil favorable to cocoa production. On the other hand, only treatments T1 (100%RP + 100% NPK 0-23-19), T3 (80%RP + 100% NPK 0-23-19) and T1, T2 (90%RP + 100% NPK 0-23-19), T3 respectively favored a (Ca/SBE) x100 ratio  $\geq 68\%$  and a (Ca+Mg)/K ratio between 12 and 40. All these treatments justify a good ionic balance between calcium and the sum of exchangeable bases, and between potassium and the sum of calcium and magnesium. On the other hand, treatments T1, T3 and T5 (100% NPK 0-23-19) had potassium deficiencies with (K/S) x100  $< 8\%$ . As for yield, treatment T1 (100%RP+100% NPK 0-23-19) with 2420.94 kg $\text{ha}^{-1}$  was the most expressive.

---



## 2 INTRODUCTION

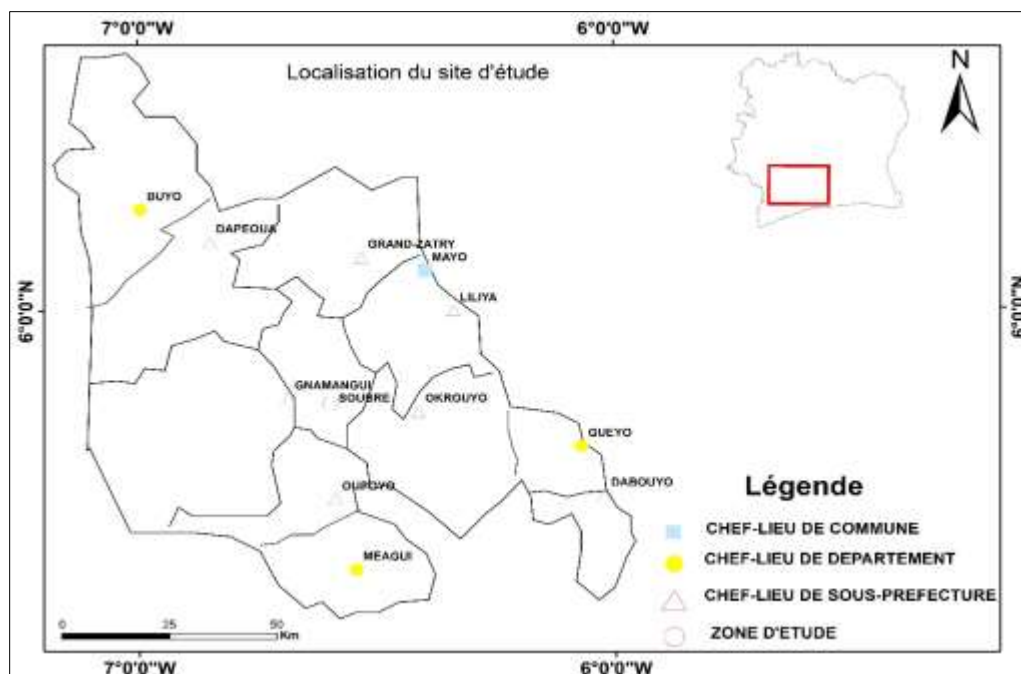
Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est une plante pérenne cultivée pour ses fèves qui étaient autrefois utilisées comme monnaie d'échange par les peuples Mayas et Aztèques mais également pour des préparations alimentaires mêlées à du maïs et du piment. Cette préparation après diverses modifications dans sa composition devint l'actuel chocolat, denrée prisée dans le monde. Selon les chiffres de l'Organisation Internationale du Cacao, l'Afrique produit plus de 76,3% du cacao mondial (ICCO, 2019). La Côte d'Ivoire, en est le premier producteur mondial depuis 1970 et exporte 2,1 millions de tonnes de cacao marchand, selon la campagne 2019-2020 (ICCO, 2020). Les revenus de la vente du cacao génèrent 15 % du P.I.B et représentent plus de 50 % des recettes d'exportations (BAD, 2020). De plus, la culture du cacao couvre plus de 2 millions d'hectares de terre et emploie 60 % de la population active (ICCO, 2012). Malgré ces importants acquis socio-économiques, la production cacaoyère en Côte d'Ivoire semble avoir atteint ses limites, avec une baisse de rendement (Assiri, 2010 ; Kouadjo *et al.*, 2002).

