



Journal Homepage: - [www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

## INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/10132

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/10132>



### RESEARCH ARTICLE

#### OPTIMISATION DE LA TENEUR POTASSIQUE DU CACAO AU MOYEN D'UNE FERTILISATION ORGANIQUE D'UN SOL EN CHAMPS SEMENCIER.

Akpétou Kouamé Lazare<sup>1</sup>, Djeda Tagbo Rodrigue<sup>1</sup>, Assi Attiapo Pepin<sup>2</sup>, Brou Akahoua David<sup>1</sup> and Dongui Bini Kouamé<sup>1</sup>.

1. Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Côte d'Ivoire.
2. Ecole de Formation continue, Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Côte d'Ivoire.

#### Manuscript Info

##### Manuscript History

Received: 01 October 2019

Final Accepted: 03 November 2019

Published: December 2019

##### Key words:

Cocoa potash, cocoa alkalization, fertilization, organic fertilizers, rapid compost, Duékoué.

#### Abstract

This study consisted in the improvement of the potassium content of cocoa beans by the use of an organic fertilizer on farm. This for the potassium and physico-chemical characteristics of cocoa are largely determined by the nutrient profile of the crop soil. Thus, three doses of a rapid compost, hereafter T1 (1300 Kg/ha), T2 (1950 Kg/ha) and T3 (2600 Kg/ha), were used to treat in March and July 2018, an experimental Fischer block device, with three replicates, i. e. 4 subplots in total, in Koffikro, Duékoué, against T0 control (without organic fertilizer). The potassium of cocoa, at its stages of floral development, cherries, mature pods, especially beans and pericarp, was volumetrically measured with silver nitrate. The results showed that the average potassium concentration reached 1823.15 mg/Kg of cocoa bean dry matter, with comparison to the value of 1519.75 mg/Kg for the control T0. Numerical analysis of the results revealed a significant optimization of cocoa potash by the T2 dose. The effect of that organic fertilizer decreased under the T3 and T1 doses respectively regarding the two main harvests. This underlines the need of cocoa soils fertilization with organic fertilizers of Huvert type. Since such results will reduce the processes and costs of alkalization of cocoa masses in industry, while increasing the market and nutritional values of cocoa.

Copy Right, IJAR, 2019, All rights reserved.

#### Introduction: -

La charge potassique des fèves est déterminante pour les qualités physico-chimiques et nutritionnelles de la masse du cacao (Nogbou et al., 2015). Produit semi-fini de la technologie des fèves, celle-ci constitue un intrant de choix pour les industries chocolatières, cosmétiques et pharmaceutiques (Dorin et al. 2003; Schwan et Wheals, 2004). Les exigences de ces secteurs commandent une concentration potassique des fèves au-dessus de la moyenne actuelle standard de 1524 mg/Kg de matière sèche (USDA, 2019). En effet, la potasse végétale du cacao est composée de carbonates et chlorures de potassium ( $K_2CO_3$  et  $KCl$ ) entre autres. L'hydrolyse de cette potasse libère des ions potassium ( $K^+$ ) susceptibles de capter des électrons. Ces ions sont donc des chélateurs des dérivés non radicalaires et radicaux libres oxygénés. Ceux-ci sont continuellement produits dans le sang humain et leurs effets dommageables sur l'organisme sont amplement documentés (Migdal et Serres, 2011). Dès lors, l'industrie du cacao est contrainte

**Corresponding Author: Akpétou Kouamé Lazare.**

Address:- Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, BP: 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

de se soumettre au processus crucial d'alcalinisation des masses de cacao dans les procédés de produits finis de cette matière première. Comme résultats, une hypokaliémie en alourdit les charges, non sans impacter négativement la valeur nutritive de ces produits (Saltini et al. 2013). Aussi, est-il connu que cette hypokaliémie du cacao résulte de l'appauvrissement des sols de culture sous l'effet combiné de la faiblesse de l'entretien des exploitations et des pressions culturelles (Mossu, 1992; CAOBISCO/ECA/FCC, 2015; Assiri et al. 2009). L'optimisation de la potasse du cacao dépend donc des pratiques culturelles; notamment du profil nutritif du sol de cultures (Ankush et al. 2019). Les sols, supports fragiles du leadership multidécennal de la Côte d'Ivoire qui fournit 38% de l'offre mondiale de cacao (Saltini et al., 2013), se défertilisent en moins d'une décennie de culture (Hatermink, 2005). Il en résulte une décroissance continue des rendements à l'hectare et une faiblesse qualitative et potassique spécifique du cacao marchand ivoirien (Saltini & Akkerman, 2012; Dhaneshwar et al. 2019). Le maintien de la production cacaoyère ivoirienne devient alors tributaire d'une inéluctable itinérance inversement proportionnelle aux surfaces forestières depuis les années 1960.

