

## Effets de l'engrais organique «*Bokashi*» sur la productivité des cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) à Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

### [ Effects of organic fertilizer «*Bokashi*» on the productivity of cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) in Daloa (central-west of Côte d'Ivoire) ]

Konan Jeanne Armelle Manhounou, Konate Zoumana, Kouadio Koffi Hypolith, Fofana Inza, and Bakayoko Sidiky

Département d'Agropédologie, Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, Unité de Formation et de Recherche en Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Most cocoa growing soils currently have a low level of chemical fertility. This does not make it possible to optimize the development of cocoa trees and ensure sustainable cocoa production. The objective of this study was to improve the fertility of soils under cocoa trees and cocoa production in Côte d'Ivoire. The study was conducted using a completely randomized Fisher block design, with three repetitions over two years. The organic fertilizer «*Bokashi*» was applied in a crown around the cocoa trees at doses of 0, 2, 4 and 6 kg per year, corresponding respectively to treatments T0 (control), T1, T2 and T3. Soil samples were taken before and after the addition of *Bokashi* to assess the initial and final fertility of the soil. The average numbers of wilted cherelles, healthy pods, rotten pods, weight of fresh beans and actual and potential yields of cocoa trees fertilized with *Bokashi* were evaluated and compared to those of the control treatment. The collected data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SAS 9.4 software. The results showed that the addition of *Bokashi* improves soil fertility and the productivity of cocoa trees. The application of *Bokashi* also made it possible to reduce the levels of certain elements in the soil such as aluminum, which in very high quantities can be toxic for most plants. The highest actual (1351.05 kg/ha) and potential (1846.8 kg/ha) yields having been obtained with the dose of 2 kg of *Bokashi* per year and per cocoa tree therefore constitute the optimal dose allowing improve the chemical fertility of the soil and the productivity of cocoa trees.

**KEYWORDS:** *Bokashi*, cocoa tree (*Theobroma cacao*), fertility, soils under cocoa trees.

**RESUME:** Les sols de cacaoculture sont actuellement pour la plupart dotés d'un faible niveau de fertilité chimique. Ce qui ne permet pas d'optimiser le développement des cacaoyers et d'assurer durablement la production de cacao. L'objectif de cette étude était d'améliorer la fertilité des sols sous cacaoyers et la production du cacao en Côte d'Ivoire. L'étude a été menée selon un dispositif en blocs de Fisher complètement randomisés, avec trois répétitions durant deux ans. Le fertilisant organique « *Bokashi* » a été appliqué en couronne autour des cacaoyers aux doses de 0, 2, 4 et 6 kg par an, correspondant respectivement aux traitements T0 (témoin), T1, T2 et T3. Des échantillons de sols ont été prélevés avant et après l'apport du *Bokashi* pour évaluer la fertilité initiale et finale du sol. Les nombres moyens de chérelles wiltées, de cabosses saines, cabosses pourries, poids des fèves fraîches et rendements réel et potentiel des cacaoyers fertilisés avec le *Bokashi* ont été évalués et comparés à ceux du traitement témoin. Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SAS 9.4. Les résultats ont montré que l'apport du *Bokashi* améliore la fertilité des sols et la productivité des cacaoyers. L'application du *Bokashi* a permis aussi de réduire dans le sol, les teneurs en certains éléments tel l'aluminium, qui en quantité très élevée peut être toxique pour la plupart des plantes. Les rendements réel (1351,05 kg/ha) et potentiel (1846,8 kg/ha) les plus élevés ayant été obtenus avec la dose de 2 kg de *Bokashi* par an et par cacaoyer constituent de ce fait, la dose optimale permettant d'améliorer la fertilité chimique du sol et la productivité des cacaoyers.

**MOTS-CLEFS:** *Bokashi*, cacaoyer (*Theobroma cacao*), fertilité, sols sous cacaoyers.

## 1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire, depuis son indépendance, a fondé son essor économique sur le développement de l'agriculture. Les actions entreprises dans ce secteur, en particulier dans le domaine des cultures industrielles, a permis d'avoir un taux de croissance soutenu [1]. C'est ainsi que depuis plus de quatre décennies, la Côte d'Ivoire occupe le rang de premier producteur mondial de fèves de cacao et assure plus de 40% de

l'offre mondiale [1]. Le secteur du cacao constitue l'un des principaux moteurs du développement économique et social de la Côte d'Ivoire. En effet, la cacaoculture occupe une population agricole de plus d'un million de planteurs et environ trois millions de personnes vivent des revenus du cacao [2]. En outre, elle procure de nombreux emplois dans les secteurs secondaire et tertiaire [1] et représente environ 40% des recettes d'exportation et contribuant à plus de 15% du PIB (Produit Intérieur Brut) [3]. Cependant, les plantations existantes qui ont été à la base des performances de la cacaoculture ivoirienne sont sénescentes [4]. Cette sénescence est accentuée par la baisse de la fertilité des sols [3], l'évolution défavorable du climat auxquels s'ajoute la maladie du Swollen shoot du cacaoyer [5], occasionnant des faibles rendements moyens annuels compris entre 260 et 560 kg/ha [6]. Dans ce contexte, la production ivoirienne de cacao pourrait baisser dans les années à venir.

Pour améliorer la fertilité des sols et maintenir la production ivoirienne de cacao, les engrais chimiques ont été proposés comme une des solutions parmi tant d'autres. Cependant, leurs coûts élevés les rendent presque inaccessibles aux petits producteurs. De plus, leur utilisation continue et excessive pollue l'environnement. Dans ce contexte, l'utilisation des fertilisants organiques tels que le *Bokashi* constituerait un bon substitut aux engrais chimiques, permettant d'améliorer la productivité des cacaoyers. La présente étude a donc été menée en vue d'aider les producteurs à améliorer la production du cacao en Côte d'Ivoire.