## 3 MATERIEL ET METHODES

**3.1 Cadre de l'étude :** L'étude a été réalisée au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire précisément à Soubré. La ville de Soubré, situé à 400 km d'Abidjan jouit d'un climat Subéquatorial caractérisé par d'abondantes pluies réparties en deux périodes, deux saisons pluvieuses (Avril-Juin, Septembre-Novembre) et deux saisons sèches (Juillet-Aout, Décembre-Mars). On note une température moyenne mensuelle, allant de 25,8 °C à 26,3 °C, une pluviométrie moyenne relativement abondante, allant de 1 203,6 mm à 1 392 mm de pluie par an (Evi *et al.*, 2007). La végétation quant à elle était marquée par la forêt

Cette baisse de production cacaoyère est en partie liée à la disparition de la forêt (Gockowski et Sonwa., 2010), avec la destruction du couvert forestier passant de 16 millions en 1960 à 3,4 millions d'hectares cette dernière décennie, au vieillissement des vergers, aux maladies comme la pourriture brune des cabosses et le swollen shoot (N'Guessan et Coulibaly, 2000) et à la baisse rapide de la fertilité des sols (koko *et al.*, 2009), due à leur surexploitation. Face à cette situation, l'industrie cacaoyère préconise l'application d'engrais chimiques. Or, les critères et techniques d'appréciation de la fertilité des sols cacaocultivés varient selon leurs utilisateurs. En effet, certains se basent généralement sur la diminution des teneurs en matière organique tandis que d'autres se fondent sur la baisse des rendements en cacao marchand (Vos *et al.*, 2003). En vue de rechercher ainsi d'autres solutions d'amélioration de la production cacaoyère, cette étude qui vise à utiliser le phosphate naturel comme amendement minéral dans des sols acides et pauvres en éléments nutritifs a été initiée.

dense, tropicale et humide qui aujourd'hui subit une forte régression sous une pression anthropique croissante (Brou, 2005), par des cultures industrielles et pérenne. Les formations pédologiques sont dominées par les sols ferrallitiques remaniés ou typiques avec induration provenant des divers granitoïdes et des migmatites caractérisées par l'existence d'un horizon gravillonnaire épais de 60 à 100 cm. Les sols hydromorphes à gley et pseudogley issus d'alluvions. Et les sols bruns eutrophes (issus des roches basiques et de schistes) tropicaux.



**Figure 1 :** Localisation géographique de la zone d'étude

**3.2 Matériel végétal :** Le matériel d'étude est le cacaoyer. La parcelle choisie pour l'essai est mature (11 ans).

**3.3 Matériel fertilisant :** Le matériel fertilisant est composé d'engrais minéral NPK 0-23-19 (engrais de référence) et d'amendement minéral phosphaté, notamment le phosphate naturel réactif (PR). Ces engrais ont été fournis par l'Office Chérifien des Phosphates (OCP).

**3.4 Dispositif expérimental :** L'essai a été conduit selon un dispositif expérimental en bloc de Fisher comportant 5 traitements répétés 4 fois. Chaque traitement (15mx15m), est constitué de 42 plants espacés de 3m sur 2,5m (densité de 1333 plants/ha). Les parcelles

élémentaires (225 m<sup>2</sup>) sont séparées les unes des autres par deux (2) lignes de cacaoyers. Les blocs ont été disposés parallèlement et espacés de 6 m les uns des autres. L'essai comporte 840 pieds et est conduit sur 0,741 ha (78mx95m). Les différentes doses d'engrais requises et codifiées pour l'usage sur le terrain correspondent aux traitements T1 à T5. Ainsi, à chaque période d'épandage d'engrais c'est-à-dire chaque six mois, c'est la demi-dose pour une année qui est apportée. L'épandage s'est fait alors en deux étapes (mars-avril et août-septembre), dans un rayon de 80 à 100 cm autour du pied de cacaoyer (Tableau 1). Toutefois, le phosphate naturel a été apporté en seule année.

