

Les engrais minéraux issus du diagnostic sol améliorent la fertilité chimique et la production cacaoyère à l'Est de la Côte d'Ivoire

KOTAIX Acka Jacques Alain¹, KOUADIO Koffi Hypolith², ANGUI Kouassi Téhua Pascal³, KASSIN Koffi Emmanuel⁴, GBEULI Tousségoué Anicet², ASSI Maryse Evelyne¹, KOUAME N'Dri Norbert¹, COULIBALY Klotioma¹, KOKO Louis Anselme⁵ et BACAYOKO Sidiky²

¹Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire, Département Agronomie Physiologie, BP 808 Divo, jackalin9@yahoo.fr, ndri_norbert@yahoo.fr, evelyne_assi@yahoo.fr, coolklotiolo@yahoo.fr,

²Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, k.koffihypolith@gmail.com, anicetgbeuli@gmail.com, sidiky_bacayoko@yahoo.fr,

³UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, pascalangui@yahoo.fr

⁴Mondelez, Abidjan Côte d'Ivoire 01 BP 5754 Abidjan 01, emmanuel.kassin@mdlz.com,

⁵Office Chérifien de Phosphate, 25 BP 1908 Abidjan 25, L.koko@ocpafrika.com,

Auteur correspondant, KOTAIX Acka Jacques Alain, Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire, Département Agronomie Physiologie, BP 808 Divo, jackalin9@yahoo.fr

Mots clés : fertilisation raisonnée, fertilité sol, production cacaoyère, Est, Côte d'Ivoire

Keywords: Reasoned fertilisation, soil fertility, cocoa production, East, Côte d'Ivoire

Publication date 31/01/2021, <http://m.elewa.org/Journals/about-japs/>

1 RÉSUMÉ

Une étude sur la fertilisation minérale raisonnée, a été faite dans la région de l'Indénie-Djuablin à l'Est de la Côte d'Ivoire afin, d'assurer la durabilité de la production cacaoyère. Mais de façon spécifique, il s'agit d'évaluer les effets de 4 engrais minéraux sur la fertilité du sol et la production cacaoyère à Abengourou, Niablé et Agnibilékro. Ainsi, sur chaque site, le dispositif expérimental a été en bloc de Fisher, avec 4 répétitions pour 5 traitements. Les résultats ont montré qu'au niveau de la fertilité du sol, les traitements T₄ (NPK 0-21-19), T₂ (NPK 0-24-12) et T₁ (NPK 0-23-19) ont eu des ratios de (Ca/S) x100 ≥ 68 %, traduisant un bon équilibre entre Ca et la somme des bases échangeables (S). Par contre, tous les traitements ont eu d'une part, des déficiences en potassium avec (K/S) x100 < à 8 % et d'autre part, des valeurs de phosphore assimilable, de (Mg/S) x100, Mg/K et N/Ptotal et (Ca+Mg)/K supérieurs respectivement à 100 mgkg⁻¹; 24 %; 3; 2 et 11,5. Enfin, hormis T₄, les autres traitements ont eu un déséquilibre entre N et S, avec (S+6,15)/N < 8,9. Quant au rendement, les traitements T₄ et T₁ qui ne sont pas statistiquement différents, ont eu respectivement les valeurs les plus élevées avec 1286,7 et 1393,1 Kgha⁻¹, par rapport au témoin (T₀) qui a obtenu le plus faible taux (560,9 Kgha⁻¹). Ces résultats montrent la nécessité d'une fertilisation minérale raisonnée.

ABSTRACT

A study on the reasoned mineral fertilization was made in the region of Indénie-Djuablin in the east of Côte d'Ivoire to ensure the sustainability of cocoa production. Specifically, the effects of 4 mineral fertilizers on soil fertility and cocoa production in Abengourou, Niablé and Agnibilékro were evaluated. Thus, on each site, the experimental design was in Fisher block, with 4 replications for 5 treatments. The results showed that in terms of soil fertility,

treatments T_4 (NPK 0-21-19), T_2 (NPK 0-24-12) and T_1 (NPK 0-23-19) had ratios of $(Ca/S) \times 100 \geq 68\%$, reflecting a good balance between Ca and the sum of exchangeable bases (S). On the other hand, all treatments had potassium deficiencies with $(K/S) \times 100 < 8\%$ and assimilable phosphorus values of $(Mg/S) \times 100$, Mg/K and N/P_{total} and $(Ca+Mg)/K$ greater than 100 $mg\ kg^{-1}$; 24 %; 3; 2 and 11.5 respectively. Finally, apart from T_4 , the other treatments had an imbalance between N and S, with $(S+6.15)/N < 8.9$. As for yield, treatments T_4 and T_1 , which are not statistically different, had respectively the highest values with 1286.7 and 1393.1 $Kg\ ha^{-1}$, compared to the control (T_0) which obtained the lowest rate (560.9 $Kg\ ha^{-1}$). These results show the need for a reasoned mineral fertilization.

2 INTRODUCTION

La cacaoculture en Côte d'Ivoire est actuellement marqué par la disparition de la forêt, naturellement utilisée par les producteurs comme le précédent cultural idéal pour la culture du cacaoyer (Gockowski & Sonwa, 2010). Bénéficiant de la bonne fertilité des sols de forêt par le passé, les cacaoculteurs avaient adopté une longue pratique d'exploitation de leurs plantations cacaoyères sans fertilisation. Aujourd'hui, la baisse accrue de la fertilité de ces sols cacaoyers (Koko *et al.*, 2009) et leur appauvrissement constituent une menace pour la production du cacao. Les méthodes de production non écologiques appauvrissent le sol. Mais les cacaoculteurs ne peuvent plus abandonner leurs terres épuisées devenues plus ou moins acides. Car, il n'y a quasiment plus de forêts disponibles et de nombreux pays ont mis en place une législation anti-déforestation. L'impact du changement climatique se fait aussi sentir et devient de plus en plus fort. Pour la production de cacao, cela signifie une réduction des terres adaptées à la cacaoculture et une baisse considérable du rendement (Kassi & Ouattara, 2015). Vu la concurrence mondiale, l'augmentation de la production de cacao est une nécessité et un défi pour les principaux pays producteurs (Jagoret *et al.*, 2014), notamment, pour la Côte d'Ivoire, premier producteur mondial (ICCO, 2018). Face à cette situation, on observe de plus en plus un changement de