## 2 CARACTERISTIQUES DE LA ZONE ET DU SITE D'ETUDE

L'étude a été réalisée à Kouadiokro, un village du département de Daloa (Figure 1), chef-lieu de la région du Haut-Sassandra. Daloa est située au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire entre 6°30' et 8° de latitude Nord et entre 5° et 8° de longitude Ouest [7]. La région de Daloa est caractérisée par deux saisons sèches et humides alternant avec des températures variant de 24,65 à 27,75 °C en moyenne [8]. Le mois de juin représente le pic de la grande saison pluvieuse et celui de septembre le pic de la petite saison des pluies. Le paysage forestier de la région de Daloa varie progressivement de la forêt dense humide semi-décidue à une forêt défrichée mésophile. L'exploitation non contrôlée des essences forestières ont notamment fait reculer les limites de cette forêt [9].

Les sols sont en général ferrallitiques moyennement lessivés (ou désaturés) et présentant de bonnes aptitudes agricoles pour tous les types de culture [10].

Le réseau hydrographique de la région est dense et dominé par le fleuve Sassandra avec de grandes plaines alluviales propices aux cultures légumières. Le relief y est peu contrasté et peu varié et dominé par des plateaux de 200 à 400 m d'altitude.

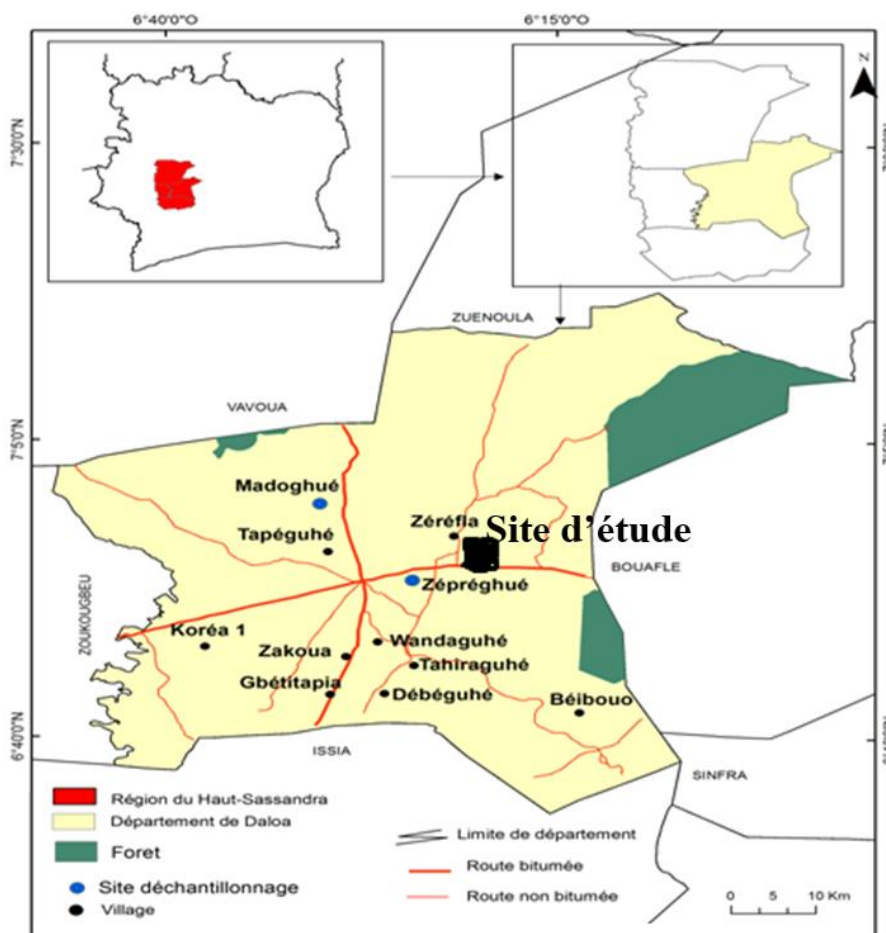


Fig. 1. Carte de localisation de la zone et du site de l'étude

### 3 MATERIEL ET METHODES

#### 3.1 MATERIEL

##### 3.1.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est constitué de cacaoyers adultes en phase de production issus de matériel végétal tout venant.

##### 3.1.2 MATÉRIEL FERTILISANT

Le matériel fertilisant utilisé est constitué par l'engrais organique '*Bokashi*' fabriqué par la structure « BIOSAVE-CI » et commercialisé sous le nom « MOAYE » sous forme d'engrais organique solide (Figure 2). Le *Bokashi* est un engrais organique obtenu par la dégradation aérobie ou anaérobie de matériaux d'origine végétale et/ou animale avec un inoculant microbien ayant un degré d'humification élevé.



Fig. 2. Fertilisants utilisés pour l'étude

##### 3.1.3 MATÉRIEL ÉDAPHIQUE

Le matériel édaphique est constitué par les échantillons de sol prélevés sous les cacaoyers adultes en phase de production (10 à 15 ans) dans les 40 premiers centimètres du sol. Ces échantillons ont servi à déterminer les propriétés physico-chimiques de ces sols.

