



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2018-2019

N° D'ORDRE :0286/2020

N° CARTE D'ETUDIANT :
CI0413001958

MASTER

Physique-chimie Appliqué

Option : Environnement

THEME :

**EVALUATION DE L'ACIDITE DE FEVES DE
CACAO PRODUITES SOUS AMENDEMENT
ORGANIQUE A DUEKOUÉ (COTE D'IVOIRE)**

LABORATOIRE :

Sciences et Technologie
de l'Environnement
(LSTE)

Présenté par :

N'GUESSAN Jean Louis Lepetit

Jury :

Président : M. KOUADIO Yatty Justin, Professeur Titulaire,

Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Directeur : M. DONGUI Bini Kouamé, Professeur Titulaire,

Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Encadrant : M. AKPETOU Kouamé Lazare, Maître-Assistant,

Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Examineur : M. KOUAME Yao Francis, Maître-Assistant,

Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Soutenu publiquement

le : 12/06/2020

Table des matières

DEDICACE	iii
AVANT-PROPOS	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
LISTE DES FIGURES	viii
INTRODUCTION	1
PARTIE 1 : GENERALITES	4
1.1. GENERALITES SUR LE CACAO	5
1.1.1. Origine et distribution.....	5
1.1.2. Position systématique du cacaoyer	5
1.1.3. Caractéristiques botanique de la plante	5
1.1.3.1. Racine	6
1.1.3.2. Tronc	7
1.1.3.3. Feuille	7
1.1.3.4. Floraison	7
1.1.3.5. Fructification.....	8
1.1.3.6. Graine.....	9
1.1.4. Ecologie du cacaoyer.....	9
1.1.4.1. Facteurs climatiques.....	9
1.1.4.2. Facteurs pédologiques.....	10
1.1.5. Importance du cacaoyer en Côte d’Ivoire.....	10
1.2. FERTILISATION DES CULTURES DE CACAOYER.....	11
1.2.1. Différents fertilisants organiques utilisés dans les plantations de cacaoyers	11
1.2.2. Effets des fertilisants organiques sur le rendement et les fèves de cacao.....	11
1.2.3. Pratiques culturales et effets de fertilisation des sols de culture du cacao à Duékoué.....	12
1.2.4. Variabilité des caractéristiques chimiques (acidité) de la cabosse de cacao	12
1.3. ACIDITE DES FEVES DE CACAO	13
1.3.1. Caractéristiques physico-chimiques des fèves de cacao.....	13
1.3.2. Méthodes d’évaluation de l’acidité des fèves de cacao	13
1.3.3. Conséquences de l’acidité des fèves de cacao sur le marché mondial et local	13
1.4. ACIDITE ET CACAO MARCHAND DE COTE D’IVOIRE.....	14
1.4.1. Caractéristiques marchandes de la fève de cacao de Duékoué.....	14
PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES	15
2.1. ZONE D’ETUDE	16
2.1.1. Département de DUEKOUÉ	16
2.1.2. Caractéristiques pédologiques du sol de Koffikro.....	17
2.1.3. Plan d’étude (Parcelle expérimentale).....	18
2.2. MATERIEL	19
2.2.1. Matériel végétal	19

2.2.2. Matériel technique	19
2.3. METHODES	20
2.3.1. Détermination des caractéristiques physico-chimiques du sol expérimental de Koffikro	20
2.3.2. Fertilisation organique de la parcelle expérimentale	20
2.3.3. Détermination de l'acidité des fèves, cabosses et chérelles	21
2.3.4. Dosage de l'acidité de la cabosse de cacao, fèves et chérelles sous amendement organique (récolte 1 et 2).....	21
2.3.5 Analyses statistiques des données	22
La comparaison des deux moyennes d'acidité (expérimentale et seuil) a été menée pour aider à conclure les observations faites lors de nos travaux.	22
PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	24
3.1. RESULTATS	25
3.1.1. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sans amendement organique à la récolte 1	25
3.1.2. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sans amendement organique à la récolte 2.	25
3.1.3. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sous amendement organique après la première récolte	26
3.1.4. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sous amendement organique à la deuxième récolte.....	27
3.1.5. Variabilité de l'acidité des fèves du cacao sous amendement Huvert par rapport au seuil de l'USDA.....	28
3.1.6. Comparaison des moyennes d'acidités expérimentale et seuil de l'USDA (2019) 29	
3.2. DISCUSSION	30
3.2.1 Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sans amendement organique	30
3.2.2. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sous amendement organique après la première et deuxième récolte.....	30
3.2.3 Comparaison des moyennes d'acidités expérimentale et seuil de l'USDA.....	31
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	32
CONCLUSION	33
REFERENCES.....	34
RESUME	

DEDICACE

Ce travail étant pour moi le début de mon rêve, je le dédie de tout cœur,

A mon père, **M. N'GUESSAN Yao Augustin**, pour sa patience son courage sa détermination et ses conseils dont il a toujours fait preuve à mon endroit, merci papa.

A ma mère, **Mme DIBY Amenan Jeannette**, pour son soutien et son courage durant toutes ces années, grand merci à toi maman chérie.

A mes frères et sœurs pour leurs soutiens et conseils, merci à vous tous.

AVANT-PROPOS

Notre travail est un mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Master en Physique-Chimie, *Option* : Chimie de l'environnement. Cette étude a été réalisée au laboratoire de Chimie des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE) de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (Côte d'Ivoire). La thématique s'inscrit dans le cadre des projets pilotés par le Conseil du Café et du Cacao.

Les expériences furent menées dans un champ de cacaoyer en milieu paysan dans la localité de Koffikro, dans le département de Duékoué, à l'ouest de la Côte d'Ivoire. Ensuite, au laboratoire de Chimie des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE) de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa.

Notre travail de recherche est basé sur :

- la détermination de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao produit sous amendement organique ;
- la détermination de la dose d'engrais propice à une acidité post-récolte favorable des fèves de cacao.

Cette thématique vise une amélioration de la valeur marchande des produits agricoles ivoiriens.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il m'est très agréable d'exprimer mes sincères remerciements non seulement à tous ceux qui m'ont accompagné, mais aussi à ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

A Mme **TIDOU Abiba** épouse KONE, Professeur Titulaire et Présidente de l'Université Jean Lorougnon GUEDE Daloa ; Merci à vous de m'avoir offert l'opportunité de réaliser cette étude.

A M. **KOUASSI Kouakou Lazare** Maître de Conférences et Directeur de l'UFR Environnement, pour avoir permis mon inscription dans ladite UFR ;

A M. **DIBI Brou**, Maître de Conférences et Directeur du laboratoire de Chimie des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE) pour avoir permis de réaliser ce mémoire dans les meilleures conditions.

J'adresse mes remerciements les plus distingués à mon Directeur scientifique, M. **DONGUI Bini Kouamé**, Professeur Titulaire, pour ses conseils avisés, sans lesquels ce travail n'aurait jamais abouti aux résultats que nous avons produits dans ce document.

Je voudrais adresser toute ma gratitude à mon encadreur, M. **AKPETOU Kouamé Lazare**, Maître-assistant à l'Université Jean Lorougnon GUEDE, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion sur la réalisation du présent travail.

A M. **KOUADIO Yatty Justin**, Professeur Titulaire pour avoir accepté de présider le jury de soutenance et aussi pour ses conseils et sa simplicité.

A M. **KOUAME Yao Francis**, Maître-assistant à l'Université Jean Lorougnon GUEDE pour avoir accepté d'examiner le mémoire en vue de son amélioration et aussi pour sa rigueur dans le travail.

Je dis grand merci à M. **ASSI Pepin**, Master en Chimie-physique, devancier dans ce travail de recherche, pour son indescriptible aide en nous fournissant les échantillons et les conseils pour le bon accomplissement de mon travail de mémoire.

Je dis merci à mes amis étudiants de l'UJLoG, en particulier **KOUASSI Yao Jaures**, **KOUADIO Kouamé Edouard**, pour leurs soutiens et conseils.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ANADER : Agence Nationale d'Appui au Développement Rural

BBT : Bleu de Bromothymol

C : Concentration

CAOBISCO : Association des Chocolats, Biscuits et Confiseries Française

ECA : Association Européenne du Cacao

FAO: Food and Agriculture Organization of United Nations (Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

FCC : Fédération du Commerce du Cacao

ICCO : International Cocoa Organization (Organisation Internationale de Cacao)

LSTE : Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement

NESTEC : North East Silicon TEChnologies

pH : Potentiel Hydrogène

SRCC : Société nationale pour la Rénovation et le développement de la Caféière et de la Cacaoyère togolaise

USDA : United States Department of Agriculture (Département de l'Agriculture des Etats-Unis)

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Architecture générale (a) et jeune plant (b) de cacaoyer.....	6
Figure 2 : Inflorescence de cacaoyer portée sur le tronc	8
Figure 3 : Représentation schématique d'une fleur de cacaoyer	8
Figure 4 : Chérelle de cacao	8
Figure 5 : Disposition de fèves a l'intérieure de la cabosse de cacao	9
Figure 6 : Carte du département de Duékoué	17
Figure 7 : Représentation schématique de la parcelle d'étude de l'acidité	18
Figure 8 : Matériel biologique.....	19
Figure 9 : Four a moufle Balance de précision et Verrerie de laboratoire	19
Figure 10 : Présentation du dispositif expérimental organisé en un plan de Fischer.....	21
Figure 11 : Variation de l'acidité des échantillons sans apport d'engrais, récoltes 1	25
Figure 12 : Variation de l'acidité des échantillons sans apport d'engrais, récoltes 2.....	26
Figure 13 : Evolution de l'acidité des échantillons sous engrais organique, récoltes 1.....	26
Figure 14 : Evolution de l'acidité des échantillons sous engrais organique, récoltes 2.....	27
Figure 15 : Variation de l'acidité des fèves de cacao produites sous amendement organique Huvert par rapport au seuil.....	28

INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire fournit environ 40 % de l'offre mondiale en fèves de cacao (Anonyme, 2007) et occupe, depuis plus de trente ans, le premier rang parmi la cinquantaine de pays producteurs (Anonyme, 2011). Cette importante production de cacao contribue à plus de 10 % du PIB ivoirien (Anonyme, 2004) et constitue la principale source de revenu de milliers de petits planteurs en milieu rural. Actuellement, le cacao représente à lui seul 30 % des produits d'exportation ivoiriens et apporte de ce fait un important soutien économique à l'Etat de Côte d'Ivoire.