**Tableau 1 :** Types et doses d'engrais appliqués par pied de cacaoyer

Traitement	Type d'engrais	% d'apport	Dose(g)/pied/an	Dose (g)/pied/apport
T1	PR NPK 0-23-19	100 100	493 400	246,5 200
T2	PR NPK 0-23-19	90 100	444 400	222 200
T3	PR NPK 0-23-19	80 100	394 400	197 200
T4	PR NPK 0-23-19	60 100	296 400	148 200
T5	PR	0 100	0 400	0 200



	NPK 0-23-19		
--	-------------	--	--

**3.5 Échantillonnage de sol :** Les prélèvements de sol ont été faits avant les apports d'engrais et à la fin de chaque campagne de production (septembre). Les échantillons de sol ont été prélevés dans les couches 0-30 cm du sol à partir de la surface (Snoeck, 2006), et à 1 m du cacaoyer, avec un tube cylindrique de sondage (Yoro, 2004). Les échantillons composites des 4 blocs ont été constitués par traitement sur chaque parcelle puis conservés dans des sachets plastiques. 5 échantillons composites ont été obtenus par bloc soit 15 échantillons pour les trois sites. Ces échantillons de sol ont été analysés au laboratoire de l'Office Chérifiens des Phosphates (OCP) à Bingerville.

**3.6 Analyse des échantillons de sol :** Les paramètres analysés sont le carbone organique (C) du sol déterminé par titrimétrie (méthode Walkley-Black) après oxydation à l'aide d'un mélange d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et de bichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). L'azote total a été déterminé par la méthode Kjeldahl basée sur l'oxydation par voie humide. Le phosphore total a été déterminé par colorimétrie après réaction à l'acide phosphorique en présence du molybdate d'ammonium et d'acide ascorbique. Le phosphore assimilable (méthode Olsen-Dabin) a été extrait à l'aide du bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>) au pH 8,5. Les bases échangeables (K, Ca, Na et Mg) ont été extraites

à l'aide de l'acétate d'ammonium. Le potassium a été déterminé à l'aide de photomètre à flamme, alors que le Ca et le Mg ont été dosés par le spectrophotomètre à flamme d'absorption atomique. Le pH (eau) a été déterminé à l'aide du pH-mètre après addition de 50 ml d'eau ionisée à 20 g de sol suivi d'agitation et de décantation.

**3.7 Paramètres agronomiques mesurés :** Les paramètres agronomiques mesurés lors de cette étude sont : le nombre de chérelles wiltées, le nombre de cabosses saines, le nombre de cabosses pourries, le poids moyen des fèves fraîches de la cabosse et le rendement. Ce rendement a été calculé de la manière suivante :

$$Rdt_{moyen\text{réel}} = (PMF * 0.35 * nCabsain * 1333 * 0,001)$$

$$Rdt_{moyen\text{potentiel}} = (PMF * 0.35 * nCabtotal * 1333 * 0,001)$$

Rdt = Rendement ; PMF = Poids moyen des fèves fraîches ;

nCabsain = nombre de cabosse saine; nCabtotal = nombre de cabosse total

0.35 = coefficient de transformation d'une fève fraîche en fève sèche ; 1333 = nombre de pieds de cacao à l'hectare ; 0,001 = conversion d'un gramme en kilogramme.

**3.8 Analyse statistique :** Une analyse de variance à un facteur (Anova) a été faite à l'aide du logiciel SAS 9.4. Une comparaison des moyennes par la méthode de Newman-Keuls a été appliquée au seuil de probabilité de 5 %.

## 4 RESULTATS

### 4.1 Effets du phosphate naturel et de l'engrais minéral (NPK) sur les paramètres chimiques du sol au Sud-Ouest de la côte d'Ivoire

**4.1.1 Effets des engrais sur le complexe absorbant et l'acidité du sol à Soubré :** L'analyse de variance a fait ressortir une différence significative au seuil de 5 % entre les traitements pour les paramètres observés, hormis le Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et le pHeau. Concernant le Phosphore assimilable le traitement T4 a obtenu

la plus forte valeur par rapport aux autres traitements. Quant au calcium et au magnésium, les traitements T1 et T3 ont été les plus expressifs par rapport aux traitements. Pour la capacité d'échange cationique (CEC), les traitements T1, T4 et T5 ont eu les valeurs les plus élevées par rapport à T2 et T3. Enfin, les teneurs moyennes de K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup> ont été respectivement de 0,20 et 0,04 cmolkg<sup>-1</sup> et celle du pHeau a été de 5,99 (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Effets des engrais minéraux sur le complexe absorbant et l'acidité des sols