##### 3.1.4 MATÉRIEL TECHNIQUE

Pour les travaux sur le terrain, un certain nombre de matériel technique a été utilisé, à savoir:

- Un code Munsell, pour la détermination des couleurs des horizons;
- Un tamis de maille 2 mm pour le tamisage des échantillons;
- Des scies, pour couper les gourmands et les branches mortes;
- Des sécateurs, pour éliminer les plantes parasites (*Ioranthus*);
- Des pioches et des pelles, pour l'ouverture des fosses;
- Une balance Roberval, pour peser les doses de fertilisants;
- Un mètre ruban pour la mesure des épaisseurs des horizons;
- Un couteau, pour la délimitation des horizons.

#### 3.2 METHODES

##### 3.2.1 CHOIX DES PARCELLES ET DES CACAoyERS

Les parcelles de cacaoyers ont été choisies sur la base des travaux antérieurs des producteurs. Les parcelles ayant atteint leur plateau de production (entre 10 et 15 ans de production) et qui n'ont pas été fertilisées et traitées avec des herbicides durant les trois dernières années de productions ont été retenues pour l'étude. Seuls les cacaoyers en bonne santé ont été choisis et fertilisés, c'est-à-dire ceux portant des fleurs et des chérelles. Cependant, tous les cacaoyers qui présentaient des attaques sévères de foreurs de tiges n'ont pas été retenus pour l'étude.

### 3.2.2 ENTRETIENS DES CACAOYERS

L'entretien des parcelles a consisté à la taille d'entretien, la récolte sanitaire des cacaoyers avant l'application des fertilisants et les traitements phytosanitaires.

La taille d'entretien a consisté à éliminer des cacaoyers les gourmands, les branches desséchées qui constituent des nids d'insectes et à supprimer les plantes parasites (*Loranthus*) (Figure 3). La récolte sanitaire a consisté à débarrasser les cacaoyers de toutes les cabosses desséchées ou pourries qui constituent des sources de propagation des maladies.

Les traitements phytosanitaires effectués consistaient à lutter contre les insectes et les maladies afin d'obtenir des résultats satisfaisants.



A : Elimination des branches desséchées



B : *Loranthus* éliminé du cacaoyer

Fig. 3. Opérations d'entretiens des cacaoyers

### 3.2.3 DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DES SOLS

La description morphologique des sols a consisté à l'ouverture de 3 fosses (1 m x 1 m x 1,2 m) à raison d'une (1) fosse par bloc en vue d'apprécier le niveau de fertilité physique des sols sous cacaoyers. La profondeur des fosses plafonnée à 120 cm variait en fonction du niveau de rencontre de contraintes infranchissables. Cette description morphologique des sols a été faite selon la méthode de [11] à partir d'observations macroscopiques dans les fosses pédologiques. Les horizons ont été décrits selon les caractères morphologiques du sol suivants: profondeur, couleur, texture, structure, présence d'éléments grossiers, porosité, humidité, compacité, présence de racines, matière organique, limite et transition entre les horizons et le drainage interne.

### 3.2.4 ECHANTILLONNAGE DES SOLS AVANT L'APPORT DU BOKASHI

Les prélèvements d'échantillons de sols ont été effectués à l'aide de tarière dans l'horizon 0-40 cm de sols dans les cacaoyères choisies avant l'application des fertilisants pour évaluer la fertilité chimique initiale des sols. Pour ce faire, 5 carottes de terre ont été prélevées à des points choisis au hasard puis mélangés en vue de constituer un seul échantillon composite par bloc. Les échantillons composites de sols d'environ 500 grammes chacun ainsi prélevés, ont été séchés à l'air ambiant, puis tamisés à l'aide de tamis à mailles de 2 mm de diamètre et conservés dans des sachets en plastiques puis étiquetés.

### 3.2.5 TRAITEMENTS APPLIQUÉS

Les traitements appliqués étaient composés d'un traitement témoin T0 (sans apport de Bokashi) et de 3 doses de *Bokashi* représentées par les traitements T1, T2, T3. L'essai comportait au total 4 traitements, à savoir:

- **T0** (témoin): sans apport de *Bokashi*;
- **T1**: 2 kg de *Bokashi*/cacaoyer (1 kg/cacaoyer en Mars-Avril et 1 kg/cacaoyer en Août-Septembre);
- **T2**: 4 kg de *Bokashi*/cacaoyer (2 kg/cacaoyer en Mars-Avril et 2 kg/cacaoyer en Août-Septembre);
- **T3**: 6 kg de *Bokashi*/cacaoyer (3 kg/cacaoyer en Mars-Avril et 3 kg/cacaoyer en Août-Septembre).

### 3.2.6 MODES D'APPLICATION DES FERTILISANTS

Les doses de *Bokashi* ont été apportées en surface aux pieds des cacaoyers en couronne à 60 cm de diamètre autour des plants (Figure 4), pendant la saison des pluies en deux apports par an (Mars-Avril et Septembre-Octobre). Avant l'épandage du *Bokashi*, les feuilles mortes de

cacaoyers ont été dégagées du pied du cacaoyer pour permettre que les fertilisants soient en contact avec le sol. Après, l'épandage, les fertilisants ont été refermées légèrement avec les feuilles mortes pour réduire les impacts des gouttes de pluie sur les fertilisants.