Si la fertilisation organique constitue un palliatif, il n'en demeure pas moins que l'usage de fientes diverses en milieu paysan génère de nombreuses contraintes (Kébé et N'guessan, 2003). Les plus importantes sont la faiblesse quantitative et qualitative de la production, forte pression parasitaire et le vieillissement du verger entre autres (Tahi et al. 2006a; Koua et al., 2018). Pour y remédier, il est vital de maîtriser les composition et dose optimale de fertilisants organiques utilisés en champs cacaoyers.

Le présent travail a visé l'amélioration de la charge potassique des fèves de cacao au moyen d'un compost rapide dont les caractéristiques physico-chimiques ont été modulé sur les besoins du cacaoyer (Bernal et al. 1998). Il est motivé par le fait que la fertilisation organique réduit la dégradation, tout en accroissant la valeur nutritive et organique des sols de cultures (Kouadio et al. 2018; Ndoutoumou et al. 2019). A termes, notre étude pourrait constituer un arbitrage entre l'utilisation agricole des engrais organiques et les matières organiques incertaines telles que les fientes animales de toutes sortes.

## **Matériels et méthodes: -**

### **Zone d'étude**

L'étude a été conduite dans une cacaoyère âgée de 12 ans, située à Koffikro, un campement dans la localité de Baoubly (Duékoué). Cette cacaoyère est localisable aux coordonnées géographiques 06°49'48'' N et 07°21'57'' E pour une altitude de 273 m. Tout comme l'Ouest semi-montagneux de la Côte d'Ivoire, le relief de la localité de Koffikro est accentué. Des altitudes supérieures à 500 m rompent fréquemment les pentes des dénivelés. Il en résulte des formations gravillonnaires qui affleurent les horizons supérieurs des sols. Cela réduit les aptitudes culturelles des sols où seuls les mi et haut-versants des profils morpho-pédologiques sont propices à la cacaoculture (Kassin et al. 2012). Les haut et bas-versants exigent des investissements importants en cas de sollicitations.

De fait, la cacaoculture à Koffikro profite d'environnements favorables sur fonds de contraintes pédologiques. Pour y remédier, les paysans ont recours à l'utilisation annuelle d'engrais minéraux et de gros volumes de fientes animales comme couverture organique de leurs exploitations. Ces pratiques contribuent à dégrader les sols et impactent négativement la charge potassique du cacao (Ayanlaja et Sanwo, 1991; Kébé et al. 2003; Maboune et al. 2017; Koua et al. 2018). C'est pourquoi il convient d'étudier les conditions d'optimisation de la kaliémie du cacao, en partant du contexte spécifique de la localité de Koffikro (Duékoué).

### **Matériels d'étude:-**

Le substrat de fertilisation est constitué d'un engrais organique obtenu par un processus de compostage rapide. Il est élaboré à partir de fientes animales et de sources de minéraux obtenus par calcination de matières végétales. Sa composition a été alignée sur les exigences nutritives du cacaoyer (Mossu, 1990; Ndoutoumou et al. 2019). Il a servi à suivre l'optimisation de la charge potassique du cacao dans les fleurs, chérelles, fèves et péricarpes des cabosses mures et murs.

### **Méthodes:-**

#### **Dispositif expérimental et fertilisation organique du champ expérimental**

La parcelle expérimentale a été organisée en un bloc de Fischer, dit d'essais randomisés. Elle est constituée de 4 sous-parcelles S1, S2, S3 et S4 qui ont été traités respectivement avec les doses T1(1300 Kg/ha), T2 (1950 Kg/ha) et T3 (2600 Kg/ha) d'engrais organique Huvert contre témoin T0 (n'ayant pas reçu d'engrais). Chaque sous-parcelle

contenait 24 cacaoyers, soit 384 plantes au total qui ont reçu deux traitements en mars et juillet 2018. Ces deux épisodes de fertilisations organiques se sont faits conformément aux itinéraires techniques recommandés.