Traitement	cmolkg <sup>-1</sup>
------------	----------------------





	P ass	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	CEC	pH eau
T <sub>1</sub>	13,10 b	0,21 a	3,40 a	1,17 a	0,07 a	7,91 a	5,93 a
T <sub>2</sub>	12,50 b	0,19 a	0,60 c	0,50 b	0,04 a	5,70 c	5,60 a
T <sub>3</sub>	10,60 b	0,22 a	3,58a	1,14 a	0,01 a	5,10 b	6,06 a
T <sub>4</sub>	16,43 a	0,24 a	1,81b	0,57 c	0,09 a	7,70 a	5,66 a
T <sub>5</sub>	12,10 b	0,14 a	1,44 c	0,88 b	0,01a	7,59 a	5,20 a
Moyenne	12,95	0,20	2,17	0,85	0,04a	6,80	5,69
C.V (p.c)	7,52	18,71	14,72	13,05	6,62	21,89	9,93
Pr > F	0,0170	0,4182	0,0029	0,0003	0,178	0,0121	0,5016

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 p.c.

**4.1.2. Effets des engrais sur les équilibres ioniques à Soubré :** L'analyse de la variance a montré des différences significatives au seuil de 5 %, entre les traitements pour les paramètres étudiés. Ainsi, tous les traitements ont eu au moins des ratios de Ca/Mg compris entre 1 et 1,5. Quant à Mg/K, en dehors des traitements T2 et T4 les autres traitements ont eu des valeurs

de Mg/K ≥ 3. Concernant (Ca+Mg)/K, seuls les traitements T1 T3 et T5 ont atteint les valeurs seuils comprises entre 12 et 40. Pour Ca/SBE x100, ce sont les traitements T1 et T3 qui ont atteint la valeur seuil (≥ 68%). Enfin, à propos de K/SBE x100, seuls les traitements T2 et T4 ont eu des valeurs ayant atteints l'optimum (8 %) ; (Tableau 3).

**Tableau 3 :** Effets des engrais minéraux sur les équilibres ioniques

Traitement	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg) /K	(Ca/SBE) 100	(K/SBE) 100
T <sub>1</sub>	2,91a	5,57a	21,76a	76,40a	4,72c
T <sub>2</sub>	1,20c	2,63b	5,79d	45,11c	14,28a
T <sub>3</sub>	3,14a	5,18a	21,45a	72,32a	4,44c
T <sub>4</sub>	3,17a	2,37b	9,92c	66,78a	8,86b
T <sub>5</sub>	1,64b	6,29a	16,57b	58,29b	5,66c
Moyenne	2,41	4,41	15,10	63,78	7,59
C.V(%)	5,81	9,22	10,72	12,09	18,34
Pr > F	0,0142	0,0061	0,0473	0,0275	0,0051

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 p.c.

**4.2. Effets du phosphate naturel et de l'engrais minéral (NPK) sur le rendement et ses composantes au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire :** L'analyse de variance a montré des différences significatives entre les traitements au niveau des cabosses saines, le poids moyen des fèves fraîches, le rendement réel et potentiel. Ainsi, concernant les cabosses saines, les plus fortes valeurs ont été relevées avec les traitements T1 (30,16), T3 (28,24) et T4 (29,79). Par contre, les traitements T2 (26,72) et T5

(26,73) en ont eu les plus faibles valeurs. S'agissant du poids moyen des fèves fraîches, le traitement T1 avec 164,09 g a obtenu le meilleur poids, tandis que T2 (155,13 g) a eu le plus faible poids. À propos des rendements, le traitement T1 a eu le rendement réel et potentiel le plus élevé, avec respectivement 2310,60 et 2420 kg ha<sup>-1</sup>. Tandis que, le traitement T2 a eu le plus faible rendement réel (1947,85 kg ha<sup>-1</sup>) et potentiel (2089,55 kg ha<sup>-1</sup>) ; (Tableau 4).