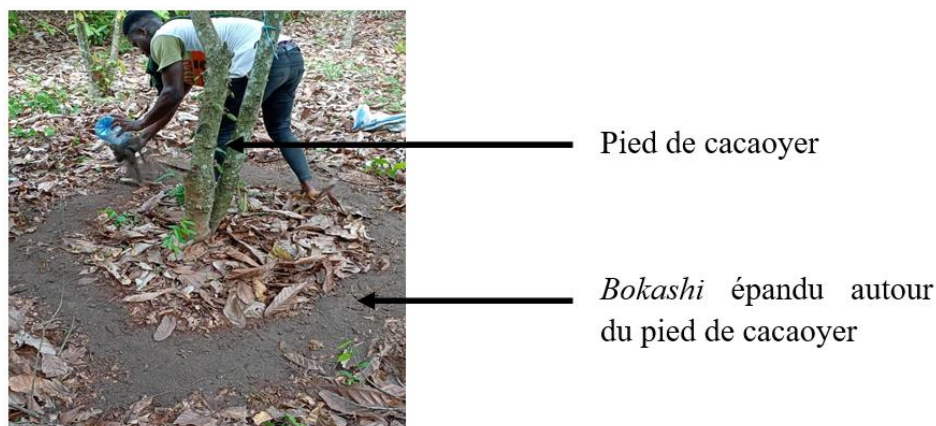


Fig. 4. *Épandage du Bokashi en couronne autour du pied de cacaoyer*

### 3.2.7 MARQUAGE ET ÉTIQUETAGE DES CACAOYERS DE LA PARCELLE UTILE

Le marquage et l'étiquetage ont consisté à choisir au sein de chaque traitement ou parcelle élémentaire, 20 cacaoyers, à les marquer avec de la peinture et à leur attribuer des numéros (numéros du bloc et du cacaoyer) pour une meilleure reconnaissance au cours des relevés. Les étiquettes ont été confectionnées en fer et accrochées à l'aide d'un fil en fer sur les 20 cacaoyers retenus au niveau de la parcelle utile. Une fois que les informations écrites sur les étiquettes commençaient à s'effacer, elles étaient automatiquement renforcées en les réécrivant de nouveau.

### 3.2.8 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'essai a été conduit durant deux années dans une cacaoyère en milieu paysan sur une superficie d'un hectare et demi (5000 m<sup>2</sup>) selon un dispositif expérimental en blocs de Fisher. Les traitements ont été répétés 3 fois et repartis de manière aléatoire dans les blocs disposés parallèlement les uns des autres suivant la toposéquence. Chaque bloc était constitué de 4 traitements ou parcelles élémentaires. Au total, l'essai comprenait 12 parcelles élémentaires ou traitements (Figure 5).

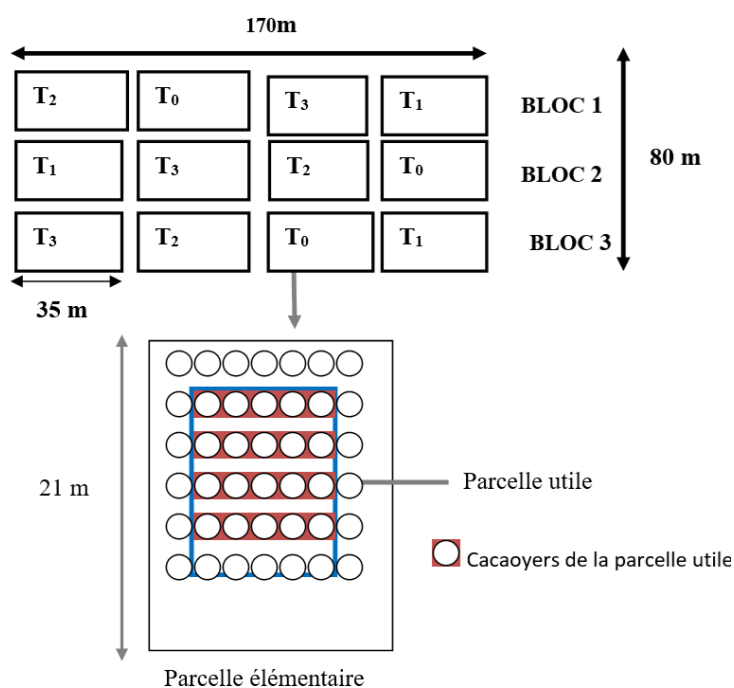


Fig. 5. *Dispositif expérimental et disposition des traitements*

### 3.2.9 COLLECTE ET ÉVALUATION DES PARAMÈTRES AGRONOMIQUES DES CACAOYERS

Sur l'ensemble des 12 parcelles élémentaires, les mesures ont été effectuées sur 20 plants de cacaoyers pris au centre de la parcelle élémentaire en laissant les plants de bordure en vue d'éviter les effets de bordure. Ces mesures ont débuté au troisième mois et ont concerné par traitement:

#### 3.2.9.1 NOMBRES MOYENS DE CHÉRELLES SAINES ET DE CHÉRELLES WILTÉS

Les nombres moyens de chérelles saines et de chérelles wiltés ont été déterminés par un comptage régulier de chérelles saines et de chérelles wiltés sur tous les cacaoyers de la parcelle utile de chaque traitement à intervalles réguliers d'un mois. Les chérelles sont l'ensemble des fruits dont la taille est supérieure à 10 millimètres et les chérelles wiltées étant l'ensemble des chérelles, n'ayant pas atteint la maturité physiologique et qui ont flétri ou qui présentent des signes de flétrissement (jaunissement ou recroquevillement). Après chaque comptage, les cacaoyers ont été débarrassés de toutes les chérelles wiltés.