Toutefois, ces importants acquis socio-économiques liés à la production du cacao en Côte d'Ivoire, ne doivent pas faire perdre de vue les nombreuses contraintes de production de cacao capables d'engendrer une baisse significative de la production ivoirienne et d'accentuer la pauvreté en milieu rural. Les grandes plantations de cacaoyers ont acquis la réputation de produire de plus en plus de fèves de cacao acide. En effet, le problème de l'acidité élevée constitue le principal mobile de la mévente du cacao marchand ivoirien, depuis plus d'une décennie (Augier *et al.* 1998) de telle sorte que la fourniture de 2.000.000 de tonne par an de fèves de cacao au marché international ; soit environ 38% de l'offre mondiale (ICCO, 2017), n'arrive pas à contribuer de manière significative au développement de cette filière de cacao. Cependant, si l'augmentation de l'acidité des fèves de cacao est attribuable aux traitements post-récoltes en général, il n'en demeure pas moins qu'un des facteurs déterminants demeure l'appauvrissement minéral et organique des sols de cultures. Les paysans ont recours à plusieurs matières organiques incertaines telles que les fientes animales de toutes sortes, qui sont massivement épandues dans les cacaoyères par les agriculteurs (Ruf & Kiendré, 2017). Malheureusement, il en résulte une forte pression parasitaire, un appauvrissement et une acidification des sols de culture cacaoyer (Kébé & N'guessan, 2003). Aussi, il est connu que la fumure minérale exclusive augmente l'acidité tout en dégradant les sols de cultures (Boli & Roose, 2000 ; Hatermink, 2005) en conduisant à une acidité post-récoltes inéluctablement élevée des fèves de cacao (Augier *et al.* 1998) alors que le compost permet de juguler ces contraintes biologiques et physico-chimiques en amont (Akpétou *et al.* 2019 ; Ndoutoumou *et al.* 2019). Partant de ces observations, tester l'impact d'un engrais organique appelé "Huvert" obtenu à travers un processus de compostage rapide sur ces contraintes culturelles et de production de cacao prend tout son sens.

Le présent travail a pour objectif général d'évaluer l'acidité du cacao produit sous amendement d'engrais organique "Huvert".

En objectifs spécifiques il s'agira de :

- ✓ procéder à une fumure différentielle en engrais organique Huvert de la parcelle de cacaoyers ;
- ✓ mesurer l'acidité des fèves de cacao produites dans ces conditions ;
- ✓ comparer les acidités de fèves obtenues expérimentalement et l'acidité seuil proposé par l'USDA (2019).

Le présent mémoire s'articule autour de trois parties.

La première partie est consacrée à la synthèse bibliographique qui traite des généralités sur le cacao, et plus particulièrement les fertilisants organiques et son acidité.

La deuxième partie présente la zone d'étude, le matériel et les méthodes utilisés pour réaliser ce travail.

Enfin, la troisième partie aborde les résultats de ce travail suivis de discussion et de la conclusion puis, des perspectives subséquentes au présent travail sont dégagées dans le sens de la poursuite de cette thématique de recherche.

PARTIE 1 : GENERALITES

1.1. GENERALITES SUR LE CACAO

1.1.1. Origine et distribution

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est originaire de l'Amérique du Sud et plus particulièrement du bassin amazonien (Motamayor, 2002). Le cacaoyer est principalement cultivé pour ses fruits dont sont extraites les fèves qui, après fermentation et séchage, donnent par transformation la pâte de cacao et ses dérivés qui servent notamment à l'industrie du chocolat. Le cacaoyer a été domestiqué par les indiens d'Amérique centrale au 16^{ème} siècle (Eskes & Lanaud, 1997). Les Mayas et les Aztèques ont été les premiers à cultiver cette plante. Elle a été introduite en Afrique de l'Ouest, à partir du 18^{ème} siècle, au Ghana (Braudeau, 1969). En Côte d'Ivoire, son introduction s'est faite à la fin du 19^{ème} siècle, au Sud-Est du pays (Deheuvelds, 2003).

1.1.2. Position systématique du cacaoyer

Aussi appelé cacao ou cacaotier, le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) selon la classification phylogénique ou classification Angiosperm Phylogeny Group (APG TII) (Alverson *et al.*, 1999; Whitlock *et al.*, 2001) s'organise en:

Règne : Plantae
 Division : Magnoliophyta
 Classe : Magnoliopsida
 Ordre : Malvales
 Famille : Malvaceae
 Genre : *Theobroma*
 Espèce : *Theobroma cacao*

1.1.3. Caractéristiques botanique de la plante

Plusieurs auteurs dont Cuatrecasas (1964), Braudeau (1969), Wood & Lass (1989), Mossu (1990) se sont investis dans la description des aspects botanique, écologique, physiologique du cacaoyer. Il s'agit d'une plante pérenne qui se rencontre à l'état naturel dans les étages inférieurs des forêts tropicales humides de l'Amérique. Cette plante peut atteindre 12 à 15 m de hauteur à l'état sauvage. En plantation, les écartements pratiqués ne permettent à l'arbre que

d'avoir une hauteur moyenne de 5 à 7 m. Une plantation bien conduite peut demeurer rentable au moins pendant 25 à 30 ans. Le cacaoyer est une plante diploïde avec $2n = 20$ chromosomes et essentiellement allogame. La floraison s'effectue par périodes successives qui dépendent des conditions environnementales et de l'état physiologique de la plante. On distingue un système racinaire et un système aérien (Figure 1).

-Le système racinaire est essentiellement constitué d'un pivot principal de 0,8 à 2m de long servant à la fixation de l'arbre et de ses racines latérales qui prennent naissance à la base du pivot.

-Le système aérien se constitue de branches, de feuilles et du tronc

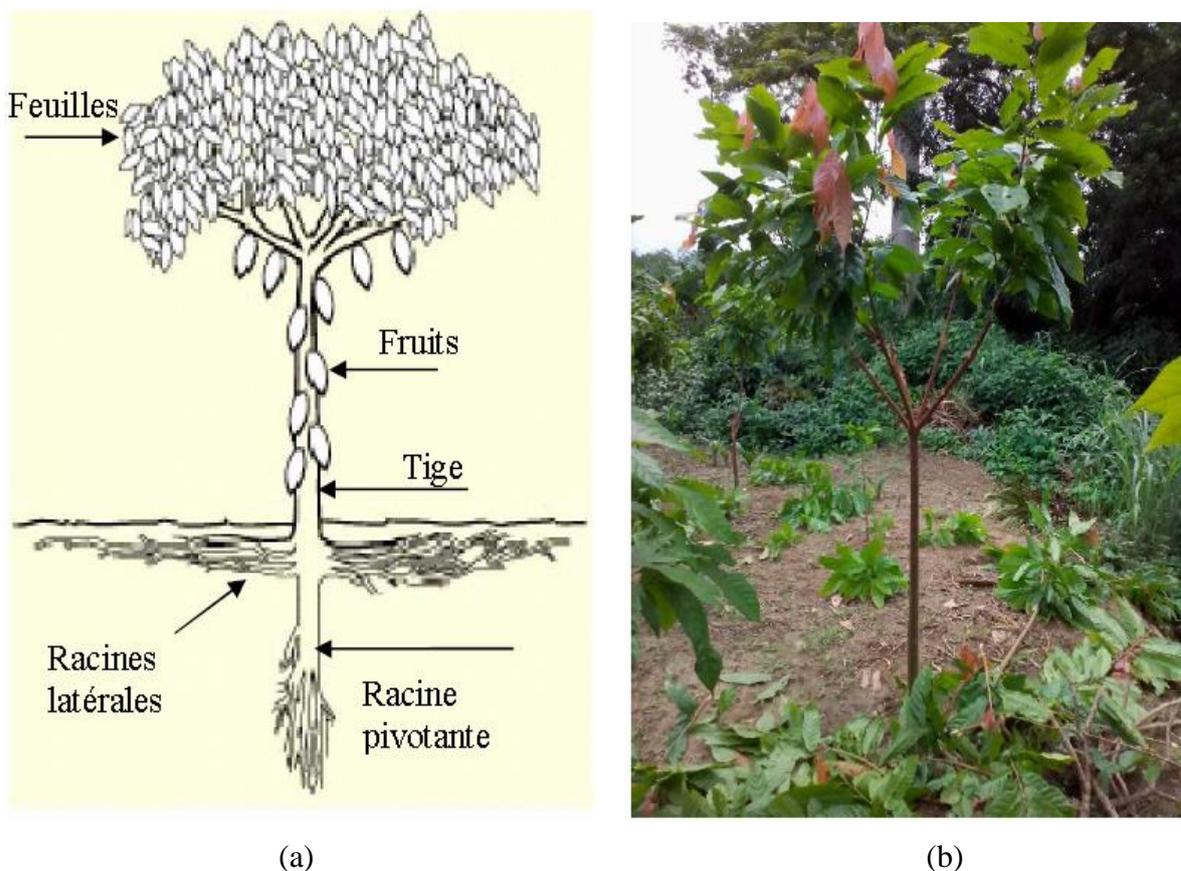


Figure 1 : Architecture générale (a) et jeune plant (b) de cacaoyer (Demol, 2002).

1.1.3.1. Racine

Après la germination de la graine, la racine prend la forme d'un pivot, qui donne naissance à des racines latérales. Celles-ci ne prennent de développement important que dans la partie supérieure. Les racines latérales sont abondantes chez le jeune cacaoyer et se répartissent tous dans la couche superficielle du sol.