comportement de la part des producteurs en utilisant des intrants pour relever les rendements de leur production cacaoyère. Comme le préconise la recherche, ils optent pour l'application de fertilisants minéraux essentiels à la production du cacaoyer, pour voir si ces éléments ne se prêteraient pas mieux à l'identification de la fluctuation des sols cacaoyers (Kassi et Ouattara, 2015). La plupart des essais ont montré l'importance du Phosphore et du Potassium dans l'amélioration des rendements des cacaoyers (Ofori-Frimpong *et al.*, 2003). Le Calcium et le Magnésium en petites quantités ont aussi été jugés importants. En Côte d'Ivoire, les recommandations actuelles sont basées sur une formule unique quel que soit le type de sol et ses caractéristiques chimiques. C'est le cas de l'engrais cacao NPK 0-23-19 avec un peu de Ca et Mg. Dans le contexte pédoclimatique actuel de la Côte d'Ivoire, la fertilisation minérale des cacaoyers nécessite une actualisation des formules et doses d'engrais, afin qu'elle soit maintenue pour remplacer les nutriments exportés par les récoltes (Hanak-Freud *et al.*, 2000). Cela a donc poussé loin des réflexions, et des formules d'engrais issues du diagnostic sol ont été proposées au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) en vue d'évaluer leur efficacité pour assurer la durabilité de la production cacaoyère en Côte d'Ivoire par la fertilisation minérale raisonnée.

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 Cadre de l'étude : L'étude a été conduite en milieu paysan à Abengourou, Agnibilékro et Niablé dans la région de l'Indénié-Djuablin qui fut la 1^{ère} boucle du cacao en côte d'Ivoire depuis 1980 (Koko *et al.*, 2008). Le climat de cette région de l'Est de la Côte d'Ivoire est de type subéquatorial avec deux saisons de pluies (mars-juillet et septembre-octobre) qui alternent avec deux saisons sèches

(novembre-mars et août). La pluviométrie varie entre 1200 mm et 1800 mm et la température moyenne annuelle varie de 25 à 28° C. L'humidité relative de l'air varie de 44% en janvier et atteint 85% entre juillet et août. Les sols de la zone d'étude, développés sur une pénéplaine, sont ferrallitiques faiblement désaturés sur schistes, micaschistes ou granite (Eldin, 1971).

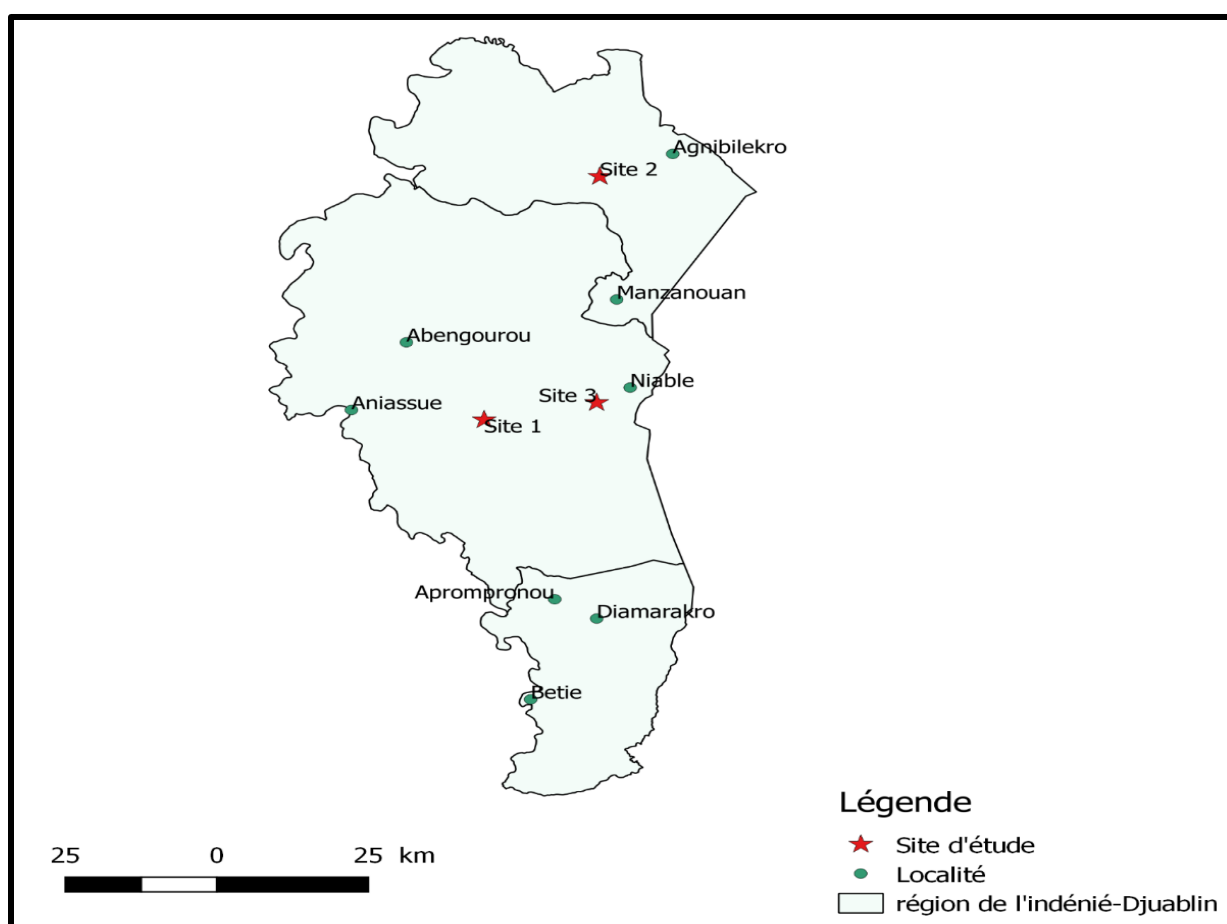


Figure 1 : Carte de la localisation des zones d'étude à l'Est de la Côte d'Ivoire