#### 3.2.9.2 NOMBRE MOYEN DE CABOSSES SAINES ET DE CABOSSES POURRIES

Les nombres moyens de cabosses saines et de cabosses pourries ont été déterminés par le comptage régulier à intervalle d'un mois du nombre total de cabosses saines et de cabosses pourries sur chaque cacaoyer de la parcelle utile. Les cabosses saines étaient les fruits mûrs qui ne présentaient ni symptômes de pathologie ou qui n'ont pas été rongés. Les cabosses pourries sont des cabosses présentant des symptômes de pourritures brune ou noire. Après chaque comptage, les cacaoyers sont également débarrassés de toutes les cabosses pourries;

#### 3.2.9.3 POIDS MOYEN DES 100 FÈVES FRAÎCHES DE CACAO

Le poids moyen des 100 fèves fraîches de cacao a consisté à mélanger les fèves de 3 cabosses récoltées par parcelle utile par mois et à compter 100 fèves et les peser pour en déterminer les poids.

#### 3.2.9.4 RENDEMENTS RÉEL ET POTENTIEL DES CACAOYERS

Cent huit (108) cabosses ont été prélevées de manière aléatoire dans les 12 parcelles élémentaires, à raison de trois cabosses par traitement ou parcelle élémentaire. Ces cabosses ont été pesées puis cassées. Les fèves fraîches ont été comptées et pesées après avoir éliminé les fèves plates.

Un coefficient de transformation a été appliqué sur le poids frais des fèves afin d'avoir la valeur du poids sec. L'estimation des rendements potentiel et réel en cacao marchand (en kg) après l'apport des fertilisants a été faite suivant les équations suivantes [12]:

$$Rd_{tr\acute{e}el} = (PMF * 0,35 * nCabsain * 1333 * 0,001) \quad (1)$$

$$Rd_{tpotenti\acute{e}l} = (PMF * 0,35 * nCabtotal * 1333 * 0,001) \quad (2)$$

*Rd<sub>tréel</sub>* = Rendement;

*Rd<sub>tpotentiéel</sub>* = Rendement potentiel;

*PMF* = Poids moyen de fèves fraîches par cabosse;

*0,35* = Coefficient de transformation de poids de fèves fraîches en poids sec de cacao marchand;

*nCabsain* = Nombre de cabosses saines;

*1333* = Nombre de pieds de cacao à l'hectare;

*0,001* = Conversion d'un gramme en kilogramme.

### 3.2.10 COLLECTE ET PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS DE SOLS À LA FIN DE L'ESSAI

Pour déterminer la fertilité finale des sols sous cacaoyers après l'apport des fertilisants en fin d'essai, les feuilles mortes de cacaoyers qui servaient à couvrir les fertilisants au pied des cacaoyers ont été dégagées légèrement et des échantillons ont également été pris dans la partie où les fertilisants avaient été appliqués dans l'horizon 0-40 cm de profondeur. Les échantillons prélevés sous des cacaoyers choisis au hasard ont été également mélangés en vue de constituer un seul échantillon composite par traitement. Les échantillons composites de sols d'environ 500 grammes ont été séchés à l'air ambiant, puis tamisés à l'aide de tamis à mailles de 2 mm de diamètre et conservés dans des sachets en plastiques puis étiquetés.

### 3.2.11 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUE DES ÉCHANTILLONS DE SOLS AU LABORATOIRE

Les échantillons composites de sols prélevés au début et à la fin de l'essai après l'apport des fertilisants ont été analysés au laboratoire d'analyse des végétaux et des sols (LAVESO) de l'Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) de Yamoussoukro. L'analyse physique ou mécanique a porté sur la granulométrie, déterminée par la méthode de tamisage pour les éléments grossiers et par densimétrie à la pipette de Robinson pour les éléments fins. En ce qui concerne l'analyse chimique:

- Le carbone organique (C) du sol a été 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 de Kjeldhal basée sur l'oxydation par voie humide;
- La teneur en phosphore total a été évaluée 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, et Mg) ont été déterminées à l'aide de l'acétate d'ammonium;
- La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée par la méthode de saturation au NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et le potassium à l'aide de photomètre à flamme;
- Le calcium et le magnésium ont été dosés par spectrophotomètre à flamme d'absorption atomique;
- Le pH (eau) a été déterminé à l'aide du pH-mètre après addition de 50ml d'eau ionisée à 20g de sol, suivi d'agitation et de décantation pendant 30 minutes.

### 3.2.12 TRAITEMENTS STATISTIQUES DES DONNÉES

L'analyse des données a été faite à l'aide de méthodes de statistique descriptive et d'analyses de variances. Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SAS 9.4. Les moyennes ont été séparées au moyen du test de Newman et Keuls au seuil de probabilité de 5%.

## 4 RESULTATS

### 4.1 PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL AVANT L'APPORT DE *BOKASHI*

Les propriétés physico-chimiques du sol servant de substrat de culture en pépinière déterminées au laboratoire ont été comparées aux valeurs normatives de référence telles qu'indiquées dans le tableau I ci-dessous. Il est ressorti de l'analyse du sol que le pH est faible (pH = 5,3 < 6,6 -7,3) avec un rapport C/N élevé (C/N = 14,63 > 9-12). Les teneurs en azote, carbone et le taux de matière organique du sol sont également très faibles par rapport aux valeurs normatives de référence (MO = 2,12% < 9,6-68,8%; C= 1,17% < 5,6-10%; N= 0,08 % < 0,3-0,6%). Les teneurs en phosphore assimilable (Pass. = 30,5 ppm < 50-100 ppm) ainsi que la capacité d'échange cationique (CEC= 7,69 cmol.kg<sup>-1</sup> < 10 cmol.kg<sup>-1</sup>) sont très faibles par rapport aux valeurs normatives de référence.