**Tableau 4 :** Effets des engrais sur le nombre de cabosses saines, cabosses totales, poids moyen des fèves fraîches, rendement réel et potentiel à Soubré

Traitement	Chérelles Wilt	Cabosses saines	Cabosses Totales	Poids moyen fèves fraîches	Rendement Réel	Rendement Potentiel
------------	----------------	-----------------	------------------	----------------------------	----------------	---------------------



T1	45,31a	30,16a	31,29a	164,09a	2310,60a	2420,94a
T2	45,84a	26,72b	29,09a	155,13c	1947,85c	2089,55c
T3	48,67a	28,24a	30,54a	160,50b	2087,78b	2239,20b
T4	50,90a	29,79a	32,76a	142,54d	2092,94b	2240,04b
T5	44,54a	26,73b	27,87a	158,24b	2132,11b	2185,98b
Moyenne	47,05	28,33	30,31	156,10	2114,26	2235,14
CV (p.c.)	34,46	24,11	25,31	8,51	28,52	31,18
Pr > F	0.061	0.041	0.076	<.0001	<.0001	<.0001

Les moyennes avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

## 5 DISCUSSION

### 5.1 Effets du phosphate naturel et de l'engrais minéral (PK) sur la fertilité du sol

**5.1.1 Effets des engrais sur le complexe absorbant :** Les résultats des effets des engrais sur le complexe absorbant ont montré que la teneur du sol en phosphore assimilable, notamment des traitements T1, T2, T4 et T5 est apparue supérieure à la norme établie en cacaoculture (11,5 cmol.kg<sup>-1</sup>) en 1992 par Jadin. La teneur élevée en phosphore assimilable dans la plupart des traitements est due à l'apport de phosphore naturel qui libère lentement l'ion orthophosphate (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Le pH est un paramètre important du sol car il donne des informations sur les éléments nutritifs et les risque de toxicité. L'activité biologique du sol ainsi que la disponibilité de la majeure partie des éléments nutritifs dépendent du pH (Bertschinger et al., 2003). Le pH de la parcelle expérimentale (5,66 à 6,30) respecte le seuil requis pour un bon développement du cacaoyer. Ceci est soutenu par Appiah et al., (2006) ; Tossah et al., (2006) qui ont conclu que le pH légèrement acide des sols ne constitue pas une contrainte pour le cacaoyer. Car, même si le pH optimum est 7 pour les meilleurs sols sous cacaoyers, cette plante peut se développer sur des sols à pH acide (pH 4,5-6) ou légèrement basique (pH 6,7-7,5). Cependant, la hausse du pH vers la neutralité serait due à une saturation des sols en bases. Par contre, au niveau des teneurs moyennes en K (0,20 cmol.kg<sup>-1</sup>), Ca (2,17 cmol.kg<sup>-1</sup>) et Mg (0,85 cmol.kg<sup>-1</sup>) tous les traitements ont présenté des déficits. En effet, selon Snoeck et al. (2016), la teneur moyenne en potassium pour une bonne nutrition minérale du cacaoyer se situe autour de 0,7 Cmol.kg<sup>-1</sup>. Les faibles teneurs en potassium

obtenues sur les parcelles pourraient s'expliquer par le fait qu'il a été échangé ou exporté ou entraîné par lessivage dans les horizons inférieurs. Il en est de même pour le magnésium et calcium dont les valeurs seuils comprises respectivement entre 5 cmol.kg<sup>-1</sup> et 5-8 cmol.kg<sup>-1</sup> ont été supérieures à celles obtenues dans les sols de la parcelle expérimentale (Aikpokpodion, 2010; Koko, 2014; Akanbi et al., 2014). Ces déficits en certains cations échangeables pourraient être dus à la nature des argiles qui auraient tendance à se saturer rapidement, ce qui faciliterait leur lixiviation. Quant à la CEC, tous les traitements ont eu des valeurs inférieures à 12 cmol (+) kg<sup>-1</sup> (seuil minimal), car la CEC des sols sous cacaoyers doit être comprise entre 12 et 30 cmol.kg<sup>-1</sup> (Snoeck et al., 2015). Ces faibles valeurs de la CEC pourraient être dues à l'acidité du sol, à la texture sablo-argileuse de la parcelle et la lixiviation des éléments nutritifs.