3.2 Matériel végétal : Le matériel d'étude est le cacaoyer « tout venant ». Les parcelles choisies pour l'essai sont matures, avec un âge compris entre 15 et 17 ans.

3.3 Matériel fertilisant : Quatre types d'engrais minéraux ont été utilisés sur les parcelles, dont trois nouvelles formules (NPK 0-24-12 ; NPK 3,5-14-7 et NPK 0-21-19) et la

formule d'engrais standard recommandé en Côte d'Ivoire (NPK 0-23-19).

3.4 Dispositif expérimental : L'essai a été conduit selon un dispositif expérimental en blocs de Fisher sur les trois sites, avec 5 traitements et 4 répétitions, sur une superficie de 0.59 ha (82.50 m x 72 m). Les traitements (T₀, T₁, T₂, T₃, T₄) ont été répartis de manière aléatoire

dans chaque bloc de 990 m² (82,5 m sur 12 m). Ces blocs ont été disposés parallèlement et espacés de 6 m les uns des autres et les parcelles élémentaires de 150 m² (12.5 m x12 m) chacune, étaient constituées chacune de 30 cacaoyers espacés de 3 m sur 2,5 m (densité de 1333 plants/ha). Dans chacune des parcelles élémentaires, matérialisées par une couleur

spécifique ou traitement, 30 plants ont été fertilisés à l'exception du témoin absolu (T₀), mais les observations ont porté sur 20 plants constituant la parcelle utile. Les engrais ont été apportés à leur demi-dose autour du pied de cacaoyer en deux étapes (mars-avril et août-septembre), dans un rayon de 80 à 100 cm (Tableau 1).

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

Traitement	Formules	Dose d'engrais annuelle /pied de cacaoyer	1 ^{er} Apport mars-avril	2 ^{ème} apport août-septembre
T ₁	NPK 0-23-19	300 g	150 g/pied	150 g/pied
T ₂	NPK 0-24-12	400 g	200 g/ pied	200 g/ pied
T ₃	NPK 3,5-14-7	800 g	400 g/ pied	400 g/ pied
T ₄	NPK 0-21-19	400 g	200 g/ pied	200 g/ pied

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 (H₂SO₄) et de bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇). 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 (NaHCO₃) 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 :

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

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

nombre de cabosse saine;

0.35 = poids sec d'une fève de cacao après séchage en pourcentage ; 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 des engrais issus du diagnostic sol sur les paramètres de la fertilité du sol dans l'Indénié-Djuablin

4.1.1 Effets des engrais minéraux sur la matière organique du sol: L'analyse de variance a montré de différence significative au seuil de 5 % entre les traitements concernant le carbone et la matière organique. Par contre, ces

traitements n'ont pas eu de différence significative au niveau de l'azote et du rapport C/N. Les parcelles fertilisées ont eu les meilleurs teneurs en matière organique (3,22-3,97%) et en rapport C/N (10,37-11,40), par rapport au témoin absolu (T₀) qui a enregistré de faibles valeurs (Tableau 2).

Tableau 2 : Effet des engrais minéraux sur la matière organique du sol dans l'Indénié-Djuablin

Traitements	COS (%)	MO (%)	N total (%)	C/N
T ₃	2,30a	3,97a	0,24a	11,40a
T ₄	2,13a	3,68a	0,21a	10,37a
T ₁	1,90a	3,28a	0,19a	11,40a
T ₂	1,87a	3,22a	0,20a	11,23a
T ₀	1,07b	1,84b	0,15a	7,13a
Moyenne	1.89	3,27	0,20	10,57
CV (p.c)	17,09	17,03	22,01	7,25
Pr > F	0,021	0,021	0,70	0,52

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

4.1.2 Effets des engrais minéraux sur le complexe absorbant : L'analyse de variance a fait ressortir une différence significative au seuil de 5 % entre les traitements pour les teneurs du sol en phosphore assimilable, Ca²⁺, Mg²⁺ et la somme des bases échangeables. Les teneurs les plus élevées ont été obtenues par de façon générale par les traitements T₄ (NPK 0-21-19) et T₂ (NPK 0-24-12) et les plus faibles teneurs ont été observées par le traitement témoin absolu

(T₀). En revanche l'analyse de variance n'a pas montré de différence significative au seuil de 5 % entre les traitements pour K⁺, la CEC et le pH eau. Les teneurs moyennes ont été de 12,69 cmolkg⁻¹ pour Pass, 0,28 cmolkg⁻¹ pour K⁺, 5,18 cmolkg⁻¹ pour Ca²⁺, 1,88 cmolkg⁻¹ pour Mg²⁺, 10,31 pour la CEC, 7,50 cmolkg⁻¹ pour la somme des bases échangeable (S) et 5,87 pour le pH eau (Tableau 3)

Tableau 3 : Effets des engrais minéraux sur le complexe absorbant et l'acidité des sols dans l'Indénié-Djuablin