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques des sols sous cacaoyer

Paramètres	Teneurs initiales du substrat sol	*Valeurs normatives
pHeau	5,3	6,6 -7,3
MO (%)	2,12	9,6-68,8
C (%)	1,17	5,6-10
N (%)	0,08	0,3-0,6
C/N	14,63	9-12
Pass (ppm)	30,5	50-100
CEC (cmol.kg <sup>-1</sup> )	8,31	10-15

\*Valeurs normatives de références [13].

### 4.2 EFFET DES DOSES DE *BOKASHI* SUR L'ÉVOLUTION DES PARAMÈTRES DE PRODUCTION DU CACAoyer

#### 4.2.1 ÉVOLUTION DES CHÉRELLES WILTÉES

L'analyse des variances a montré que l'apport des doses du *Bokashi* a entraîné une différence hautement significative ( $P = 0,0052$ ) sur l'évolution du nombre moyen de chérelles wiltées par cacaoyer (Tableau II). Les traitements à base de *Bokashi* ont obtenu les nombres de chérelles wiltées les plus élevés par rapport au traitement témoin T0. Les nombres de chérelles wiltées les plus élevés sont obtenus par les

traitements T2 (30,66 chérelles wiltées) et T3 (32,83 chérelles wiltées). Le plus faible nombre de chérelles wiltées a été observé au niveau du traitement témoin T0. Le traitement T1 (25,46 chérelles wiltées) a obtenu le nombre intermédiaire de chérelles wiltées.

#### 4.2.2 EVOLUTION DU NOMBRE MOYEN DE CABOSSES PAR CACAoyer

L'apport des doses du *Bokashi* a eu un effet significatif ( $P = 0,0025$ ) sur l'évolution du nombre moyen de cabosses par cacaoyer (Tableau II). Les traitements T2 (19,96 cabosses) et T3 (18,8 cabosses) ont obtenu les nombres moyens de cabosses par cacaoyer les plus élevés. Les plus faibles nombres étant obtenus par les traitements T0 (14,36) et T1 (14,36).

#### 4.2.3 EVOLUTION DU NOMBRE MOYEN DE CABOSSES SAINES ET DE CABOSSES POURRIES PAR CACAoyer

L'analyse des variances a montré que l'apport des doses du *Bokashi* a entraîné une différence hautement significative sur l'évolution du nombre moyen de cabosses saines ( $P = 0,0045$ ) et de cabosses pourries ( $P = 0,006$ ) par cacaoyer (Tableau II). Le nombre de cabosses saines par cacaoyer le plus élevé a été obtenu par le traitement T2 (14,50 cabosses saines par cacaoyer) et les plus faibles ont été observés au niveau des autres traitements (T3, T1 et T0). Par contre, au niveau des nombres moyens de cabosses pourries par cacaoyer, c'est le traitement T2 (1,63 cabosses pourries) qui a obtenu le faible nombre moyen de cabosses pourries par cacaoyers. Les plus grands nombres moyens ont été obtenus par traitements T0 (5,86) et T1 (5,56) et le nombre intermédiaire, par le traitement T3 (3,56).

**Tableau 2.** Evolution du nombre moyen de chérelles wiltées, de cabosses, de cabosses saines et de cabosses pourries par cacaoyer en fonction des doses de *Bokashi*

Traitements	Paramètres de production du cacaoyer			
	Chérelles wiltées	Nombre de cabosses	Nombre de cabosses saines	Nombre de cabosses pourries
T0 (0 kg de <i>Bokashi</i> )	21,4 b ± 3,64	14,36 b ± 2,82	12,73 ab ± 2,53	5,86 b ± 0,40
T1 (2 kg de <i>Bokashi</i> )	25,46 ab ± 4,73	14,36 b ± 1,59	10,66 b ± 1,28	5,56 b ± 0,74
T2 (4 kg de <i>Bokashi</i> )	30,66 a ± 5,06	19,96 a ± 2,32	14,50 a ± 1,83	1,63 a ± 1,25
T3 (6 kg de <i>Bokashi</i> )	32,83 a ± 9,64	18,8 a ± 2,27	12,93 ab ± 1,53	3,56 ab ± 1,22
Coefficient de variation	42,6	33,66	35	27,38
Probabilités ( $P$ )	0,0052	0,0025	0,0045	0,006

#### 4.2.4 EVOLUTION DU POIDS MOYEN DES FÈVES FRAÎCHES PAR CABOSSE

L'apport des doses du *Bokashi* a eu un effet significatif ( $P = 0,0012$ ) sur l'évolution du poids moyen de fèves fraîches par cabosse (Tableau III). Les poids moyens de fèves fraîches par cabosse obtenus avec le *Bokashi* ont été plus élevés que ceux du traitement T0 (sans apport de *Bokashi*). Le poids moyen le plus élevé a été observé au niveau du traitement T2 (197,99 g) et le plus faible poids moyen étant obtenu par le traitement T0 (148,59 g). Les traitements T1 (173,29 g de fèves fraîches par cabosse) et T3 (160,26 g de fèves fraîches par cabosse) ont obtenus les poids moyens intermédiaires.