1.1.3.2. Tronc

La croissance en hauteur de la tige n'est pas connue. Vers l'Age de 18 mois, elle est interrompue. L'extrémité de la tige présente l'aspect caractéristique d'un massif de 5 bourgeons axillaires disposés en verticille et dont le développement donne naissance à cinq branches plagiotropes formant la couronne. Le bourgeon terminal disparaît à ce stade, mais il arrive fréquemment qu'un bourgeon axillaire en dessous des branches de la couronne se développe et donne une deuxième couronne. Quatre étapes peuvent ainsi se superposer à la tige initiale, mais seule la couronne supérieure reste en place et les autres disparaissent. La croissance des branches est indéfinie mais discontinue : Elle se fait par poussées foliaire successives séparées par des périodes de repos pendant lesquelles les bourgeons terminaux reprennent leur dormance.

1.1.3.3 Feuille

Les feuilles sont entières. Leur vie est égale à 1 an. Sur un axe orthotrope, la phyllotaxie est de $3/8$ et sur un axe plagiotrope, elle est de $1/2$.

1.1.3.4. Floraison

Le cacaoyer peut fleurir toute l'année. Les fleurs apparaissent sur le bois âgé, en inflorescence (Figure 2). Les zones où apparaissent chaque année les inflorescences forment de petits massifs renflés que l'on appelle coussinets floraux. Un coussinet peut porter de très nombreuses fleurs en même temps.

Les fleurs sont hermaphrodites et possèdent un ovaire contenant 30 à 60 ovules. Un cacaoyer produit en moyenne 50 000 fleurs par an mais celles-ci ne sont pas toutes pollinisées (Figure 3). Le cacaoyer a deux principales périodes de floraison :

- ✓ La première floraison s'étale d'Avril à Juillet et pourvoit à la production de la récolte principale (Septembre-Janvier) ;
- ✓ La deuxième floraison (Novembre à Janvier) fournit la récolte intermédiaire (Avril à Juillet).



Figure 2 : Inflorescence de cacaoyer portée sur le tronc (Solórzano, 2007)

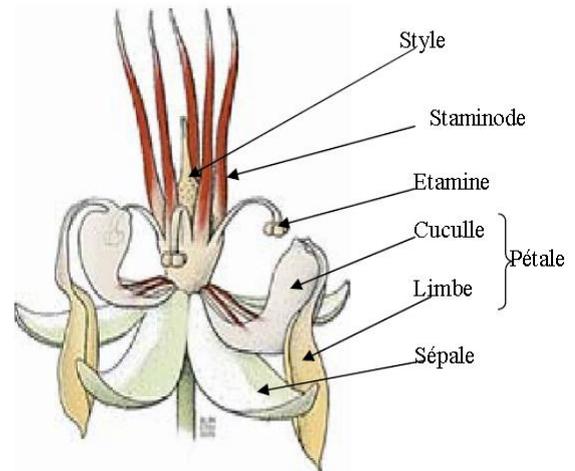


Figure 3 : Représentation schématique d'une fleur de cacaoyer (Loor Solorzano, 2007).

1.1.3.5 Fructification

Le cacaoyer produit annuellement plusieurs millions de fleurs alors que quelques dizaines de fruits sont formés. Les fleurs non fécondées soit par défaut de pollinisation soit par suite d'incompatibilité avec le pollen reçu, flétrissent et tombent. Le fruit est une baie appelée « cabosse ». Le jeune fruit, lui est appelé « chérelle » (Figure 4). De nombreuses chérelles n'arrivent pas à maturité et se dessèchent. Il s'agit d'un phénomène normal connu sous le nom de « *wilt* »



Figure 4 : Une chérelle de cacao (Assi, 2019)

1.1.3.6 Graine

Elle n'a pas d'albumen et la forme d'une fève est de 2 à 3 cm de long, recouverte d'une pulpe mucilagineuse blanche de saveur sucrée et acidulée. Sous cette pulpe, se trouve la coque de la graine. Cette graine est très riche en matière grasse (50% à 55% de beurre de cacao). La graine est prête à germer dès que le fruit est mur (et même un peu avant). Elle perd son pouvoir germinatif dès qu'elle est extraite de la cabosse. La viabilité de ses graines est principalement affectée par la température et l'humidité qui doit être de 100% (Figure 5).

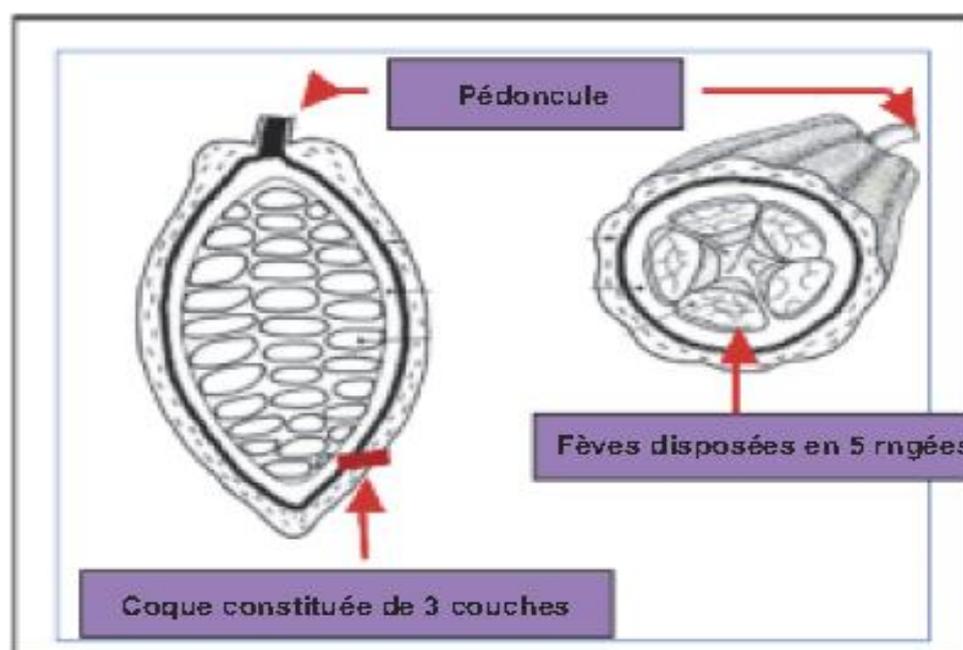


Figure 5 : Disposition de fèves à l'intérieur de la cabosse de cacao

Source : Le cacaoyer / CTA

1.1.4. Ecologie du cacaoyer

1.1.4.1. Facteurs climatiques

Le climat intervient directement sur la croissance et le développement du cacaoyer. Les principaux facteurs climatiques agissant sur le cacaoyer sont la température, la pluviométrie, l'humidité atmosphérique et la lumière (Mosu, 1990). Le cacaoyer exige une température relativement élevée avec une moyenne annuelle comprise entre 21 et 32 °C. La pluviométrie influence significativement le rendement annuel des cacaoyers car ceux-ci sont très sensibles à une déficience hydrique. Les pluies doivent être abondantes mais surtout bien réparties tout au long de l'année. La pluviométrie favorable est généralement comprise entre 1200 et 2000

mm de pluie par an. La culture du cacaoyer nécessite une humidité relative élevée tandis qu'un ombrage provisoire relativement dense ne laissant traverser que 50 % de la lumière totale est indispensable pendant les premières années de cultures des jeunes cacaoyers. L'ombrage provisoire sera diminué progressivement au fur et à mesure du développement du cacaoyer.

1.1.4.2. Facteurs pédologiques

Tous les sols ne sont pas favorables à la culture du cacaoyer. La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des sols permet de déterminer leur aptitude à la culture du cacaoyer. Les sols favorables au cacaoyer doivent être aérés et bien drainés avec une profondeur minimale de 1,5 m et une structure homogène et permettant une bonne rétention en eau. Aussi le pH de ces sols doit être proche de la neutralité (entre pH 6,5 et pH 7) et avoir une bonne teneur en matière organique dans la couche superficielle et répondre à un équilibre ionique des principaux éléments nutritifs notamment : N, P, K, Ca et Mg. Les carences et les déficiences minérales entraînent des anomalies foliaires chez le cacaoyer notamment une réduction de la taille des feuilles et des jaunissements du limbe (Braudeau, 1969) qu'il ne faut pas confondre avec les symptômes provoqués par les maladies virales.

1.1.5. Importance du cacaoyer en Côte d'Ivoire

L'importance de la culture du cacaoyer repose surtout sur la fabrication et le commerce du chocolat. Le chocolat est devenu aujourd'hui une denrée très prisée sur le marché mondial et constitue par conséquent un important centre d'intérêt commercial. Les Etats-Unis sont les plus grands consommateurs du monde et absorbent entre 1 et 1,4 millions de tonnes de chocolat par an.

Par ailleurs, le chocolat occupe la première place dans le commerce mondial de la confiserie estimé à plus de 80 milliards de dollars américains par année (Vos *et al.*, 2003). Le cacao fournit d'importantes recettes aux principaux pays producteurs notamment en Afrique de l'Ouest où il constitue la principale source de revenu pour des millions de petits planteurs. L'Afrique de l'Ouest fournit plus des 2/3 de la production mondiale de cacao. En Côte d'Ivoire, le cacao représente, à lui seul, 30 % des produits d'exportation. En 2008, la production ivoirienne a été estimée à 1 382 000 tonnes de fèves de cacao (FAO, 2011). Sur le plan environnemental, la culture du cacaoyer permet de lutter contre l'érosion et contribue au maintien de la biodiversité et de la reconstitution du sol (Braudeau, 1969).

1.2. FERTILISATION DES CULTURES DE CACAOYER

1.2.1. Différents fertilisants organiques utilisés dans les plantations de cacaoyers

Plusieurs auteurs ont travaillé sur les conditions de production des plants de cacaoyers en pépinière, principalement sur la fourniture de l'azote (N), du phosphore (P), du potassium (K), du calcium (Ca) et du magnésium (Mg) par le sol. Uribe *et al.* (2001) ont montré que les vergers de cacaoyers exposés en plein soleil en Colombie ont besoin de fertilisants pour bien produire. La production maximale à l'hectare de cacao marchand a été obtenue par la fumure en N-P₂O₅-K₂O dans un rapport de 150-90-200 pour avoir un rendement de 1160 kg.ha⁻¹ avec une pluviométrie de 2960 mm par an et une température annuelle moyenne de 24°C.