**5.1.2 Effets des engrais sur les équilibres ioniques :** Les résultats des effets des engrais sur les équilibres ioniques, ont montré que les valeurs des ratios Mg/K et Ca/Mg obtenues dans l'ensemble traduisent des sols favorables à la cacaoculture. En effet, ces valeurs sont comprises dans les intervalles proposés par certains chercheurs (Boyer, 1982 ; Jadin & Snoeck, 1985), notamment Ca/Mg compris entre 1,5 à 5 et Mg/K ≥ 3. Par contre, en dehors des traitements T2 et T4 qui ont obtenu un ratio K/SBE ≥ 8, traduisant un bon équilibre ionique entre le potassium et la somme des bases échangeables (Wright, 1999 ; Mossu, 1992), les autres parcelles ont présenté des déséquilibres. Dans ce cas, la correction de ce déséquilibre nécessite une augmentation du potassium pour



une bonne nutrition minérale. Les résultats ont également montré qu' hormis les traitements T1 et T3 qui ont favorisé un ratio de  $(Ca/S) \times 100 \geq 68\%$ , justifiant d'un bon équilibre entre le calcium et la somme des bases échangeables, les autres traitements ont eu des déséquilibres avec des ratios inférieurs à 68%. Quant au ratio  $(Ca+Mg)/K$ , seuls les traitements T1, T3 et T5 ont atteints des valeurs comprises entre 12 et 40. Ces valeurs dénotent un bon équilibre ionique entre le potassium et la somme du calcium et du magnésium (Snoeck et al., 2006).

**5.1.3 Effets des engrais sur la production du cacaoyer :** Les résultats indiquent que les cacaoyers ayant reçu des apports d'engrais phosphaté ont dans l'ensemble de bon caractère de production. Cela se traduit entre autres, par le traitement T1 (100% PR + 100 % NPK 0-23-19) qui a été le plus expressif, avec un nombre moyen de cabosses saines, cabosses totales, poids des fèves fraîches et de rendements élevés. En effet, le phosphore et le potassium contenus dans les engrais, sont reconnus comme des éléments majeurs contribuant à la prolifération des fleurs, à l'amélioration de la quantité et de la qualité des fruits. L'utilisation régulière d'amendement minéral phosphaté est nécessaire

pour soutenir la croissance de la canopée et la production des fèves (Snoeck, 2014). L'effet positif des engrais sur la production peut s'expliquer par une amélioration du statut chimique des sols qui présentent des déséquilibres chimiques ainsi que des déficiences en potassium (Assiri, 2010), éléments minéraux essentiels pour la production du cacaoyer (Mossu, 1990). S'agissant du nombre élevé de chérelle wilt observé dans les cacaoyères, il convient de souligner que le taux élevé de chérelle wilt affecte fortement la production. En effet, le chérelle wilt intervient comme facteur de régulation pour des arbres très chargés en fruits, dépassant 100 fruits par arbre, ce qui correspond à environ 4 tonnes de cacao marchand à l'hectare (MCKelvie, 1956) ; d'autres études ont montré qu'une élévation de la température augmentait le nombre de chérelle wilt (Daymond & Hadley, 2008). Les travaux de Snoek (2010) en station de recherche, ont également montré l'importance du phosphore et du potassium pour améliorer les rendements des cacaoyers. Le phosphore est considéré comme le facteur limitant des végétaux dans les sols des régions tropicales (Vitousek et al., 2010).

## 6 CONCLUSION

Au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, précisément à Soubré, le phosphate naturel combiné à l'engrais de référence a montré qu'en termes de fertilité des sols, les traitements ayant reçu le phosphate naturel ont obtenu dans l'ensemble, un bon pH<sub>eau</sub> (5,66-6,30) et une bonne teneur en phosphore assimilable ( $\geq 11,5 \text{ cmol kg}^{-1}$ ). Quant à la capacité d'échange cationique (CEC), tous les traitements ont eu des valeurs inférieures à  $12 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ , représentant le seuil minimal pour avoir une bonne CEC. Concernant les équilibres ioniques, les traitements ont eu dans l'ensemble, un bon ratio  $Ca/Mg$  (1,5-5) et  $Mg/K$  ( $\geq 3$ ), traduisant un sol favorable à la cacaoculture. Par contre, seuls les traitements T1, T3 et T1, T2, T3 ont favorisé respectivement un ratio  $(Ca/SBE) \times 100 \geq 68\%$  et un ratio  $(Ca+Mg)/K$  compris