### Echantillonnage de substrats d'analyse du chlorure de potassium

L'échantillonnage s'est fait lors des deux récoltes majeures pendant la campagne principale, soit en novembre et décembre 2018; hormis les fleurs qui l'ont été une seule fois en début de saison cacaoyère en août ou septembre 2018. Il a concerné la collecte de toutes les fleurs tombées dans chaque sous-parcelle, plus une cinquantaine cueillie des arbres. Les chérelles ont obéi au même procédé, à la différence qu'une trentaine en plus a été cueillie des arbres. Concernant les fèves et les péricarpes, quatre cabosses mures et mures tirées à l'aveugle de toute la récolte cacaoyère par sous-parcelle ont servi d'échantillons pour l'analyse du potassium.

### Dosage du chlorure de potassium du cacao

Pour le dosage du chlorure de potassium du cacao, les fleurs, chérelles et péricarpes des cabosses mures ont été séchés au préalable à l'ombre jusqu'à poids constant; contrairement aux fèves qui ont été fermentées et séchées sous ensoleillement selon les standards (Augier et al. 1998; Hii et al. 2008). Ces substrats secs ont ensuite été calcinés à 600 °C au four. Les cendres obtenues ont été affinées au mortier pour analyse du potassium.

Une masse de 0,5 g de cendre de péricarpes, fèves ou chérelles contre 0,2 g pour les fleurs a été dissoute dans 100 et 50 ml d'eau distillée respectivement. Un volume de 10 ml de la solution obtenue a été dosé au nitrate d'argent à 0,1 mol/L en présence d'une goutte de Bleu de Bromothymol (BBT). La masse de chlorure de potassium a été calculée selon la formule suivante:

$$m = MCv$$

Avec m = masse du chlorure de potassium (mg/Kg de matière sèche)

M = Masse molaire du chlorure de potassium (75 g/mol)

C = concentration de la solution titrée

V = volume de nitrate d'argent versé

### Analyses statistiques et numériques des données de l'étude

Les analyses statistiques des données ont été menées sous le logiciel R. Il nous a permis de vérifier que les mensurations du KCl des différents substrats étudiés ont présenté une distribution normale. Ainsi, nous pouvions tester l'effet de l'engrais organique utilisé sur l'accroissement de la charge potassique des fèves de cacao dans les conditions standards pré et post-récoltes. Pour ce faire, nous avons répondu, avec des outils mathématiques, essentiellement à deux questions:

1. Y a-t-il une différence entre le KCl des fèves obtenues après traitement par l'engrais organique et le KCl de la littérature (1524 mg/Kg de matière sèche)?
2. Si oui, quelle est la dose d'engrais organique qui a le plus grand effet sur la concentration en KCl des fèves de cacao?

Pour ce faire, Si représente le site i d'expérience. R1 et R2 représentent chronologiquement les récoltes 1 et 2 de cabosses de cacao mures et mures comme mentionné précédemment. Les p-values ou valeurs critiques de l'effet de la dose d'engrais organique ont été calculées. Ensuite, un intervalle de confiance ou de forte probabilité, au seuil fixé à 95 %, contenant le KCl des fèves obtenues après traitement à l'engrais organique a été construit comme suit:

$$\left[ \bar{X}_3 - t_{2,0,05} \frac{S_2}{\sqrt{3}}; \bar{X}_n + t_{2,0,05} \frac{S_2}{\sqrt{3}} \right] \quad (2)$$

Avec  $\bar{X}_3 = \frac{1}{3} \sum_{T_i} \left( \frac{1}{4} \sum_{S_i} x_i \right)$  où  $x_i$  est la valeur du KCl donnée dans le tableau 1.

Et  $S_2^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{X}_3)^2$ ,  $t_{2,5\%} = 4,3$  suivant la loi de Student.

En ce concerne la détermination de la dose optimale d'engrais organique, la distance entre le KCl des fèves de la sous-parcelle témoin T0 des sous-parcelle T1, T2 et T3 a été calculée à l'aide de la formule suivante:

$$d_j^2 = \sum_{i=1}^8 \frac{(KCl(T_j) - KCl(T_0))^2}{KCl(T_0)} \quad (3)$$

Où  $d_j^2$  est la distance de la sous-parcelle Tj et KCl(Tj) est le KCl des fèves récoltées sur le sol Tj.