Ces éléments nutritifs sont recherchés à travers l'usage de matières organiques diverses en Côte d'Ivoire. En effet, Ruf & Kiendré (2017) ont montré l'utilisation massive de fientes d'élevages dans les plantations de cacaoyers dans l'Ouest ivoirien.

1.2.2. Effets des fertilisants organiques sur le rendement et les fèves de cacao

La fertilisation minérale des cacaoyers en Afrique ne peut se dissocier de l'historique du Logiciel Diagnostic-Sol (Jardin, 1976). C'est un logiciel qui se base sur les analyses de sol pour prédire les besoins complémentaires en nutriments à fournir au sol du cacaoyer, en fonction de son âge, pour qu'il se développe et produise normalement des fèves de bonnes qualités. A la fin des années 1980, la société *Siveng*, filiale des Potasses d'Alsace, s'inspire des résultats de recherche sur la fourniture de l'azote (N), du phosphore (P), du potassium (K), du calcium (Ca) et du magnésium (Mg) par le sol pour mettre sur le marché une formule unique N-P-K-Mg, officiellement un 0-20-20-4, en réalité un 2-20-20-4, avec une production symbolique entre 500 et 1000 tonnes.

Quant à la fertilisation organique, les rendements sont très peu étudiés. Cela tient au fait que ces matières ne sont pas homologuées et donc difficiles à modéliser. En revanche, Ruf & Kiendré (2017) ont noté de probables améliorations des rendements dans les zones d'utilisation des fientes animales dans les exploitations de cacaoyers. Cependant, les tares comme les carences en K et l'acidité élevée de ce cacao s'ajoutent aux pressions parasitaires liées à l'utilisation des fientes et autres matières organiques selon Kébé, & N'guessan (2003). Ailleurs,

il a été montré que le compostage permet l'élimination des parasites responsables de ces infestations dans les cacaoyères (Ndoutoumou *et al.*, 2019).

1.2.3. Pratiques culturales et effets de fertilisation des sols de culture du cacao à Duékoué

Indépendamment de la variété et des autres facteurs climatiques (température, pluviométrie et insolation), le développement des fruits du cacaoyer est directement sujet à la fertilité des sols (Asomaning *et al.*, 1971). Cette notion fait intervenir la charge en matières organiques du sol ce qui expliquerait l'itinérance de la cacaoculture.

Les cultivateurs depuis de nombreuses années font usage de grands volumes de fientes de volailles, à côté de la fertilisation minérale au cout trop élevé, en vue du maintien de la fertilité des sols de cultures dans le département de Duékoué. Alors que des études à savoir ceux de Kébé & N'guessan (2003) ont constaté que la pression parasitaire et l'acidification des sols en découleraient.

1.2.4. Variabilité des caractéristiques chimiques (acidité) de la cabosse de cacao

La cabosse de cacao est une entité biologique dont les caractéristiques physico-chimiques dépendent de celles du sol de culture (Augier *et al.*, 1998). Cependant, les charges résiduelles chimiques en acides sont inhérentes aux traitements pré et post-récoltes, notamment le stade de récolte, la fermentation et le séchage. Sous réserves de l'observance de ces dispositions, la maîtrise du profil nutritif du sol de culture est vitale pour l'obtention d'un cacao de haute valeur marchande (Augier *et al.*, 1998).

Autrement, les fèves sèches sont dites acides et éventuellement amères quand la fermentation et le séchage sont mal faits. Pendant longtemps, la valeur marchande des fèves sèches produites en Côte d'Ivoire ont souffert de cette tare (Augier *et al.*, 1998), donc l'étude de facteurs comme la fertilisation des sols cacaoyers prend tout son sens dans des projets d'alcalinisation des fèves ; son impact sur l'économie motivant leur déroulé.

1.3. ACIDITE DES FEVES DE CACAO

1.3.1. Caractéristiques physico-chimiques des fèves de cacao

Généralement l'acidité, la qualité physique (taille, teneur en beurre) et organoleptique (arôme) du cacao peuvent être affectés par les conditions du milieu de culture (NESTEC 1991) ainsi qu'aux traitements post-récoltes. Il faut dire aussi que le poids d'une fève de cacao doit être au moins de 1,0 g. Cette masse est atteinte lors des principales récoltes sous conditions d'une bonne fertilisation (organique ou minérale) des cacaoyères et pluviométrie non déficitaire.

1.3.2. Méthodes d'évaluation de l'acidité des fèves de cacao

L'acidité des fèves est provoquée par deux principaux acides (acide acétique, qui est volatile, et acide lactique, qui est non-volatile) parmi 6 acides organiques. Un séchage approprié permet de réduire l'acidité dans les fèves fermentées. Mais un séchage trop rapide entraînera le maintien de l'acidité du cacao. Pendant la fabrication du chocolat, l'acide acétique présent dans les fèves séchées se réduira normalement à un niveau faible et acceptable. Quant à l'acide lactique non volatile, il subsistera et si son niveau est trop élevé, provoquera une odeur ou un goût étranger dans le chocolat. Il est également possible de réduire l'acidité en retirant environ 20 % de la pulpe avant la fermentation et en réduisant les temps de fermentation. Une autre façon de réduire le goût acide consiste à prolonger la fermentation pendant 4 ou 5 jours de plus (Augier *et al.*, 1998).

1.3.3. Conséquences de l'acidité des fèves de cacao sur le marché mondial et local

L'importance de la culture du cacaoyer repose surtout sur la fabrication et le commerce du chocolat. Le chocolat est devenu aujourd'hui une denrée très prisée sur le marché mondial et constitue par conséquent un important centre d'intérêt commercial. Les Etats-Unis sont les plus grands consommateurs du monde et absorbent entre 1 et 1,4 millions de tonnes de chocolat par an. Par ailleurs, le chocolat occupe la première place dans le commerce mondial de la confiserie estimé à plus de 80 milliards de dollars américains par année (Vos *et al.*, 2003). Le cacao fournit d'importantes recettes aux principaux pays producteurs notamment en Afrique de l'Ouest où il constitue la principale source de revenu pour des millions de petits planteurs. L'Afrique de l'Ouest fournit plus des 2/3 de la production mondiale de cacao. En Côte d'Ivoire, le cacao représente, à lui seul, 30 % des produits d'exportation.

Sur le plan environnemental, la culture du cacaoyer permet de lutter contre l'érosion et contribue au maintien de la biodiversité et de la reconstitution du sol (Braudeau, 1969). Cependant l'acidité et le rendement en matière utile de la fève exerce une influence considérable sur la valeur du cacao pour le fabricant et donc sur le prix qu'il est disposé à payer.

1.4. ACIDITE ET CACAO MARCHAND DE COTE D'IVOIRE

1.4.1 Caractéristiques marchandes de la fève de cacao de Duékoué

Les plantations de taille importante ont acquis la réputation de produire un cacao « acide » et faiblement aromatique (Powell, 1958 ; Jacquet *et al.*, 1980). Plusieurs travaux de recherche ont tenté de répondre à ce problème de qualité.

Le pouvoir colorant ou couleur (marron ou brune) du cacao détermine sa valeur marchande et organoleptique. Ainsi, les processus d'alcalinisation et de torréfaction sont menés en vue de son optimisation par les industriels (Schwan & Wheals, 2004). L'acidité mal gérée et évacuée respectivement lors de la fermentation et le séchage engendre inéluctablement un chocolat de faible qualité. Sa couleur et son goût pouvant le rétrograder à l'échelle de rebus de fabrication le cas échéant (Barel, 2013 ; CAOIBISCO/ECA/FCC, 2015). Les fèves originellement basiques (pH > 8,0) sont préférablement souhaitées car elles allègent les charges matérielles et financières d'alcalinisation du cacao pour l'industrie. Il convient donc d'étudier certaines pratiques et conditions culturelles en vue de l'atteinte de ce résultat.

Le département de Duékoué détient une bonne performance productive de fèves sèches de cacao pendant la période de récolte principale (Septembre-Janvier) selon ICCO (2017). Les volumes et grainages font environ 35% de la production ivoirienne à 100 fèves pour 1 Kg.

Une pareille contribution a un impact indéniable sur le profil marchand du cacao à l'échelle mondiale ; vu que la Côte d'Ivoire fournit au moins 40% des stocks annuels depuis plusieurs décennies.

En effet, les fèves sèches de cacao d'Afrique de l'Ouest sur le marché mondial sont taxées d'acides (Powell, 1958 ; Jacquet *et al.*, 1980 ; Augier *et al.*, 1998 ; CAOIBISCO/ECA/FCC, 2015). En outre les risques de croissance de l'acidité augmentent car l'attention des paysans est très peu portée sur les traitements pré et post-récoltes des cabosses. Non sans ignorer la nécessité de fertiliser les sols de cultures du cacaoyer.

PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. ZONE D'ETUDE

2.1.1 Département de DUEKOUE

Situé à l'ouest de la Côte d'Ivoire entre 6°44'00'' nord et 7°21'00'' ouest, la ville de Duékoué a pour villes voisines Daloa vers l'Est, Guiglo vers l'Ouest, Man au Nord et Soubré au Sud. Elle a pour activité principale de revenue le cacao. Le cacao domine (80,84%) de loin les autres cultures dans le département de Duékoué (figure 6). Le climat de ce chef-lieu de département est type équatorial forestier, montagneux, chaud et humide. Ce climat baigne sa superficie couvrant 3016 km², d'une pluviométrie de 1800-2000 mm/an (Avit *et al.*, 1999 ; Anader, 2019). Cette spécificité favorise la densification de sa population (68,5 hbts/km²) qui avoisine les 800 000 habitants (Guemon, 2019). Majoritairement paysanne et migrante, cette population accroît ses potentialités de production de cacao fèves au fil des ans (ICCO, 2017).