Traitement	Cmolkg ⁻¹						pH eau
	P ass	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CEC	S	
T ₃	10,30a	0,28a	5,04b	2,56a	10,07a	8,21ab	6,11a
T ₄	14,83a	0,31a	9,86a	2,78a	14,26a	13,33a	6,40a
T ₁	18,77a	0,29a	3,48b	1,19b	8,68a	4,97b	5,53a
T ₂	13,13a	0,31a	5,80a	1,77ab	12,40a	8,01ab	6,27a
T ₀	6,40b	0,19a	1,72b	1,08b	6,12a	3,00b	5,06a
Moyenne	12,69	0,28	5,18	1,88	10,31	7,50	5,87
CV (p.c)	74,54	24,92	35,46	26,14	29,73	30,96	7,69
Pr > F	0,031	0,990	0,045	0,024	0,216	0,012	0,688

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

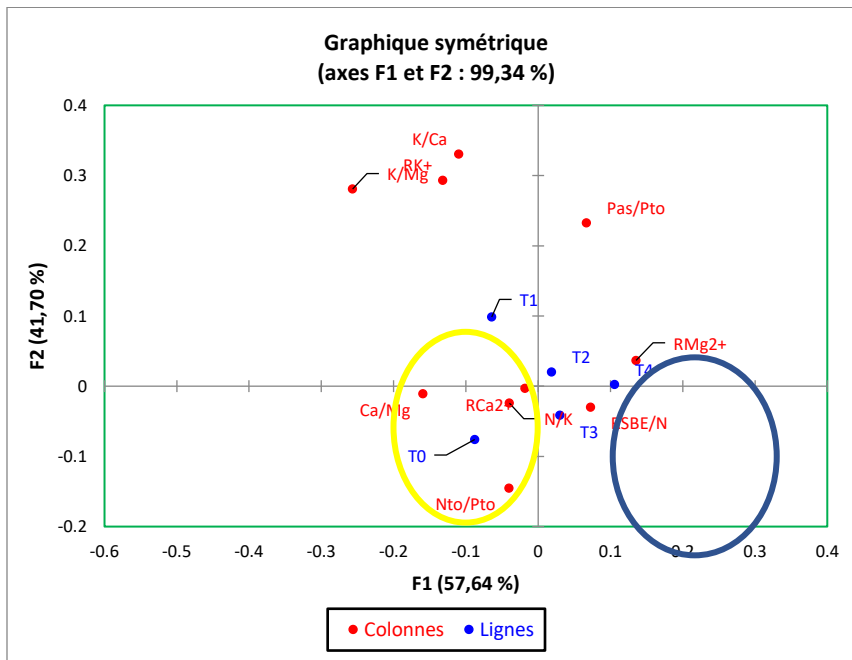
4.1.3 Effets des d’engrais minéraux sur les équilibres ioniques : L’analyse de la variance a montré des différences significatives au seuil de 5 %, entre les traitements pour les paramètres (Ca/S) x100, (Mg/S) x100, (K/S) x100, Mg/K et (Ca+/K) / Mg. Les traitements T₄, T₂ et T₁ ont eu des ratios de (Ca/S) x100 supérieurs à 68 % (optimum). Par contre, tous les traitements ont eu d’une part, des taux de (K/S) x100 inférieurs à 8 % et d’autre part, des ratios de (Mg/S) x100, Mg/K, N/Ptotal et (Ca+Mg) /K respectivement supérieurs à 24 % ; 3 ; 2 et 11,5. Enfin, seul le traitement T₄ (NPK 0-21-19) a eu un ratio (S+6,15) / N supérieur à la valeur seuil

(8,9) (Tableau 4). Concernant la représentation graphique des paramètres liés à l’équilibre ionique (Figure 2), l’ensemble des informations est porté par les axes F1 et F2 avec une inertie de 99,34 %. Suivant l’axe F1 qui porte 57,64 % des informations, deux groupes ont été identifiés. Le groupe constitué de T₀, (Ca x100) /S et Ntotal/Ptotal et celui constitué de T₂, T₃, T₄, (Mg x100) /S et (S+6,15) /N. Ensuite, suivant l’axe F2 avec 41,70 % des informations, le traitement T₁ s’oppose aux traitements T₀ et T₃. L’axe F2 peut être nommé l’axe du traitement T₁ et l’axe F1 l’axe des traitements T₀, T₂, T₃ et T₄.

Tableau 4 : Effets des engrais minéraux sur les équilibres ioniques dans l’Indenié-Djuablin

Traitement	(Ca/S) 100	(Mg/S) 100	(K/S) 100	(S+6,15) /N	N/Ptotal	Mg/K	(Ca+Mg) /K
T ₃	61,39ab	31,18ab	3,41b	5,98a	7,08a	9,14a	14,18b
T ₄	74,00a	20,85b	2,30b	9,28a	6,01a	8,97a	40,74a
T ₁	70,00ab	23,94b	5,83a	5,85a	5,11a	4,10b	16,10b
T ₂	72,40ab	22,08b	3,87b	7,08a	6,19a	5,71b	24,42ab
T ₀	57,30b	36,00a	6,30a	6,30a	5,55a	5,68b	14,73b
Moyenne	51,41	26,81	4,34	6,90	5,99	6,72	22,03
CV (%)	6,52	10,48	15,00	11,99	18,82	12,22	14,16
Pr > F	0,041	0,052	0,028	0,238	0,148	0,015	0,032

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



RSBE/N= (S+6.15) /N ; RMg²⁺ = Mg x100/S ; RCa²⁺ = Ca x100/S ; RK⁺=K x100/S

Figure 2 : AFC sur les axes F1, F2 des équilibres ioniques dans l’Indenié-Djuablin

4.2 Effets des engrais issus du diagnostic sol sur le rendement et ses composantes dans l'Indénié-Djuablin :

L'analyse de variance a montré une différence significative au seuil de 5 % entre les différents traitements pour l'ensemble des paramètres agronomiques. Il a été dénombré plus de chérelles wiltées par cacaoyer dans les traitements T₄ (74,90), T₁ (85,52) et T₂ (79,30). Les traitements T₃ et T₀ ont produit les plus faibles quantités. S'agissant des cabosses saines, la quantité la plus importante a été

observé dans le traitement T₁ et la plus faible quantité dans le traitement T₀. Pour les cabosses pourries, le traitement T₃ a enregistré la plus faible valeur (7,97). Quant au poids moyen des fèves fraîches, le traitement T₄ avec 121,9 g en a eu la plus forte valeur. Enfin, les traitements T₄ avec 1286,7 kg ha⁻¹ et T₁ avec 1393,1 kg ha⁻¹ qui ne sont pas statistiquement différents ont eu les rendements les plus élevés, par rapport au traitement T₀ qui a enregistré la plus faible valeur (569,9) kg ha⁻¹ (Tableau 5).