## Résultats:

Mensurations de la teneur du KCl des fèves de cacao après traitement d'engrais organique

La concentration moyenne du KCl des fèves de cacao après traitement d'engrais organique a varié entre 1302 – 1823 mg/Kg contre 1519 mg/Kg de matière sèche respectivement pour les T1, T3, T2 et T0 à la première récolte (tableau 1).

**Tableau 1:-** Concentrations moyennes du KCl des fèves de cacao des deux récoltes sur les huit sites

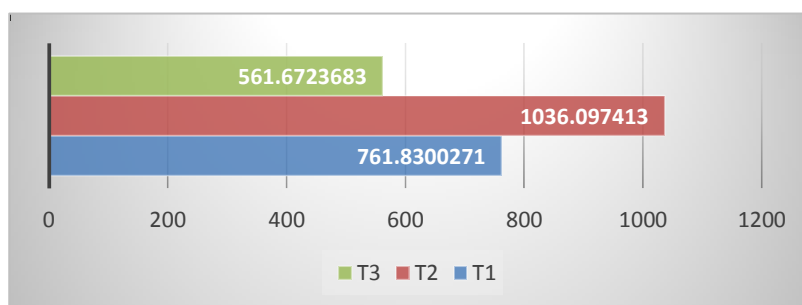
KCl TRAITEMENT	Récolte 1				Récolte 2			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
T0	1519,5	1519	1518	1519	536,3	536,6	534,5	536
T1	1302,4	1302,4	1302	1302,9	828,8	828	827,5	828,9
T2	1823,4	1823	1824	1822,2	860,1	860,9	860	865,5
T3	1447,1	1444,1	1448	1447,4	806,7	806,9	806,6	806,9

Ces valeurs ont chuté drastiquement à 806 – 860 mg/Kg contre 536 mg/Kg de matière sèche respectivement pour les T3, T2, T1 et T0 à la deuxième récolte. En outre, la comparaison des effets des doses T1 à T0, T2 à T1 et T3 à T1 sur le KCl des fèves de cacao a donné des p-values respectives de 2,11%; 0,81% et 7,3 % (tableau 2).

**Tableau 2:-** P-values de l'effet de la dose d'engrais organique sur l'optimisation des concentrations moyennes du KCl des fèves de cacao des deux récoltes sur les huit sous-parcelles de l'étude.

Traitement	Diff	p-adj
T1-T0	0.0028375	0.0211841
T2-T0	-0.0004500	0.9450677
T3-T0	0.0005875	0.8885867
T2-T1	-0.0032875	0.0081159
T3-T1	-0.0022500	0.0733968
T3-T2	0.0010375	0.6000665

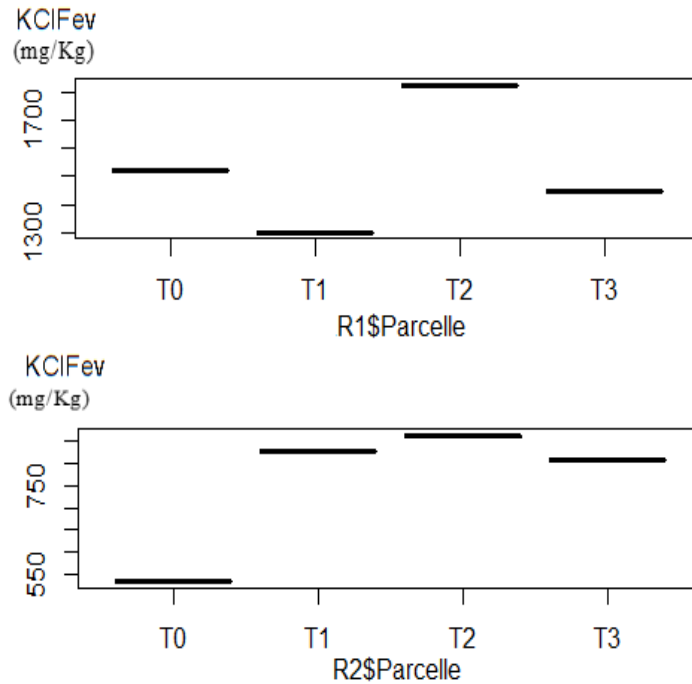
Après calcul, l'intervalle de confiance au seuil de 95% du KCl des fèves obtenues avec l'engrais organique est [1520,68 mg/Kg; 1527,46 mg/Kg]. Le centre de cet intervalle est 1524,07 mg/Kg ; valeur quasi identique au KCl moyen des fèves de cacao (1524 mg/Kg) produites en Afrique de l'Ouest (USDA, 2019). De fait, la distance de l'effet de la dose d'engrais est montrée à la figure 1.