Cependant, l'appauvrissement croissant des sols reste un problème majeur à cause de leur caractère ferrugineux. Leurs réserves d'humus s'épuisent rapidement sous la pression des cultures (Anader, 2019). Le lieu de notre étude est un campement appelé Koffikro situé à 13 km de la ville de Duékoué sur l'axe Duékoué-Man dans la localité de Baoubly.

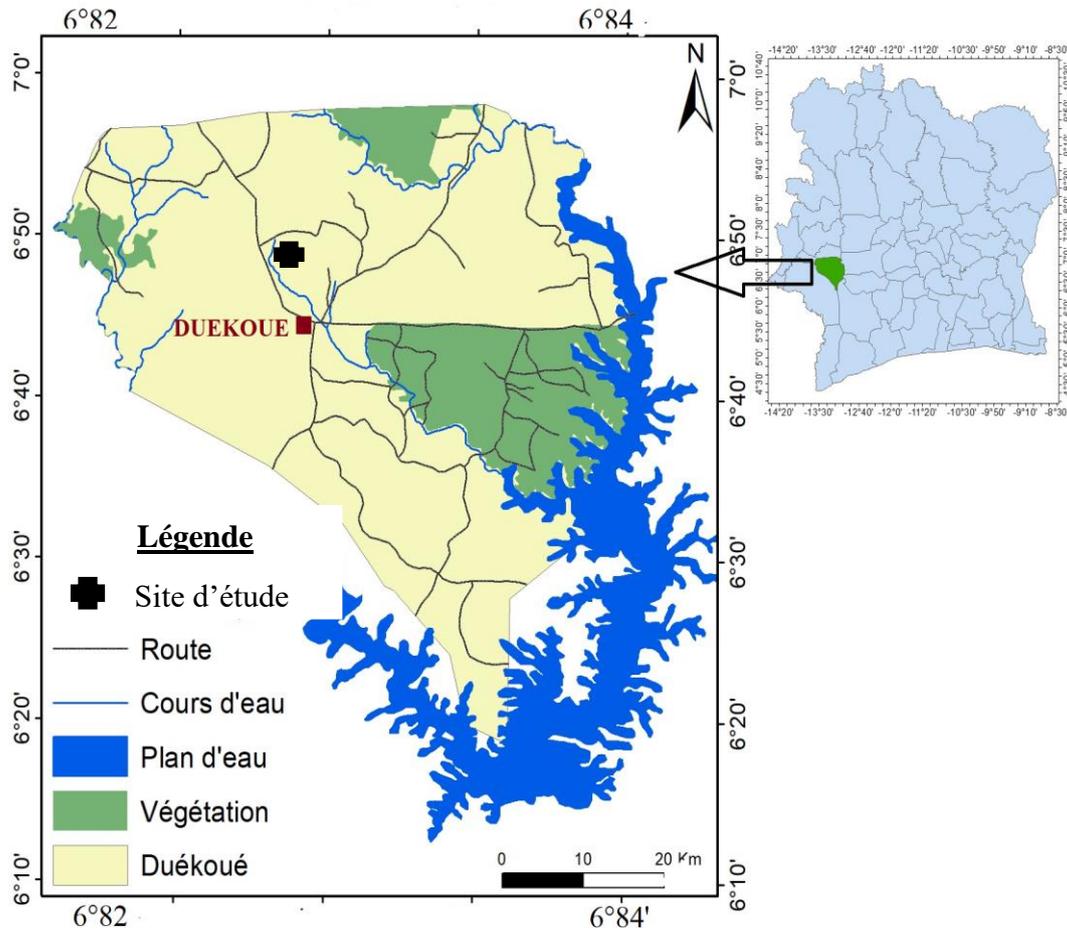


Figure 6 : Carte du département de Duékoué

2.1.2. Caractéristiques pédologiques du sol de Koffikro

Koffikro est un campement de la localité de Baoubly. Il est situé à environ 13 Km de Duékoué sur l'axe Duékoué-Man. Avec un sol à pH = 6,65 et tout comme l'Ouest semi-montagneux de la Côte d'Ivoire, le relief de la localité de Koffikro est accentué. Il en résulte des formations gravillonnaires qui affleurent les horizons supérieurs des sols. Cela réduit les aptitudes culturales des sols. En effet, 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.

Comme le paysage morpho-pédologique de Koffikro semble être dominé par les mi et bas-versants ; la cacaoculture profite d'environnements favorables sur fonds de contraintes pédologiques (Kassin *et al.*, 2012). Pour pallier à ce problème, les paysans ont recours à l'utilisation annuelle de gros volumes de fientes de volailles comme couverture organique de leurs exploitations (Ruf & Kiendré, 2017). Ce qui ne reste pas sans conséquences physico-chimiques sur le sol (Kébé *et al.*, 2003 ; Koua *et al.*, 2018) ; Or, il est connu que l'acidité du

sol impacte négativement l'acidité résiduelle des fèves de cacao (Augier *et al.*, 1998). C'est pourquoi il convient d'étudier les conditions de normalisation de l'acidité de celles-ci, en partant du contexte spécifique de la localité de Koffikro (Duékoué).

2.1.3. Plan d'étude (Parcelle expérimentale)

La parcelle expérimentale a été installée à Koffikro dans la localité de Baoubly (Duékoué). La parcelle d'étude s'étend entre $06^{\circ}49'48''$ N et $07^{\circ}21'57''$ E pour une altitude de 273 m avec une superficie de 0,29 ha. Ce périmètre comptait un total de 384 plants de cacaoyers adultes retenus pour notre étude. La (Figure 7) est la représentation schématique de la localisation du site d'étude.

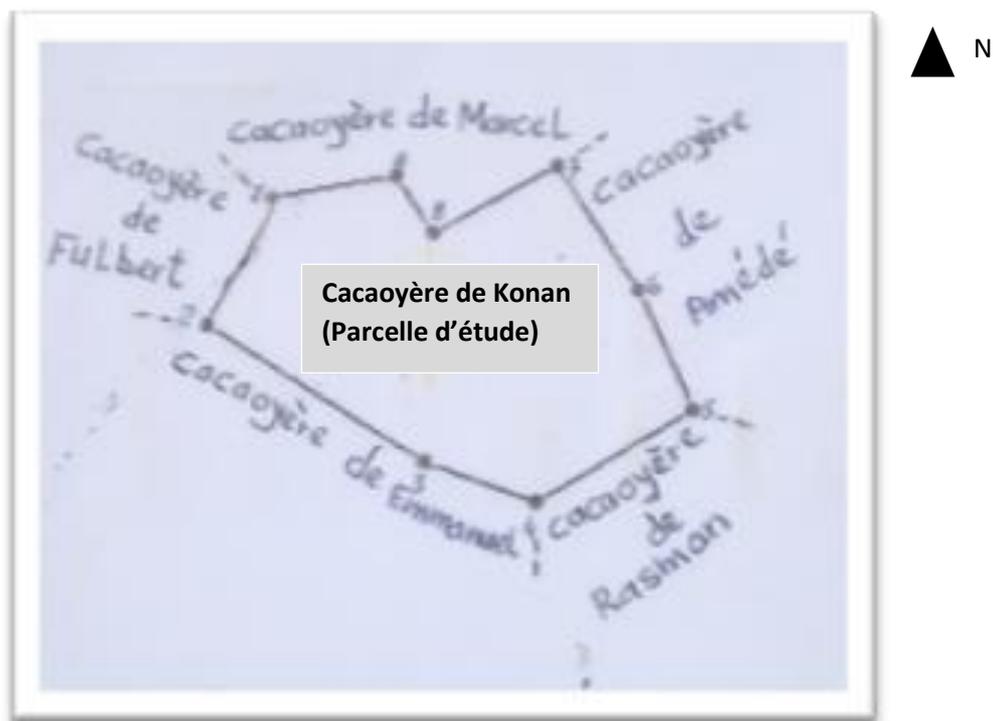


Figure 7 : Représentation schématique de la parcelle d'étude de l'acidité (Assi, 2019).

2.2. MATERIEL

2.2.1. Matériel végétal

Au cours de notre étude, le matériel biologique utilisé se compose de chérelles, fèves et cabosses de cacao (cortex ou péricarpes) (Figure 8). Pour le matériel de fertilisation organique, c'est un engrais organique appelé Huvert élaboré par le Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE).



Figure 8 : Matériel biologique (fèves sèches A et péricarpes fraîches B de cacao).

2.2.2. Matériel technique

Le matériel technique est constitué d'outils agricoles (des machettes, une daba, un sac, des sachets plastiques pour la récolte des échantillons, une cuvette etc.) et de mesures de terrains, véhicules, verrerie de laboratoire, réactifs, dispositifs de titrage, four a moufle et de balance électronique de précision. (Figure 9).



Figure 9 : Four à moufle (à gauche), Balance de précision (au centre) et Verrerie de laboratoire (à droite) pour l'analyse de l'acidité du cacao.

2.3. METHODES

2.3.1. Détermination des caractéristiques physico-chimique du sol expérimental de Koffikro

La caractérisation physique et chimique du sol de la parcelle expérimentale a respectivement été effectuée sur le site d'étude et au laboratoire de chimie de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa. Les différentes étapes ont été :

- Le creusement de fosses pour l'analyse des profils pédologiques et la caractérisation physique du sol ;
- l'échantillonnage de sol ;
- la mesure du pH d'échantillons de sol prélevés en champs expérimental.

2.3.2. Fertilisation organique de la parcelle expérimentale

Le fertilisant organique a été administré en champs selon un plan de Fischer (Figure 10) La parcelle expérimentale a été divisée en 4 sous-parcelles de surfaces identiques. Chaque sous-parcelle était organisée pour recevoir les doses ci-après citées contre témoin T0.

Ainsi, trois doses (1 ; 1,5 et 2 Kg), soit 1 300 kg/ha, 1 900 kg/ha et 2 600 kg/ha respectivement, ont servi d'amendement de la parcelle expérimentale d'une superficie égale à 0,29 ha. Le témoin n'a subi aucune application d'engrais.