Tableau 5 : Effets des engrais minéraux sur le nombre de chérelles wiltées, cabosses saines, cabosses pourries, poids moyen des fèves fraîches et le rendement dans l'Indénié-Djuablin

Traitements	Région de l'Indénié-Djuablin				
	Chérelles wiltées	Cabosses saines	Cabosses pourries	Poids moyen de fèves fraîches (g)	Rendement (kg ha ⁻¹)
T ₃	51,33b	12,86b	7,97c	121,8b	901,0ab
T ₄	74,90a	16,58ab	12,84ab	127,3a	1286,7a
T ₁	85,52a	20,41a	15,01a	120,3bc	1393,1a
T ₂	79,30a	14,88ab	10,95b	121,07bc	1030,3ab
T ₀	45,79b	10,06b	10,70bc	119,5c	560,9b
Moyenne	69,69	14,96	11,59	121,99	1034,44
CV (p.c.)	51,58	48,98	59,66	6,32	51,78
Pr > F	<.0001	0.0092	<.0001	<.0001	0.001

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

4.2.1 Gain de production : Tous les traitements ont eu des gains de production positifs par rapport au témoin absolu. Ces gains ont été majorés par le traitement T₄ (129.40 %).

Par contre, ces traitements ont obtenu des gains de production négatifs par rapport au témoin de référence (NPK 0-23-19) allant de -7,63% (T₄) à -35,32% (T₃) (Tableau 6).

Tableau 6 : Gain de production des engrais par rapport au témoin absolu et par rapport au témoin de référence T₁ (NPK 0-23-19)

Traitements	Rendement	Gain de production par rapport à T ₀ (en %)	Gain de production par rapport à T ₁ (en %)
T ₃ (3,5-14-7)	901,0	60,62	-35,32
T ₄ (0-21-19)	1286,7	129,40	-7,63
T ₂ (0-24-12)	1030,3	83,78	-26,04

4.3 Effets des engrais issus du diagnostic sol sur le rendement et ses composantes par localité

4.3.1 Effets des engrais minéraux sur le rendement et ses composantes à Abengourou : L'analyse a montré des différences significatives au seuil de 5% entre les traitements dans la localité d'Abengourou pour

les paramètres agronomiques nombre de chérelles wiltées, nombre de cabosses pourries et le poids moyen de fèves fraîches. Dans cette localité, il a été dénombré plus de chérelles wiltées et de cabosses pourries par arbre dans les traitements T₁ et T₂ et les plus petites quantités dans le traitement T₃. Quant au poids moyen des fèves fraîches, c'est au niveau des cabosses issues

des arbres du traitement T₄ qu'a été observé le poids moyen le plus élevé ; à savoir 128 g. Pour ce même paramètre, la plus faible pesée a été observée dans le traitement T₁ avec 11 g. Par contre, s'agissant du nombre de cabosses saines et du rendement en cacao marchand, aucune

différence significative entre les traitements n'a été observée. Pour le nombre de cabosses saines, la moyenne produite a été de 15,79. Pour le rendement en cacao marchand, la moyenne a été de 1106,18 kg_{ha}⁻¹ (Tableau 7).

Tableau 7 : Effets des engrais minéraux sur le nombre de chérelles wiltées, cabosses saines, cabosses pourries, poids moyen des fèves fraîches et le rendement à Abengourou

Traitements	Abengourou				
	Chérelles wiltées	Cabosses saines	Cabosses pourries	Poids moyen de fèves fraîches (g)	Rendement (Kg _{ha} ⁻¹)
T ₃	58,26b	13,66a	7,84b	119,9b	907,5a
T ₄	82,53ab	16,31a	12,59ab	128a	1280,2a
T ₁	92,24a	23,58a	16,95a	114,5c	1523,0a
T ₂	95,61a	13,34a	16,56a	122,6b	960,0a
T ₀	59,16b	9,35a	12,00ab	122,7b	655,9a
Moyenne	79,39	15,79	13,27	121,6	1106,18
CV (p.c.)	49,03	62,22	54,22	6,98	65,04
Pr > F	0,0061	0,5147	0,0006	<.0001	0,2101

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

4.3.2 Effets des engrais minéraux sur le rendement et ses composantes à Agnibilékro : A Agnibilékro, l'analyse de variance a montré des différences significatives au seuil de 5% entre les traitements au niveau des chérelles wiltées, du nombre de cabosses saines, du poids moyen de fèves fraîches et du rendement. Pour le nombre de chérelles wiltées, les arbres du traitement T₁ qui en ont produit le plus grand nombre avec 48,69 et la plus faible quantité a été observée chez les arbres du traitement T₀ avec de 28,19. Pour le nombre de cabosses saines, ce sont les arbres des

traitements T₄ et T₁ qui en ont produit les plus grandes quantités respectivement avec 15,93 et 16,05. Concernant le poids moyen des fèves fraîches, le traitement T₄ a obtenu le poids le plus élevé avec 135,5 g. S'agissant des rendements, il a été observé les plus fortes valeurs dans les traitements T₄ et T₁ respectivement avec 1338,9 kg_{ha}⁻¹ et 1217,4 kg_{ha}⁻¹ et le plus faible rendement a été obtenu avec le traitement T₀ (529,40 kg_{ha}⁻¹). Par contre pour le nombre de cabosses pourries aucune différence significative entre les traitements n'a été observée ; le nombre moyen de cabosses saines a été de 13,14 (Tableau 8).