**Figure 1:-** Distance de l'effet du traitement d'engrais organique Huvert à la valeur standard 1524 mg/Kg de matière sèche de l'USDA (2019), représentée par l'origine du repère.

On observe que le sol traité avec la dose T2 (1950 Kg/ha) d'engrais organique a la plus grande distance. Le second effet a été obtenu avec la dose T1 (1300 Kg/ha), tandis que la T3 (2600 Kg/ha) a révélé le plus faible effet sur la concentration de KCl des fèves de cacao.

L'effet de l'engrais organique est chiffré en milligramme de KCl par kilogramme de matière sèche de cacao sur la figure 2.



**Figure 2:** Concentrations moyennes de KCl des fèves de cacao produites sous fumure organique Huvert lors des deux récoltes principales (R1 et R2) en novembre et décembre 2018 à Koffikro, Duékoué.

### Discussion:-

Le chlorure de potassium moyen des fèves de cacao produites sous fumure organique Huvert est passé de 1524 mg/Kg à 1823,15 mg/Kg de matière sèche à la première récolte; soit une amélioration de 19,63% en une année d'application. Cette observation est conforme au KCl moyen du cacao depuis plusieurs décennies selon USDA (2019); vu que le témoin T0 de notre expérience a montré une moyenne de 1519,75 mg/Kg. En effet, les fèves produites en Afrique de l'Ouest sont carantes en potassium (moyenne de 1524 mg/Kg) selon ces auteurs. Cette déficience potassique est due à la pression anthropique sur les terres arables (Kassin et al. 2012; Saltini et al., 2013).

Celles-ci sont des complexes pédologiques aux spécificités physico-chimiques, biologiques et organiques très fragiles. Koko et al. (2008) ont noté des déficiences physiologiques et en rendements chez le cacaoyer dès que les teneurs en matières organiques et en potassium (K) par rapport aux bases échangeables (K, Ca, et Mg) des sols ont été inférieures à 3%. La fertilisation minérale exclusive n'est pas recommandée pour la correction de ces déficiences, même pour le P assimilable qui doit être supérieur à 40 mg/Kg, à cause de son effet d'enherbement, acidification et déstructuration physico-chimique et organique des sols (Lotodé et Jadin, 1981; Boli et Roose, 2000;

Railton et al. 2017). Ces déséquilibres et carences en matières organiques des sols sont présumément compensés par l'utilisation des fientes animales particulièrement au Sud-ouest de la Côte d'Ivoire (Ruf et Kiendré, 2017). Aussi, la pression parasitaire sur les vergers résulterait-elle de ces pratiques agricoles entre autres (Kébé et N'guessan, 2003). Le compostage constitue un moyen de juguler la charge parasitaire en amont. Mieux, le compost mature Huvert est composé des traditionnels constituants (N, P, K) mais est aussi amélioré en bases échangeables. N'doutoumou et al. (2019) ont observé une production optimale du cacaoyer dans ces conditions. De fait, la concentration du KCl des fèves de cacao a atteint 1823,15 mg/K au cours de nos expériences. Les deux autres doses ont eu un effet en deçà des moyennes habituelles. La dose T3 (2600 Kg/ha) semble avoir créé un déséquilibre nutritif, à défaut de corriger les carences en bases échangeables dû à une éventuelle sursaturation (Johnston, 2005; Koko et al. 2008). Cependant, les écarts entre leurs effets ont été assez faibles à la deuxième récolte; dépassant de loin celles-ci. En première approche, la dose T2 de notre fumure organique semble combler les besoins nutritionnels du cacaoyer (Lotodé et Jadin, 1981; Jadin et Vaast, 1990). Mais ces disponibilités nutritives nécessitent un suivi plus important en raison de leur sensibilité à leur exportation pour la production cacaoyère (Van Vliet et Giller, 2017). Cela est justifié par la chute générale et drastique du KCl des fèves, notamment à 861,25 mg/Kg de matière sèche pour la dose optimale

T2. Cette chute a varié entre 63%, 47% et 55% pour les traitements T1, T2 et T3 respectivement. Les faibles écarts entre les moyennes de ces traitements militent en faveur d'une réduction de la dégradation des propriétés physico-chimique des sols amendés en fumure organique de type Huvert.