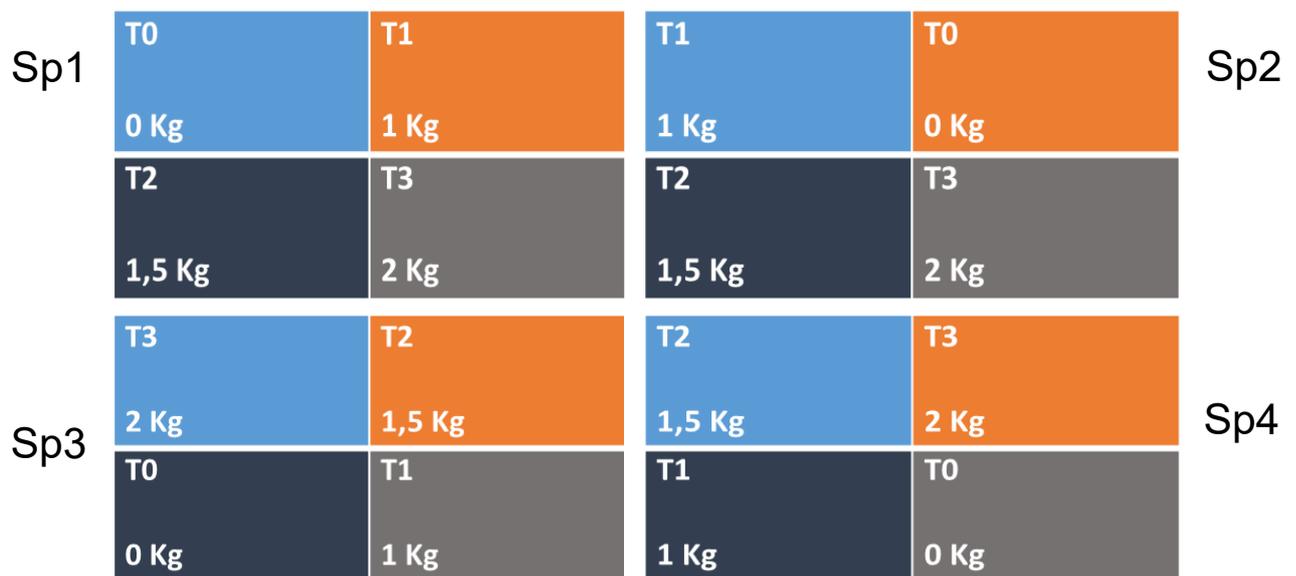


Figure 10 : Présentation du dispositif expérimental organisé en un plan de Fischer

Les observations et la collecte des échantillons ont concerné les chérelles, cabosses et fèves de cacao afin de suivre l'évolution de l'acidité lors de la croissance de la cabosse.

2.3.3. Détermination de l'acidité des fèves, cabosses et chérelles

Seize (16) cabosses par sous-parcelle, soit soixante-quatre (64) au total sur la récolte entière de 384 pieds de cacaoyers ont été échantillonnées à chaque passage pour le dosage du paramètre visé par notre étude. La récolte a eu lieu et les fèves ont été traitées et collectées selon les standards (Augier *et al.*, 1998). Leurs cortex ou péricarpes ont été séchés quant à eux à l'ombre et ramenés au laboratoire pour analyses de l'acidité. Les chérelles ont été échantillonnées puis séchées avant d'être envoyées au laboratoire pour analyses.

2.3.4. Dosage de l'acidité de la cabosse de cacao, fèves et chérelles sous amendement organique (récolte 1 et 2)

L'acidité de la cabosse de cacao (chérelles, fèves et cortex/péricarpe) a été mesurée par pH-métrie et au moyen de la méthode de neutralisation de celle-ci par une solution de soude à 0,1 mol/L. La méthode de dosage de l'acidité est celle utilisée pour mesurer l'acidité des produits alimentaires, notamment le vin. Cette méthode consiste à considérer tous les acides du cacao comme étant de l'acide sulfurique qu'on neutralise avec la soude.

Pour ce faire, une masse de 0,2 g à 0,5 g de poudre fine de chaque constituant de la cabosse a été prélevée et dissoute dans 100 ml d'eau distillée chauffée à environ 40°C. Ensuite, un

volume de 10 ml de la solution obtenue a été prélevé et introduit dans un bécher de 200 ml. Deux (2) ml de bleu de Bromothymol (BBT) a été ajouté comme indicateur coloré. Par la suite, la solution a été dosée en présence d'hydroxyde de sodium. Trois réplicas ont été effectués et le volume moyen de base versé a été noté.

La masse d'acide a été calculée selon la formule suivante :

$$m = MCv$$

Avec m = masse acide (g/g de matière sèche)

M = Masse molaire de l'acide

C = concentration de la solution titrante

V = volume de la solution titrante

2.3.5 Analyses statistiques des données

La comparaison des deux moyennes d'acidité (expérimentale et seuil) a été menée pour aider à conclure les observations faites lors de nos travaux.

Pour ce faire, la normalité des données a été testée sous le test de *t-student* à 5% de degré de confiance. Lorsque la normalité était supérieure à 5%, le test de comparaison des deux moyennes (acidité expérimentale et seuil) était conduit sous le test de Shapiro-Wilk au niveau de confiance de à 5%. Deux hypothèses dont la nulle (H_0) et non nulle (H_1) ont été formulées comme suit :

$$H_0 : \mu \leq \mu_0$$

$$H_1 : \mu > \mu_0$$

Avec H_0 : acidité fèves de cacao plus faibles que l'acidité seuil de l'USDA (2019),

H_1 : acidité fèves de cacao plus élevée que l'acidité seuil de l'USDA (2019),

μ : acidité moyenne des fèves de cacao

μ_0 : acidité seuil de l'USDA (2019).

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 par exemple, est exprimé par la p-valeur rendue par le logiciel R après calcul. Les conditions de ce rejet sont libellées ci-après selon (Chesneau, 2018)

- ✓ Rejet significatif de H_0 si la p-valeur $\in] 0,01 ; 0,05]$, indiquée par *,
- ✓ Rejet très significatif de H_0 si la p-valeur $\in] 0,001 ; 0,01]$, indiquée par **,
- ✓ Rejet hautement significatif de H_0 si la p-valeur $< 0,001$; indiquée par ***,
- ✓ Pas de rejet de H_0 si la p-valeur $> 0,05$.

PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. RESULTATS

3.1.1. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sans amendement organique à la récolte 1

L'évolution de l'acidité des chérelles, fèves et péricarpes de cacao, sans amendement organique Huvert, est présentée sur la (figure 11).

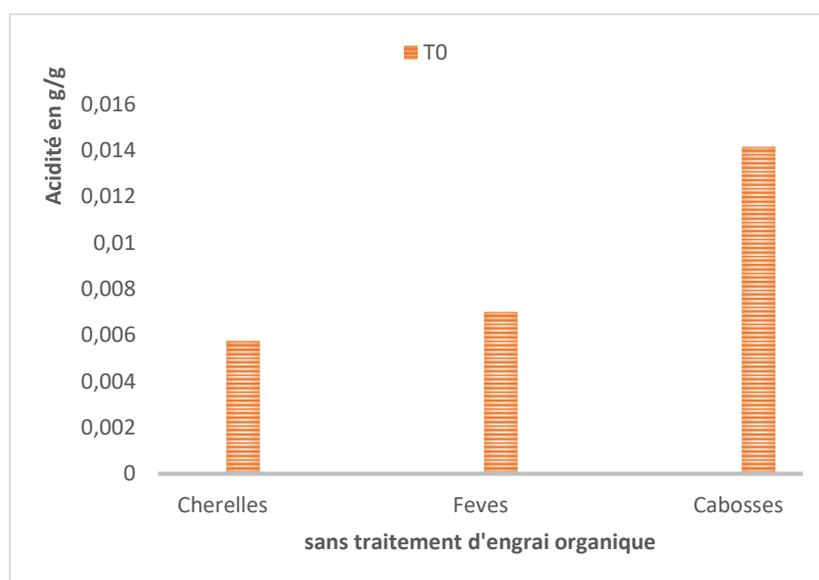


Figure 11 : Variation de l'acidité des composantes du cacao sans apport d'engrais organique à la récolte 1.

Nous observons une acidité régulièrement croissante mais particulièrement élevée pour les péricarpes de cacao à la récolte 1. Les concentrations moyennes d'acidité des chérelles et des fèves ont varié de 0,005 – 0,007 g/g. Quant aux péricarpes, leur acidité moyenne a été égale à 0,014 g/g.

3.1.2. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sans amendement organique à la récolte 2.

La variation de l'acidité du cacao (étapes de chérelles, fèves et ses péricarpes) à la récolte 2 est présentée à la (figure 12).

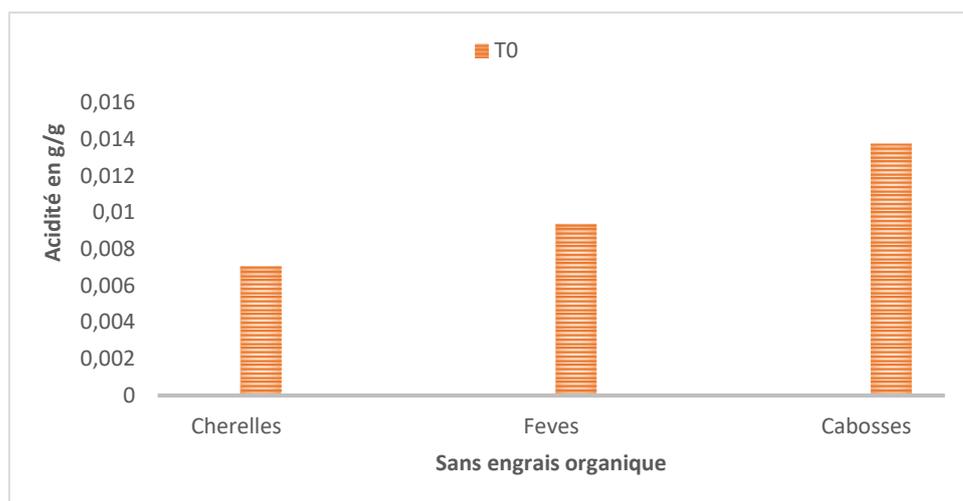


Figure 12 : Variation de l'acidité des composantes du cacao sans apport d'engrais organique à la récolte 2.