entre 12 et 40. Tous ces traitements justifient, un bon équilibre ionique entre le calcium et la somme des bases échangeables et entre le potassium et la somme du calcium et du magnésium. En revanche, les traitements T1, T3 et T5 ont eu des carences en potassium avec  $(K/S) \times 100 < 8 \%$ . Enfin, pour la production, le traitement T1 ( $2420,94 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a eu le meilleur rendement potentiel par rapport au témoin de référence T5 ( $2185,98 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Ces résultats ont montré dans l'ensemble que le phosphate naturel réactif (PR), associé à l'engrais de référence NPK 0-23-19, présente de bonnes aptitudes pour améliorer le rendement des cacaoyers à Soubré à travers le traitement T1 (493g de PR/cacaoyer/an+400g NPK 0-23-19/cacaoyer/an).





## 7 REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un Projet initié entre le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) et l'Office

Chérifien du Phosphate (OCP). Les auteurs remercient le CNRA, l'OCP pour leur soutien financier et matériel.

## 8 REFERENCES

- Aikpokpodion P E: 2010. Nutrient dynamics in cocoa soils, leaf and beans in Ondo State, Nigeria. *J. Agri. Sci.*, 1(1), 1-9.
- Akanbi O S O, Ojeniyi S O, Famaye A O, Ipinmoroti R, Oloyede A, Oyewumi I K, Ayegbonyin K, Adejobi K B, Idrisu M: 2014. Soil nutrients and cocoa seedling performance as influenced by plant residue ash and NPK fertilizer addition on a depleted soil in Ibadan, South Western, Nigeria. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil sci.* 4 (1): 1-4.
- Appiah K, Ofori-Frimpong A, Afrifa A, Abekoe K and 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, 22 p.
- Assiri A : 2010. Étude de la régénération cacaoyère en côte d'ivoire : impact des techniques de réhabilitation et de replantation sur le développement et la productivité des vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en relation avec l'état du sol. Thèse de doctorat, UFR STRM option Agro-pédologie, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 170p.
- BAD : 2020. Le rapport dénommé Diagnostic-pays sur le financement à long terme (LTF) pour la Côte d'Ivoire. 56 p
- Bertschinger L, Christian G, Ryser J, Häseli A, Neuweiler R, Pfammatter W, Schmid A, & Weibel F: 2003. Donnée de base pour la fumure en arboriculture fruitière, Fruit à pépins, fruits noyau, kiwis baies d'arbustes. Édition: Eidgenössische Forschungsanstalt, Postfach 185, CH-8820 Wädenswil, 48 p.
- Boyer J: 1982. Les sols ferrallitiques. Facteurs de fertilité et utilisation des sols. Doc. Tech., n° 52, Ors tom, 384 p.
- Brou Y T : 2005. Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Habilitation à diriger des recherches, Université des sciences et technologies de Lille, 226p.
- Daymond A J, Hadley P: 2008. Differential effects of temperature on fruit development and bean quality of contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology* 153:175-185
- Eva J B, Yavo W, Barro-Kiki PC, Menan E H I, Koné M : 2007. Helminthoses intestinales en milieu scolaire dans six villes du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, *Bull. Soc. Pathol. Exot.*, 100 (3) :176–177
- Gockowski J et Sonwa D J: 2010. Cocoa Intensification Scenarios and Their Predicted Impact on CO<sub>2</sub> Emissions, Biodiversity Conservation, and Rural Livelihoods in the Guinea Rain Forest of West Africa. *Environmental Management* 8 : 307-321.
- ICCO : 2012. International Cocoa Organisation. Table ronde sur une économie cacaoyère; Accra 3-6 octobre 2012. Le cacaoyer, édition Maisonneuve et Larose (Ed), 160p.
- ICCO : 2019. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics. Cocoa Year 2018/19 XLV, 6p.
- ICCO : 2020. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLVI, No.4, Cocoa year 2019/2020, 1p
- Jadin P et Snoeck J: 1985. La méthode du diagnostic sol pour calculer les besoins en engrais des cacaoyers. *Café Cacao Thé* 29 (4) : 255-272.