### Conclusion:-

La fumure organique de type Huvert a permis de réduire la dégradation saisonnière des sols cacaoyers à Koffikro, dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Mais l'observation la plus importante concerne l'amélioration de la concentration moyenne du KCl des fèves de cacao. Une optimisation de cette constante a atteint 1823,15 mg/Kg de matière sèche, contre une moyenne habituelle de 1524 mg/Kg. Cette hausse du KCl (19,6%) soutient une basicité améliorée de ces fèves lors de nos expériences. De fait, la dose T2 (1900 Kg/ha) s'est révélée comme la dose optimale pour cette fumure. Des doses faibles (1300 Kg/ha) ou plus élevées (2600 Kg/ha) ont montré respectivement une carence ou un stress épidermique des cabosses matures dus à l'accumulation de potassium dans le péricarpe après analyses. Toutes fois, l'arborescence des plantes s'est trouvée améliorée, leur permettant de résister aux stress hydrique et environnemental saisonnier. Aussi, ne nous a-t-il pas été donné de noter des stress parasitaires lors de nos expériences. Cependant, il importe de modéliser l'utilisation des éléments nutritifs apportés par la fumure de type Huvert; afin de connaître la dynamique des parts utilisées par le sol et la plante dans l'optimisation d'ions comme le potassium.

### Remerciements: -

Nous adressons nos sincères remerciements à M. KOUAKOU Konan Victor pour la mise à disposition de sa cacaoyère pour le déroulement de nos travaux. Ainsi, les résultats générés ont pris sens avec l'implication du Dr Stanislas ASSOHOUN de l'UJLoG pour sa contribution à l'analyse statistique et numérique de nos données.

### Références bibliographiques: -

1. Ankush, Vikram Singh and Aniket Diwedi, 2019. Application of Sewage Sludge Influencing Soil Health and Crop Production. In Current Research. In Soil Fertility, vol. 1: 1-17. DOI: <https://doi.org/10.22271/ed.book.437>.
2. Assiri A. A., Yoro G. R., Deheuvels O., Kebe B. I., Keli Z. J., Adiko A. and Assa A. (2009). Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journ. of Animal & Plant Sciences* 2 (1): 55-56.
3. Ayanlaja S.A., Sanwo J.O., 1991. Management of soil organic matter in farming systems of the lowland humid tropic of West Africa. *Soil. Technol.*, 4: 265-279.
4. Bernal M. P., Paredes C., Sanchez-Monedero M. A. & Cegarra J., (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *BioresourceTechnology* 63: 91-99.
5. CAOBISCO/ECA/FCC (2015). Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements. End, M.J. and Dand, R. Editors, 104 p.
6. Dhaneshwar P., Arup S., Samrat A., Ritesh K. and Yadav V. K., (2019). Potassium Solubilisation in Soils: Mechanisms, Effect on Plant Growth and Future Prospects. In Current Research. In Soil Fertility, 1: 37-59. DOI: <https://doi.org/10.22271/ed.book.437>.
7. Dorin B. (2003). De la fève ivoirienne de cacao à la plaquette française de chocolat noir; transmission des prix, partage de la valeur et politique de concurrence Nord/Sud. Rapport CIRAD-AMIS 36-CP 1602, 62 p.
8. Dos Santos R. O., Franco L. B., Samuel A. S., George A. Sodr  G. A. and Agna A. M. (2017). Spatial variability of soil fertility and its relation with cocoa yield. *R. Bras. Eng. Agr c. Ambiental*, 21(2): 88-93. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n2p88-93.
9. Hatermink A. E. (2005). Nutrient Stocks, Nutrient Cycling, and Soil Changes in Cocoa Ecosystems: A Review. *Adv. In Agro.*, 86, 227-253. DOI: 10.1016/S0065-2113(05)86005-5.
10. Hii C. L., Law C. L. and Cloke M. (2008). Modelling of thin layer drying kinetics of cocoa beans during artificial and natural drying. *J. of Eng. Sci. and Tech.*, 3(1): 1-10.
11. Jadin P. and Vaast P., (1990). Estimation des besoins en engrais des sols à vocation cacaoyère dans le Littor  (Togo). *Caf  Cacao Th * 34: 179 - 188.
12. Johnston, A., 2005. Base saturation and basic cation saturation ratios-how do they fit in northern great plains soil analysis? In: News & Views. Potash & Phosphate Institute (PPI), Norcross: 1- 4.
13. Kassin K. E., Koko L. K., N'goran K. E., Yao-Kouame A. and Yoro G. R. (2012). Sols favorables à la cacaoculture au centre-ouest de la Côte d'Ivoire dans un contexte d'ass chement climatique. *Int. J. Biol. and Chem. Sci.* 6(3): 1148-1157.