L'acidité moyenne des chérelles a été égale à 0,0071 g/g. Celle des fèves a atteint 0,009 g/g. Ces concentrations ont accru de 0,002 g/g d'acide de la première à la deuxième récolte. Seules les péricarpes ou cabosses ont conservé leur acidité moyenne de la première récolte (0,014 g/g). Ces valeurs montrent une augmentation potentielle de l'acidité du cacao produit sans engrais organique de la première à la deuxième récolte.

3.1.3. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sous amendement organique après la première récolte

La variation de l'acidité des composantes du cacao (fèves y compris) produit sous amendement d'engrais organique Huvert à la première récolte est présentée à la (figure 13).

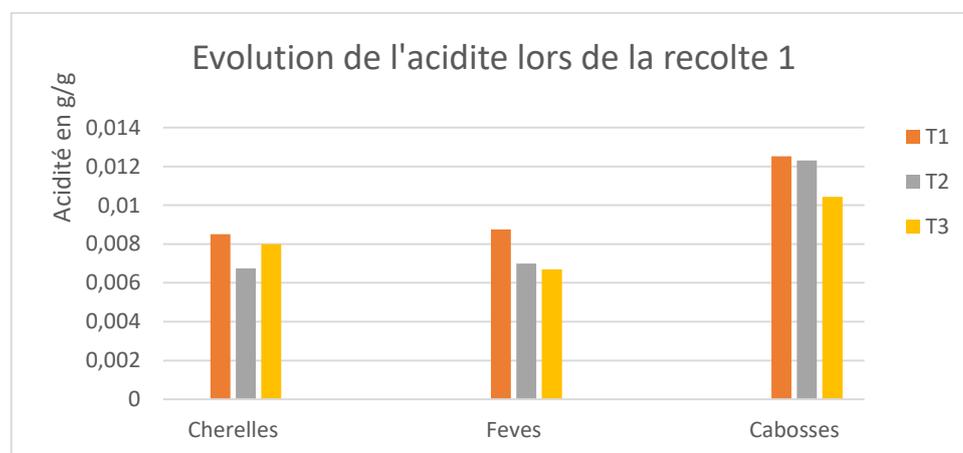


Figure 13 : Evolution de l'acidité du cacao en fonction des doses T₁, T₂ et T₃ d'engrais organique Huvert à la récolte 1.

En présence de la dose T₁ d'engrais organique Huvert, les chérelles ont révélé une acidité moyenne égale à 0,00850 g/g. Cette acidité moyenne a montré une légère augmentation à l'étape de fèves 0,00875 g/g. La dose T₂ a généré une acidité moyenne des chérelles plus faible (0,00675 g/g) que celle des fèves (0,0070 g/g). La dose T₃ a montré globalement une acidité plus faible pour les chérelles, fèves et péricarpes à la récolte 1. Cette observation se confirme chez les péricarpes qui ont toutes fois montré une acidité plus faible (0,0125 – 0,0104 g/g) que celles produites sans engrais organique Huvert pour les mêmes récoltes.

3.1.4. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sous amendement organique à la deuxième récolte

La variation de l'acidité moyenne des composantes du cacao produit sous amendement d'engrais organique Huvert à la deuxième récolte est présentée à la (figure 14).

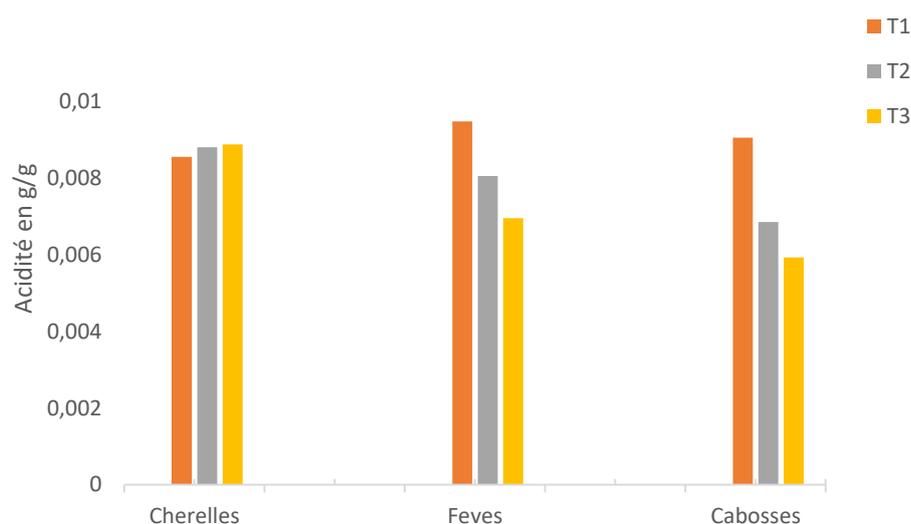


Figure 14 : Evolution de l'acidité du cacao en fonction des doses T₁, T₂ et T₃ d'engrais organique Huvert à la récolte 2.

A la deuxième récolte, l'acidité des chérelles de cacao s'est révélée plus grande qu'à la première récolte. Ce qui n'a pas été le cas pour les cabosses (péricarpes). Les variations ont été plus importantes lors de la première récolte qu'à la deuxième en ce qui concerne la dose T₂. A la deuxième récolte, les effets des doses d'engrais ont décliné dans l'ordre T₁, T₂ et T₃.

3.1.5. Variabilité de l'acidité des fèves du cacao sous amendement Huvert par rapport au seuil de l'USDA

La comparaison de l'acidité moyenne des fèves de cacao en valeur absolues est présentée à la (figure 15).

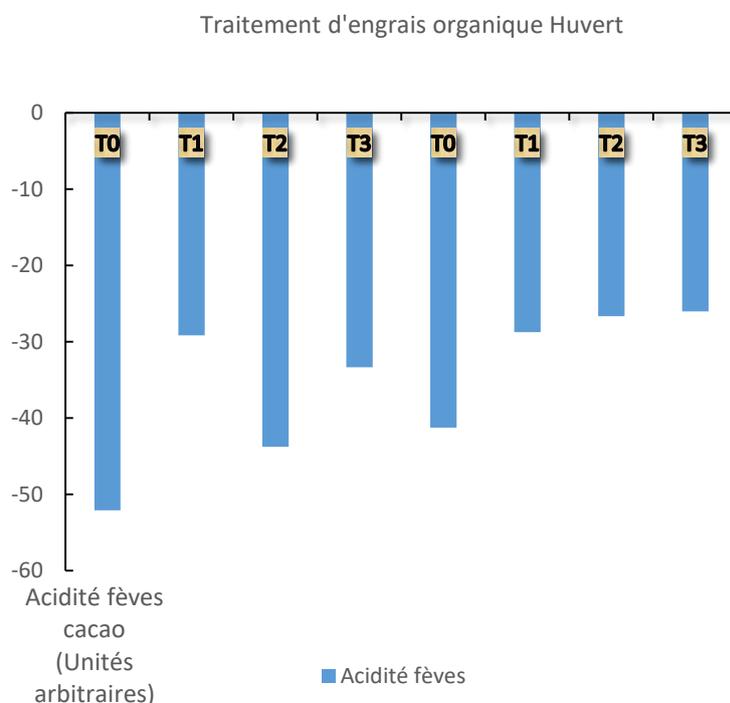


Figure 15 : Variation de l'acidité des fèves de cacao produites sous amendement organique Huvert, par rapport au seuil USDA(2019).

Le zéro (0) d'abscisse représente la valeur seuil de l'USDA (2019) qui est de 0,012 g/g de cacao. L'effet de la dose d'engrais est important d'autant plus que la barre est longue. Ainsi, la dose T₂ a généré une acidité globalement plus faible que les autres doses T₁ et T₃. Cependant, seule une analyse statistique est l'outil de confirmation ou non de ces observations.

3.1.6. Comparaison des moyennes d'acidités expérimentale et seuil de l'USDA (2019)

Les résultats de la comparaison des moyennes d'acidités expérimentale et seuil de l'USDA (2019) sont indiqués dans le tableau 1.

Tableau I : Comparaison des acidités moyennes de fèves de cacao produites sous amendement organique Huvert

Paramètres	Dose d'engrais organique Huvert							
	Récolte 1				Récolte 2			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Acidité moyenne des fèves de cacao	0,00875	0,00697	0,00670	0,00670	0,00950	0,00695	0,00805	0,00695
Ecart-type	$5,77.10^{-6}$	0,00096	$1,26.10^{-5}$	0,0004	0,0063	0,00041	$5,77.10^{-5}$	$5,77.10^{-5}$
Acidité seuil USDA (2009)	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
p-valeur (t-test 95%)	0,024	0,270	0,270	0,410	0,120	0,034	0,880	0,024
p-valeur (Shapiro-Wilk 5%)	0***	0,00320	0***	0***	0,09500	0,00058***	0***	0***

Il est apparu que les valeurs d'acidité des fèves produites sous les doses T₁, T₂, T₃ (récolte 1) et T₂ seulement (récolte 2) d'engrais organique Huvert étaient normalement distribuées. Les p-valeurs du test de (Shapiro-Wilk 5%) sur ces données ont varié de 0,27 à 0,88 des récoltes 1 à 2. En dehors du témoin T₀ à la récolte 2 et de T₁ à la récolte 1, toutes les doses d'engrais organique Huvert ont des effets hautement significatifs sur la réduction de l'acidité résiduelle des fèves de cacao. Les p-valeurs ont varié de 0 à 0,0032.

Que pouvons-nous dire de ces résultats ?

3.2. DISCUSSION

3.2.1 Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sans amendement organique

De manière générale nous constatons une augmentation rapide de l'acidité au fil des récoltes pour les échantillons de fèves, chérelles et péricarpes de cacao sans amendement organique. Les péricarpes de cacao ont détenu ainsi la plus grande valeur de l'acidité. Les fèves de cacao en elle-même et les chérelles ont montré une acidité moyenne plus basse que les seuils (Augier *et al.*, 1998). Cette augmentation de l'acidité des chérelles de cacao se traduirait par une accumulation de celle-ci au cours de sa croissance à cause des conditions culturales (Ndoutoumou *et al.*, 2019).