#### 4.2.5 EVOLUTION DES RENDEMENTS RÉEL ET POTENTIEL

L'apport des doses du *Bokashi* a eu un effet significatif sur l'évolution du rendement moyen réel ( $P = 0,0035$ ) et le rendement moyen potentiel ( $P = 0,0014$ ) des cacaoyers (Tableau III). Quels que soient les rendements moyens (réel ou potentiel), c'est le traitement T2 qui a obtenu les rendements les plus élevés. Les rendements obtenus par les traitements ayant reçu le *Bokashi* sont plus élevés que celui du traitement T0. Cependant, c'est le traitement T2 qui a obtenu les rendements les plus élevés. En effet, le rendement réel moyen était de 1351,05 kg/ha et le rendement potentiel de 1846,8 kg/ha pour le traitement T2. Les rendements intermédiaires sont obtenus par les traitements T1 et T3.

**Tableau 3.** Evolution du poids des fèves fraîches, rendement réel moyen et rendement moyen potentiel en fonction des doses de *Bokashi*

Traitements	Paramètres de production du cacaoyer		
	Poids des fèves fraîches par cabosse (g)	Rendement réel moyen (kg/ha)	Rendement potentiel moyen (kg/ha)
T0 (0 kg de <i>Bokashi</i> )	148,59 c ± 9,74	856,02 b ± 199,31	987,7 b ± 218,91
T1 (2 kg de <i>Bokashi</i> )	173,29 ab ± 2,15	880 ab ± 101,92	1160,4 ab ± 130,86
T2 (4 kg de <i>Bokashi</i> )	197,99 a ± 3,35	1351,05 a ± 177,04	1846,8 a ± 218,43
T3 (6 kg de <i>Bokashi</i> )	160,26 b ± 3,85	938,07 ab ± 123,81	1430,2 ab ± 182,74
Coefficient de variation	18,05	38,34	36,03
Probabilités ( $P$ )	0,0012	0,0035	0,0014



## 5 DISCUSSION

La faible évolution des paramètres de production des cacaoyers au niveau du traitement T0 (sans apport de *Bokashi*) pourrait s'expliquer par l'état actuel des sols sous cacaoyers caractérisés en général, par une baisse accrue de leur fertilité et une forte acidité [14]. Ce qui réduit fortement la productivité des plantations et leur rendement [15]. C'est pour cette raison que [16] a affirmé que la relance de la filière cacao nécessite de se pencher sur la fertilité chimique des sols.

Les nombres élevés de chérelles wiltées avec les traitements à base de *Bokashi* contrairement au traitement témoin T0 seraient liées à l'enrichissement du sol par l'apport du *Bokashi* en éléments nutritifs nécessaires à la croissance et à la production des cacaoyers. Ces nombres élevés de chérelles wiltées confirme une forte aptitude à la production des cacaoyers ayant reçu des apports de *Bokashi*. En effet, selon [12], les chérelles wiltées interviennent comme facteur de régulation pour des arbres très chargés en fruits. C'est ce qui justifie le taux élevé de chérelles wiltées avec les traitements à fortes doses de *Bokashi*.

Les augmentations des paramètres de production des cacaoyers obtenues sur les sols fertilisés seraient liées à la composition du *Bokashi* qui est constitué en partie par les résidus d'écabossage de cacao riches en phosphore et en potassium, éléments indispensables au développement des cacaoyers. En effet, selon [12], 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. Selon [17], le phosphore contribue à l'accroissement de l'intensité de floraison de cacaoyers et le potassium, au développement des chérelles. Aussi, ces valeurs élevées s'expliqueraient-elles par l'apport au sol du *Bokashi* qui, déjà enrichi aux microorganismes, va créer une bonne porosité et une meilleure aération du sol [18]. Ce qui permettrait donc une meilleure nutrition minérale et par conséquent, une bonne production des cacaoyers ayant reçu du *Bokashi* [19]. Cela se confirme par le nombre moyen de cabosses saines produites par cacaoyer et des rendements importants des sols fertilisés avec le *Bokashi*. Selon [20], les cabosses saines constituent un facteur important dans la détermination du rendement.

Cependant, les meilleurs paramètres étant obtenus par le traitement T2 pourraient s'expliquer par le fait que les éléments minéraux apportés par la dose de 2 kg de *Bokashi* par cacaoyer et par plant ont été suffisants pour assurer les besoins nutritionnels essentiels des plants permettant une bonne production du cacaoyer. Cette dose serait donc suffisante pour créer des meilleures conditions d'habitat pour la faune du sol [21] pour décomposer et minéraliser les matières organiques contenues dans le *Bokashi* en vue d'enrichir le sol.

Par contre, les faibles évolutions des paramètres de production avec le traitement à forte dose de *Bokashi*, seraient liées à un effet dépressif de cette dose qui constituerait un facteur limitant pour la production du cacaoyer. C'est pour cette raison que [22], préconise que la fertilisation doit être mesurée et limitée pour éviter l'excès d'éléments nutritifs, qui pourrait finalement être inutilisables et devenir toxiques pour les plants de cacaoyers. C'est qui a amené [12] a affirmé que la durabilité de la production cacaoyère en Côte d'Ivoire doit passer par une fertilisation raisonnée.

## 6 CONCLUSION

L'étude menée a permis de déterminer la dose optimale de *Bokashi*, susceptible d'améliorer la fertilité des sols et la production des cacaoyers. Les résultats obtenus ont révélé que le *Bokashi* contient des éléments nutritifs pouvant améliorer la fertilité des sols et la production des cacaoyers. Les résultats ont également montré que l'apport de *Bokashi* aux cacaoyers a permis de réduire dans le sol les teneurs en certains oligo-éléments tel l'aluminium, qui en quantité très élevée peut être toxique pour la plupart des plantes. Le traitement T2 avec la dose de 2 kg de *Bokashi* par an et par cacaoyer a permis d'obtenir les rendements réel et potentiel les plus élevés respectifs de 1351,05 kg et 1846,8 kg à l'hectare.