14. Kassin K. E., Koko L. K., N'goran K. E., Yao-Kouame A. and Yoro G. R. (2012). Sols favorables à la cacaoculture au centre-ouest de la Côte d'Ivoire dans un contexte d'assèchement climatique. *Int. J. Bio. and Chem. Sci.* 6(3): 1148-1157.
15. Kébé B. I. and N'guessan, K. F. (2003). Rapport de la mission de prospection du swollen shoot. 11 – 13 Septembre 2003. C.N.R.A – Divo, 7 p.
16. Koko L. K., Yoro R. G., N'Goran K. and Assa A. (2008). Evaluation de la fertilité des sols sous cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agr. Afri.* 20(1): 81-95.
17. Koua S. H., Coulibaly N. and Wam A. (2018). Caractérisation des vergers et des maladies de cacao de Côte d'Ivoire: cas des départements d'Abengourou, Divo et Soubré. *J. of Ani. & Pl. Sci.*, 35 (3): 5706-5714.
18. Kouadio K. P., Yoboué K. E., Touré N., Beugré C. M., Aka K. F., Kouakou K. J. and Yao-Kouamé A. Effet des téguments de fèves de cacao sur la fertilité chimique d'un ferralsol et quelques paramètres de croissance du manioc, à Ahoué, Sud-Est Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.* 121: 12144-12156.
19. Lotodé R. et Jadin P. (1981). Calcul des besoins en engrais des cacaoyers. *Café cacao thé*, 25(1), 24 p.
20. Maboune A. T. S., Tchinnmegni F. I., Mounjouenpou P., Tchana K. E. and Temgoua E., (2017). Valorisation of Cocoa Pod's Shells Production in the Area of South-Central Cameroon by Composting with Addition of *Tithonia Diversifolia*. *Int. J. of Res. in Pharm. and Biosci.*, 4(4): 32-42.
21. Migdal C. and Serres M. (2011). Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *Med. Sci.* 27(4): 405-412. DOI: 10.1051/medsci/2011274017.
22. Mossu G. (1990). Le cacaoyer. Collection le technicien d'Agriculture Tropicale, Maisonneuve et Larose, 82 p.
23. Ndoutoumou P. N., Ndong N. A., Anda O. C. C., Midoumbou N. P. F., Ognalaga M. and Missang E. C., (2019). Régénération du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) sur un substrat à base de compost de *Jatropha curcas* L. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13(2): 1043-1053.
24. Nougou A. L. I., Djedjro C. A., Brou K. and Assidjo E. N. (2015). Étude du séchage microonde par intermittence sur la qualité physicochimique des fèves de cacao. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 26: 18 – 35.
25. Ruf F. and Kiendré J. 2017. Innovations agro-écologiques villageoises. Impact de la fiente de poulet dans les cacaoyères de Côte d'Ivoire. *Projet « Innovations Fumures organiques » et résilience au changement climatique dans les cacaoyères de Côte d'Ivoire*, Rapport 1<sup>er</sup> semestre 2017, 30 p.
26. Saltini R., Akkerman R. and Frosch S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29(1): 167–187. DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.05.054.
27. Saltini R., and Akkerman, R. (2012). Testing improvements in the chocolate traceability system: Impact on product recalls and production efficiency. *Food Control*, 23(1), 221-226. DOI: 10.1016/j.foodcont.2011.07.015.
28. Tahi G. M., Kébé B. I., N'Goran J. A. K., Sangaré A., Mondeil F., Cilas C. and Eskes A. B. (2006a). Expected selection efficiency for resistance to cacao pod rot (*Phytophthora palmivora*) comparing leaf disc inoculations with field observations. *Euphytica*, 149: 35-44. DOI: 10.1007/s10681-005-9052-9.
29. USDA (2019). Cocoa, dry powder, unsweetened, SR Legacy, FDC ID 169593, consulté le 02/09/19.
30. Van Vliet J.A. et Giller K. E., (2017). Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. *Adv. in Agro*, 141: 185-270. DOI: 10.1016/bs.agron.2016.10.017.