Tableau 8 : Effets des engrais minéraux sur le nombre de chérelles wiltées, cabosses saines, cabosses pourries, poids moyen des fèves fraîches et le rendement à Agnibilékro

Traitements	Agnibilékro				
	Chérelles wiltées	Cabosses saines	Cabosses pourries	Poids moyen de fèves fraîches	Rendement (Kgha ⁻¹)
T ₃	40,19ab	12,40ab	13,10a	125,5b	926,3ab
T ₄	39,00ab	15,93a	14,59a	131a	1338,9a
T ₁	48,69a	16,05a	15,90a	126,5b	1217,4a
T ₂	40,97ab	11,70ab	10,18a	121c	831,8ab
T ₀	28,19b	9,60b	13,14a	118,2d	529,40b
Moyenne	40,69	13,14	13,44	125,2	968,76
CV (p.c.)	55,95	43,23	59,38	5,50	47,25
Pr > F	0,1450	0,0019	0,1642	<.0001	0,0011

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

4.3.3 Effets des engrais minéraux sur le rendement ses composantes à Niablé :

L'analyse de variance a fait ressortir des différences significatives au seuil de 5 % entre les traitements pour l'ensemble des paramètres agronomiques étudiés. A Niablé, les traitements T₄ (102,43), T₁ (113,98) et T₂ (100,65) ont obtenu le nombre de chérelles wiltées les plus élevés. Ces traitements ont également eu le taux le plus

élevé de cabosses saines avec 17,46 pour T₄ ; 21,77 pour T₁ et 19,38 pour T₂. Pour les cabosses pourries, le traitement T₃ en a eu le taux le plus faible (3,28). Dans cette localité, le traitement T₄ a enregistré les poids des fèves les plus élevés avec 122,9 g. Enfin, les traitements T₄, T₁ et T₂ ont eu les rendements les plus élevés avec respectivement 1242,4 kgha⁻¹, 1446,9 kgha⁻¹ et 1287,3 kgha⁻¹ (Tableau 9).

Tableau 9 : Effets des engrais minéraux sur le nombre de chérelles wiltées, cabosses saines, cabosses pourries, poids moyen des fèves fraîches et le rendement à Niablé

Traitements	Niablé				
	Chérelles wiltées	Cabosses saines	Cabosses pourries	Poids moyen de fèves fraîches (g)	Rendement (kgha ⁻¹)
T ₃	55,55b	12,59b	3,28c	120b	871,5ab
T ₄	102,43a	17,46a	11,36ab	122,9a	1242,4a
T ₁	113,98a	21,77a	12,56a	119bc	1446,9a
T ₂	100,65a	19,38a	6,39bc	119bc	1287,3a
T ₀	49,36b	11,23b	7,23bc	117bc	613,01b
Moyenne	88,21	16,50	8,30	119,58	1092,22
CV (p.c.)	42,38	40,28	60,95	4,73	42,62
Pr > F	<.0001	0,001	<.0001	<.0001	0,003

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

4.3.4 Gain de production : Dans toutes les localités les gains ont été positifs, par rapport au témoin absolu (T₀). Ces gains positifs ont atteint la valeur de 152,91 % avec le traitement T₄, à Agnibilékro. Par contre, les gains ont été négatifs

dans toutes les localités par rapport au témoin de référence, hormis le gain positif obtenu à Agnibilékro avec le traitement T₄ (9,98 %) (Tableau 10).

Tableau 10 : Gain de production des engrais minéraux par rapport au témoin absolu (T₀) et au témoin de référence T₁ (NPK 0-23-19) par localité

Traitements	Gain de production (en %)					
	Abengourou		Agnibilékro		Niablé	
	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁
T ₃ (3,5-14-7)	38,35	-40,41	74,97	-23,91	42,17	-39,76
T ₄ (0-21-19)	95,18	-15,94	152,91	9,98	102,67	-14,13
T ₂ (0-24-12)	46,36	-36,96	57,12	-31,67	119,99	-11,03

5 DISCUSSION

5.1 Effets des engrais minéraux sur la fertilité du sol

5.1.1 Effets des engrais minéraux sur la matière organique : Les résultats ont montré que les teneurs en matière organique des sols dans les différents traitements ont été homogènes avec une valeur moyenne qui se situe à 3,61 %. Cette valeur est supérieure à la valeur seuil défini pour la cacaoculture qui est de 3% (Somarriba et al., 2013). Cela serait dû à la forte teneur en matière organique des sols de la zone. En effet, Ce constat a été relevé par Kéhédi (2015), qui avait constaté une production abondante de la matière organique dans la zone d'Abengourou. Il avait attribué ce fait à une importante activité biologique par l'observation de nombreuses termitières. C'est ce qui explique une bonne minéralisation de la matière organique. Le rapport C/N dans tous les traitements se situe dans la fourchette requise (9 à 15) pour un bon développement du cacaoyer (Snoeck et al., 2015). Pour cet auteur un rapport C/N inférieur à 9 avait pour conséquence une libération trop rapide de l'azote dans le milieu (perte d'azote) et un rapport C/N supérieur à 15 qualifierait une minéralisation lente (déficit d'azote) a défini des valeurs seuils pour une fourniture normale de l'azote aux plantes. Cette bonne fourniture de l'azote aux plantes est confirmée par les teneurs déterminées qui se situent au-delà du seuil établit qui est de 0,03 % (Snoeck, 2016).