- Jadin P : 1992. L'agronomie du cacaoyer à L'IRCC. Montpellier, France, IRCC/CIRAD, Étude et travaux de l'IRCC, 44 p.
- Koko L: 2014. Teractiv cacao as a new fertilizer based reactive phosphate rock for cocoa productivity in Côte d'Ivoire: A participatory approach to update fertilization recommendation. *Procedia Engineering* 83: 348-353.
- Koko L K, Kassin K E, Yoro G, N'Goran K et Yao-Kouamé A: 2009. Corrélations entre le vieillissement précoce des cacaoyers et les caractéristiques morpho-pédologiques dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.*, 24: 1508-1519.
- Kouadjo J M, Kého Y, Mosso R A & Toutou K G : 2002. Production et offre du cacao et du café en Côte d'Ivoire. Rapport d'enquêtes, ENSEA Abidjan. 100 p.
- McKelvie AD: 1956. Cherelle Wilt of Cacao. I. Pod development and its relation to wilt. *Journal of Experimental Botany* 7 : 252-263.
- Mossu G : 1990. Le cacaoyer. Collection Le technicien d'agriculture tropicale. Éditions et Larose, Paris, France, 160 p.
- Mossu G: 1992. Cocoa, The MacMillan Press Ltd, 103 p.
- N'guessan K et Coulibaly N : 2000. Dynamique des populations de mirides et de quelques autres prédateurs du cacaoyer dans la région Ouest de la Côte d'Ivoire. In : Actes de la 13<sup>e</sup> conférence internationale sur la recherche cacaoyère. Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, p: 425-435.
- Snoeck, D: 2006. The soil diagnostic method for formulating fertilizer requirements on cocoa in Ghana. Actes de la 15<sup>ème</sup> conférence internationale sur la recherche cacaoyère, du 9 au 10/10/2006, *San José, Costa Rica* : pp. 387-394.
- Snoeck D, Abekoe MK, Afrifa AA, Appiah MRK : 2006. "The soil diagnostic method to compute fertilizer requirements in cocoa plantations", Proc, Int, conf, on soil science, Accra, Ghana, 16-21 july.
- Snoeck D : 2010. Importance d'une bonne gestion de la fertilité des sols pour une cacao-culture durable. Atelier sur la gestion des sols des vergers cacaoyers et l'agroforesterie appliquée à la cacao-culture en Afrique de l'Ouest et du Centre Organisé par la COPAL, à Kumassi (Ghana).8 p.
- Snoeck, D: 2014. Industrial crops and products. 59: 55-62.
- Snoeck D, Koko K, Joffre J, Bastide P and Jagoret P: 2015. Cacao nutrition and fertilization: relevant agronomic basics and fertilizer issues. *Sustainable Agriculture reviews*, vol. 19. 40 p.
- Snoeck D, Koko L, Joffre J, Bastide P and Jagoret P: 2016. Cacao Nutrition and Fertilization: Sustainable Agriculture Reviews, Vol. 19, Chapter 4. E. Lichtfouse (Ed.). Cham, Springer International Publishing: pp.155-202.
- Tossah B, Koudjega T et 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, 43 p.
- Vitousek PM, Porder S, Houlton BZ, Chadwick OA : 2010. Terrestrial phosphorus limitation : mechanisms, implications and nitrogen-phosphorus interactions. *Ecol Appl.* 20 (1) : 5-15.
- Vos J G M, Ritchie B J et Flood J : 2003. A la découverte du cacao. UK Centre Bakeham Lane, Egham, Surrey TW, 20 p.
- Yoro GR : 2004. Reconnaissance des sols favorables aux cacaoyers, Cours de formation des producteurs de cacao et des agents ANADER détachés auprès de STCP, Rapport technique CNRA, 8p.
- Wright H : 1999. Cocoa or Theobroma cacao. Its botany, cultivation, chemistry and diseases. Ed.Bio tech Books, Dehli-110035, 249 p.