La dose de 2 kg de *Bokashi* par cacaoyer est la dose optimale qui permet d'améliorer la fertilité chimique du sol et la productivité des cacaoyers.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient BIOSAVE-CI, la structure de fabrication du *Bokashi* pour son appui financier à la réalisation de cette étude.

## REFERENCES

- [1] ICCO. What are the effects of intensive commercial production of cocoa on the environment? Westgate House W5 1YY, United Kingdom. Rapport Annuel ICCO, 2015.
- [2] Deheuevls O., Assiri A.A., Pétithuguenin P., Kébé B.I. & Flori A. Production cacaoyère en Côte d'Ivoire: Etat actuel du verger et pratiques paysannes. In Actes de la 14<sup>ème</sup> conférence internationale sur la recherche cacaoyère (Accra, Ghana, 18-23 octobre 2003), 2, pp. 1157-1166, 2003.
- [3] Assiri A.A, Konan A., N'Guessan K.F., Kébé B.I., Kassin K.E., Couloud J.Y., Yapo A.R., Yoro G.R. & Yao-Kouamé A. Comparaison de deux techniques de replantation cacaoyère sur antécédents cultureux non-forestiers en Côte d'Ivoire. *African Crop Science Journal*, 23 (4), pp. 365 – 378, 2015.
- [4] Konaté Z. Etude comparative des pratiques paysannes de plantation ou de replantation cacaoyère en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA. UFR STRM, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 2008.
- [5] Koffié K., Kebe B.I., Kouassi N., Anno A.P., Ake S. & Muller E. Impact de la maladie virale du swollen shoot du cacaoyer sur la production de cacao en milieu paysan à Bazré (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 43, pp. 2947 – 2957, 2012.
- [6] Assiri A. Identification des pratiques paysannes dans la conduite des vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, option agro-pédologie, Université de Cocody-Abidjan, 2007.
- [7] Diarra A., Guy C.D. & Sékong L.G. Crise de l'eau potable en milieu urbain: cas de la ville de Daloa. *Revue de Géographie de l'Université de Ouaga I*, Pr Joseph KI-ZERBO, 5 (2), pp. 132-151, 2016.
- [8] N'guessan A.H., N'Guessan K.F., Kouassi K.P., Kouamé N.N. & N'Guessan P.W. Dynamique des populations du foreur de tiges du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon*. Felder (Lépidoptère: Cossidae) dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Biosciences*, 83, pp. 7606-7614, 2014.
- [9] Sangaré A., Koffi E., Akamou F. & Fall C. État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Second rapport national, Ministère de l'agriculture, République de Côte d'Ivoire, 2009.
- [10] Zro B.G.F., Guéi A.M., Nangah K.Y., Soro D. & Bakayoko S. Statistical approach to the analysis of the variability and fertility of vegetable soils of Daloa (Côte d'Ivoire). *African Journal of Soil Science*, Vol. 4 (4), pp. 328-338, 2016.
- [11] Anderson J.M. & Ingram J.S.I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. 2<sup>nd</sup> edition. Wallingford- CAB International, 1993.
- [12] Kotaix A.J.A., Kouadio K.H., Angu K.T.P., Kassin K.E., Gbeuli T.A., Assi M.E., Kouamé N.N., Coulibaly K., Koko L.A. & Bakayoko S. Les engrais minéraux issus du diagnostic sol améliorent la fertilité chimique et la production cacaoyère à l'Est de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol.47 (1), pp. 8387-8399, 2021.
- [13] Duval J. & weill A. Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique diversifiée. Equiterre, Montréal, Québec, 2011.
- [14] Koko L.K., Kassin K.E., Yoro G., N'goran K. & Yao-Kouamé A. Corrélation entre le vieillissement précoce des cacaoyers et les caractéristiques morphopédologiques dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 24, pp. 1508-1519, 2009.
- [15] Assiri A.A., Yoro G.R., Deheuevls O., Kébé B.I., Keli Z.J., Adiko A. & Assa A. Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2 (1), pp. 55- 66, 2009.
- [16] Chaussod R. La qualité biologique des sols: Evaluation et implications. *Etude et Gestion des sols*, 3 (4), pp. 261-278, 1996.
- [17] Assiri A.A. 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 Unique, UFR STRM, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2010.
- [18] Ponge J.P. Effets des composés organiques sur la faune du sol. Perturbation des communautés et recolonisation des substrats pollués. Muséum National d'Histoire Naturelle, CNRS UMR 7179, 2004.
- [19] Kouassi K.G. Evaluation de différents fertilisants sur la croissance et le développement de pépinières de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) élevées sur différents substrats. Mémoire de fin d'études du Diplôme d'Agronomie Approfondie (DAA), option Agronomie et Productions Végétales, Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, 2012.
- [20] Appiah M.R., Ofori-Frimpong K. & Afrifa A.A. Evaluation of fertilizer application on some peasant cocoa farms in Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science*, vol. 33 (2), pp. 183-190, 2000.
- [21] Bertrand M., Barot S., Blouin M., Whalen J., de Oliveira T. & Roger-Estrade J. Earthworm services for cropping systems. *Agronomy of Sustainable Development*, 35, pp. 553–567, 2015.
- [22] Bressoud F., Parès L. & Lecompte F. Tomate d'abri froid. Fertilisation et restriction en azote: le standard actuel inadapté au sol. *Réussir Fruits et Légumes*, 220, pp. 30-31, 2003.