5.1.2 Effets des engrais minéraux sur le complexe absorbant : S'agissant de l'effet des traitements sur le complexe absorbant, les résultats montrent qu'à l'exception de témoin absolu, sans apport de fertilisant, les teneurs en

phosphore assimilable ont été largement supérieurs au seuil recommandé pour une nutrition minérale optimum du cacaoyer. Cette valeur seuil a été définie à 100 mgkg⁻¹ ou 10 cgkg⁻¹ (Jadin, 1992). Ce fait serait dû aux apports extérieurs issus des engrais enrichis en phosphore (P₂O₅). Les exportations sont compensées par les apports. Cependant, malgré les apports de potassium, tous les sols ont présenté des déficits en cet élément. En effet, la teneur moyenne en potassium pour une bonne nutrition minérale du cacaoyer se situe à 0,7 cmolkg⁻¹ (Snoeck, 2016). Le potassium étant un cation échangeable, il est retenu dans les feuillets des argiles ou par la matière organique. Par conséquent, il se produit une perte du potassium par lixiviation expliquant les teneurs faibles de potassium dans ces sols. Quant au calcium, les valeurs ont oscillé entre 1,72 et 9,86 cmolkg⁻¹; à l'exception du traitement T₀ et T₁, les autres traitements ont atteint les valeurs seuils comprises entre 5-8 cmol.kg⁻¹ (Aikpokpodion, 2010 ; Koko, 2014 ; Akanbi et al., 2014). De même, les teneurs du magnésium qui ont oscillés entre 1,19 et 2,78 cmol (+) kg⁻¹ n'ont pas tous été idéales. En effet, seuls les traitements T₃ et T₄ ont atteint la valeur seuil établit à 2,45 cmolkg⁻¹ (Snoeck, 2016). Toutefois, les déficits en certains cations échangeables seraient dû à la nature des argiles qui ont tendance à se saturer rapidement, d'où une lixiviation de ces cations. Cependant, les teneurs de la CEC dans les sols ont avoisiné et même excédé pour certains traitements le seuil de 12 cmolkg⁻¹ établit comme valeur minimal, pour le développement du cacaoyer dont la CEC doit être comprise entre 12 et 30 cmolkg⁻¹ (Snoeck et al., 2015). Cette propriété dépendant

d'une part de la teneur en argile et de la matière organique, et d'autre part du type d'argile dans le sol, ces bonnes valeurs de la CEC obtenu par les traitements T₄ et T₂, pourraient être dues à la disponibilité de la matière organique dans ces sols. Quant au pH_{eau} du sol, selon l'échelle d'interprétation de l'acidité des sols pour la cacaoculture, le cacaoyer peut se développer sur des sols à pH acide (pH 4,5- 6) ou légèrement basique (pH 6,7-7,5) (Appiah *et al.*, 2006 ; Tossah *et al.*, 2006). Ainsi, l'acidité relevée dans les sols pour tous les traitements est idéale pour la cacaoculture ; car elle varie de 5,06 à 6,40. Ces pH qui oscillent autour de la neutralité peuvent se justifier par la saturation du complexe absorbant par les cations échangeables ; en effet, les sols ayant une texture limono-argilo-sableuse, ont un taux d'argile élevé dépassant les 30 %.

5.1.3 Effets des engrais minéraux sur les équilibres ioniques : Les valeurs du rapport N_{total}/P_{total} sont comprises entre 5,11 et 7,08 soit environ 3,50 fois plus élevé que l'optimum 1,5 à 2 (Snoeck, 2016). Malgré les teneurs en phosphore assimilable dépassant le seuil minimal, des apports excédentaires de phosphore sont nécessaires pour atteindre l'équilibre et avoir une bonne nutrition minérale des cacaoyers. Concernant les équilibres ioniques des éléments du complexe d'échange, les traitements T₄, T₂ et T₁ ont atteint l'équilibre entre Ca et la somme des bases échangeables (S), avec $(Ca/S) \times 100 \geq 68 \%$. Quant à $(Mg/S) \times 100$, Mg/K et $(Ca+Mg)/K$, tous les traitements ont atteint les équilibres dans la mesure où leurs ratios ont été supérieurs respectivement aux optimums ; 24 % ; 3 et 11,5 (Hornus & Snoeck, 2010). Par contre, tous les traitements ont présenté des déficiences en potassium avec $(K/S) \times 100 < 8 \%$, traduisant un déséquilibre entre K et S. La correction de ce déséquilibre nécessite une augmentation du potassium pour une bonne nutrition minérale. Concernant l'équilibre des bases échangeables-azote $(S+6,15)/N$ qui traduit le besoin en azote ou en base échangeable, hormis le traitement T₄, les autres traitements ont eu un déséquilibre entre N et S, avec $(S+6,15)/N < 8,9$. La correction de ce déséquilibre nécessite une augmentation des

bases échangeables. L'AFC montre qu'à l'exception de l'équilibre du magnésium et du ratio bases échangeables-azote, tous les autres équilibres ne seraient du fait des engrais phosphatés. En effet, la nature du sol a une influence sur les équilibres ioniques nécessaire pour une nutrition optimum des plantes. Les seuls apports de matières fertilisantes ne peuvent satisfaire les conditions d'une fertilité des sols pour le bon développement du cacaoyer.

5.2 Effets des engrais minéraux sur la production du cacaoyer : Les résultats indiquent que les cacaoyers ayant reçu des apports d'engrais phosphaté et potassique ont les meilleurs caractères de production. Cela se confirme par le nombre moyen de cabosses saines produites par cacaoyer et des rendements importants des sols fertilisés. En effet, le phosphore et le potassium 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'engrais minéral Phosphaté est nécessaire pour soutenir la croissance de la canopée et la production des fèves (Snoeck, 2014). Au niveau du cacaoyer, Malavolta (1985) a rapporté que le potassium assure le développement et la maturation des fèves. Le nombre élevé de chérelles wiltées confirme une forte aptitude à la production des cacaoyers ayant reçu des apports d'engrais phosphaté et potassique. En effet, la chérelle wiltée 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). Ce qui justifie le taux élevé de chérelle wiltée dans les résultats. Les meilleurs rendements obtenus par les traitements T₁ et T₄ seraient dû à leur teneur élevée en phosphore et en potassium qui ont permis d'avoir plus de cabosses saines. En effet, les cabosses saines constituent un facteur important dans la détermination du rendement. L'utilisation d'engrais minéraux a permis au traitement T₄ de doubler le rendement (129,4 %), par rapport au témoin sans apport d'engrais (Appiah *et al.*, 2000).

6 CONCLUSION

Les engrais issus du diagnostic sol ont montré de meilleurs caractères à la fertilité des sols et la production des fèves de cacao. En effet, les parcelles fertilisées ont eu les meilleures teneurs en matière organique (3,22-3,97%), en rapport C/N (10,37-11,40) et en phosphore assimilable (10-18, 77 cmolkg⁻¹). Les traitements T₄ (NPK 0-21-19) et T₂ (NPK 0-24-12) n'ont pas été déficients en Ca et Mg et T₄ a eu également un

bon équilibre entre N et la somme des bases échangeables (S), avec $(S+6,15) / N > 8,9$. En outre, tous les traitements ont eu des déficiences en potassium. Quant au rendement, les traitements T₄ avec 1286,7 Kg^{ha}⁻¹ et T₁ avec 1393,1 Kg^{ha}⁻¹, n'ayant pas été statistiquement différents, ont eu les valeurs les plus élevées, par rapport au témoin (T₀) qui a obtenu le plus faible taux (560,9 Kg^{ha}⁻¹).

7 REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du 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 PE : 2010. Nutrient dynamics in cocoa soils, leaf and beans in Ondo State Nigeria. *J Agri. Sci.*, 1(1) : 1-9.
- Akanbi O SO, Ojeniyi S O, Famaye A O, Ipinmoroti R R, Oloyede A 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 M R, Ofori-Frimpong K and Afrifa AA : 2000. Evaluation of fertilizer application on some peasant cocoa farms in Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science* vol 33 (2) pp 183-190.
- 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.
- Eldin M 1971. Le climat. *In* : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. *Mémoires ORSTOM* 50 : pp 77-108.
- Gockowski J et Sonwa D J : 2010. Cocoa Intensification Scenarios and Their Predicted Impact on CO₂ Emissions, Biodiversity Conservation, and Rural Livelihoods in the Guinea Rain Forest of West Africa. *Environnemental Management* 8 : 307-321.
- Hanak-Freud E H, Petithuguenin P et J Richard : 2000. Les champs de cacao. Un défi de compétitivité Afrique Asie. Karthala, Paris, 200 p.
- Hornus P et Snoeck D : 2010. Le diagnostic sol et la fertilisation du cacaoyer ; (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique Pour le Développement), 9 p.
- ICCO : 2018. ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLIV, No. 2, Cocoa year 2017/2018.
- Jadin P, 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.
- Jagoret P, Deheuvels O et Bastide P : 2014. S'inspirer de l'agroforesterie. Production durable de cacao. Centre de coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement. Perspective intensification écologique no 27, 4 p.

- Kassi E et Ouattara T V : 2015. Rapport partiel des activités et des données de production du premier trimestre : Étude de l'efficacité de l'engrais NPK LDC 1 (0N-19PO-16KO) et LDC 2 (0N-16PO-16KO) sur le cacaoyer en Côte d'Ivoire, 20 p
- Kéhédi G : (2015). Caractéristiques morpho-pédologiques et chimiques des sols sous vergers de cacaoyers dans la région de l'Est de la Côte d'Ivoire : Étude des toposéquences des localités de Abromamoué, Aniassué et Zouhounou à Abengourou. Mémoire de master de l'université Félix Houphouët-Boigny Cocody-Abidjan. 70 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 LK, Kassin KE, Yoro G, NGoran K et Yao-Kouamé A : 2009. Corrélations entre le viellissement précoce des cacaoyers et les caractéristiques morpho-pédologiques dans le Sud- Ouest de la Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.*, 24 : 1508-1519.
- Malavolta E : 1985. Potassium status of tropical and subtropical region soils. In : R. D. Munson, editor, Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, WI. pp. 163-200.
- McKelvie A D : (1956). Cherelle Wilt of Cacao. I. Pod development and its relation to wilt. *Journal of Experimental Botany* 7 : 252-263.
- Ofori-Frimpong K, Afrifa A A and Appiah M R : 2003. Effect of Nitrogen rates and Frequency of application on cocoa yield, soil, mineral composition of cocoa leaves. In : 14^e conférence Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Yamoussoukro : pp 239 – 245
- Snoeck D : 2006. The soil diagnostic method for formulating fertilizer requirements on cocoa in Ghana. Actes de la 15^{ème} conférence internationale sur la recherche cacaoyère, du 9 au 10 octobre 2006, San José, Costa Rica : pp. 387–394.
- Snoeck D. (2014). Industrial crops and products. 59 : 55-62.
- Snoeck D, Koko K, Joffre J, Bastide P et 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 et Jagoret P : 2016. Cacao Nutrition and Fertilization : Sustainable Agriculture Reviews, Vol. 19, Chapter 4. E. Lichtfouse (Ed.). Cham, Springer International Publishing: pp.155-202.
- Somarrriba E, Cerda R, Orozco L, Cifuentes M, Dávila H, Espin T, Mavisoy H, Ávila G, Alvarado E, Poveda V, Astorga C, Say E and Dehevels O : 2013. Carbon stocks and cacao yields in agroforestry systems of central America. *Agriculture, Ecosystems et Environment* 173 (0), pp. 46-57.
- 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.
- Yoro G R : 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, 8 p.