3.2.2. Evaluation de l'acidité des fèves, chérelles et péricarpes de cacao sous amendement organique après la première et deuxième récolte

L'acidité des fèves de cacao produites sous amendement d'engrais organique Huvert a diminué des doses T₁ à T₃. En valeurs absolues, la dose T₃ a présenté la faible acidité. Il s'en est suivi la dose T₂ et enfin T₁ ; contre témoin. La plus faible acidité du témoin (à la première récolte) est similaire aux maximums des doses T₂ et T₃. Autrement, l'acidité du témoin est remonté pour atteindre 0,00936 g/g de cacao. Seule la dose T₁ a égalé l'acidité du témoin.

Pour les péricarpes, la dose T₃ (2 600 Kg/ha) a montré la plus faible acidité (0,010 et 0,0059 g/g de cacao) contre témoin (0,01415 et 0,01375 g/g) aux récoltes 1 et 2. Les doses T₂ (1 900 Kg/ha) et T₁ (1 600 Kg/ha) ont entraîné des acidités intermédiaires entre T₃ et T₀. Les péricarpes ont été les seules composantes du cacao à avoir égalé l'acidité seuil (Augier *et al.* 1998).

Ainsi, la première récolte a montré globalement des niveaux d'acidité plus faibles que la deuxième récolte. Spécifiquement, les doses T₁ et T₃ d'engrais Huvert ont exercé un effet quasi similaire sur l'acidité du cacao. Les acidités respectives étaient de 0,0085 g/g contre 0,00855 g/g et 0,0080 g/g contre 0,00888 g/g. Tandis que la dose T₂ baissait l'acidité à 0,00675 g/g de cacao à la récolte 1. L'acidité sous cette dose, à la récolte 2, a été similaire à celle de T₁ et T₃.

3.2.3 Comparaison des moyennes d'acidités expérimentale et seuil de l'USDA

La normalisation et l'analyse statistique des données ont révélé qu'il y a une différence significative entre l'acidité des fèves de cacao produites sous amendement d'engrais organique Huvert et les témoins. En effet, seules les données expérimentales ont présenté une distribution normale ($27\% < p\text{-valeur} \leq 88\%$). Le témoin ne s'est présenté sous cette forme que faiblement (12%) à la récolte 2. Ainsi, la dose T₂ a consolidé sa distribution normale sur les deux (2) récoltes (27% et 88% respectivement). Ce résultat fait de la dose T₂, la dose optimale pour la réduction de l'acidité post-récolte du cacao sous fumure organique Huvert. Cette observation confirme le postulat que la forte acidité post-récolte du cacao est majoritairement inhérente à l'appauvrissement nutritive et surtout organique des sols de cultures (Augier *et al.* 1998). Cependant, la fumure organique au moyen de fientes (Ruf & Kaboré, 2017) semble ne pas venir à bout de cette contrainte culturale. La pratique optimale est de composter à priori ces fientes avant leur utilisation en champs (Maboune *et al.*, 2017 ; Ndoutoumou *et al.*, 2019). Les résultats sont non seulement la réduction des pressions parasitaires, mais et surtout, la réduction de l'acidification des sols en amont et fèves de cacao en aval. L'optimisation des caractéristiques pédologiques et agronomiques des fèves est réalisée sous cette condition (Kébé & N'guessan, 2003 ; Akpétou *et al.*, 2019).

Ces observations n'auraient pas été aisées avec les valeurs absolues des données d'analyses chimiques. En effet, la normalisation des valeurs d'acidité post-récolte des fèves de cacao a, certes, indiqué une allure négative des courbes par rapport au seuil de l'USDA (2019). Cependant il n'en demeure pas moins vrai que l'acidité des fèves de cacao produites sous engrais organique Huvert s'est montrée plus élevée que celle des fèves témoins ; exception faite de la récolte 2. Ce constat souligne le risque dans l'appréciation des effets de l'engrais organique Huvert sur la réduction de l'acidité post-récolte des fèves de cacao. Les caractéristiques physico-chimiques de cet engrais ont efficacement amélioré la santé du sol de culture expérimentale (Ankush & Diwedi, 2019). L'optimisation des productions agricoles pourrait ainsi dépendre de la valorisation des déchets comme c'est le cas de l'engrais organique Huvert (Augier *et al.*, 1998 ; Maboune *et al.*, 2017 ; Akpétou *et al.*, 2019).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION

L'étude de la réduction de l'acidité post-récolte de fèves de cacao a été possible par échantillonnage puis analyse du cacao et ses composantes à chacune des étapes de son développement ; sous amendement du sol de culture en engrais organique Huvert. Cet engrais organique, produit d'un processus de compostage rapide, a permis l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques du sol et des fèves de cacao.

Ainsi, la réduction de l'acidité post-récolte des fèves de cacao a été obtenue dès la première année d'utilisation de l'engrais organique Huvert. Cette chute de l'acidité a été importante à la première récolte des cabosses de cacao. Il s'en est suivi une remontée rapide de l'acidité de la première à la deuxième récolte ; due certainement à l'amenuisement des réserves nutritives fournies au sol par l'engrais organique Huvert. Cette observation confirme le fait que l'acidité post-récolte des fèves de cacao résulte de l'appauvrissement des sols de cultures en matières organiques.

Globalement, l'acidité post-récolte des fèves de cacao produites sous amendement organique Huvert s'est révélée plus faible que le seuil de l'USDA (2019). L'analyse statistique des données brutes a permis d'établir la différence entre l'acidité des fèves produites sous amendement organique, les témoins et le seuil. Autrement, il serait quasi impossible d'éclaircir l'effet de l'engrais organique Huvert sur la réduction de l'acidité post-récolte des fèves de cacao.

La dose T₂ (1900 Kg/ha) a été l'optimum de fumure de la parcelle expérimentale. Les autres doses (T₁ et T₃) ont montré des effets un peu plus faibles sur l'acidité. De fait, l'acidité post-récolte des fèves de cacao s'est accrue de 87% en moyenne de la première à la deuxième récolte. Ce constat a souligné la nécessité de la détermination des doses optimales et de la qualité des engrais utilisés dans les exploitations agricoles ; sous réserves de stress pédologiques dus à des carences ou excès en sels nutritifs. En sorte que les conditions du maintien de la basicité post-récolte des fèves de cacao et du sol de cultures sur le long terme ne soit pas un problème trop difficile à élucider lors d'études ultérieures.

REFERENCES

- Akpétou Kouamé Lazare, Djéda Tagbo Rodrigue, Assi Attiapo Pepin, Brou Akahoua David & Dongui Bini Kouamé, (2019). Optimisation de la teneur potassique du cacao au moyen d'une fertilisation organique d'un sol en champ semencier. *International Journal of Advanced Research (IJAR)*, 7(12), pp: 105-111. doi: 10.21474/IJAR01/10132.
- Alverson WS, Whitlock BA, Nyffeler R, Bayer C & Baum DA (1999). Phylogeny of the core Malvales : Evidence from ndhF séquence data. *American Journal of Botany* 86 (10): 1474-1486.
- Ankush, Vikram Singh & Aniket Diwedi, (2019). Application of Sewage Sludge Influencing Soil Health and Crop Production. In Current Research. *in Soil Fertility*, : 1-17. doi : 10.22271/ed.book.437.
- Anonyme, 2004. Recensement National de l'Agriculture RNA 2001. République de Côte d'Ivoire. Ministère d'Etat, Ministère de l'Agriculture. CD Rom.
- Anonyme, 2007. Le cacao. Atlas de l'intégration régionale en Afrique de l'Ouest. Série économique. Disponible à partir de www.atlas-ouestafrique.org. 16 p. Consulté le 13/07 /11.
- Anonyme, 2011. Food and Agricultural commodities production; FAO, 2011; Consulté le 19/07/2011.
- Anonyme (2015). Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements. Ed, M. J. and Dand, R. Editors, 104 p.
- Asomaning E.J.A. Kwakwa R.S., & Hutcheon W.V. (1971). Physiological studies on an Amazon shade and fertilizer trial at the Cocoa Research Institute, Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science* 4(1), pp: 47- 64.
- Augier F., Nganhou J., Barel M., Benet, J.C., & Berthomieu G., 1998. Réduction de l'acidité du cacao lors du séchage. Séchage : pp :127-133.
- Avit J-BLF, Pedia PL, Sankaré Y, (1999). Diversité biologique de la Côte d'Ivoire. Rapport de Synthèse. Ministère de l'Environnement et de la Forêt, 273 p.

- Boli Z. & Roose E., (2000). Rôle de la jachère de courte durée dans la restauration de la productivité des sols dégradés par la culture continue en savane soudanienne humide du Nord-Cameroun. pp.149-154.
- Barel M. (2013). Qualité du cacao : l'impact du traitement post-récolte. Versailles: Quae
- Braudeau J., (1969). Le cacaoyer. Techniques Agricoles et Productions Tropicales. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 304 p.
- CAOBISCO/ECA/FCC (2015). Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements. Ed. M. J. and Dand, R. Editors, 104 p
- Cuatrecasas J., 1964. Cacao and its allies. A taxonomic revision of the genus Theobroma. Contributions from the United States National herbarium, Washington, 6, pp: 379 – 614.
- Deheuvels O., (2003). Dynamiques de plantation et replantation cacaoyères en Côte d'Ivoire: comparaison de choix techniques avec Olympe. Séminaire « Olympe » Montpellier, France, septembre 2003, 13p.
- Demol J., 2002. L'amélioration des plantes. Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Ed. Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique, 560 p.
- Enriquez & Parades, (1989). El cultivo del cacao. Serie Cultivos mayores no 4, 1989
- Eskes A. & Lanaud C. (1997). Le cacaoyer. In: L'amélioration des plantes tropicales, CIRAD, Montpellier, France, pp: 116-125.
- FAO, 2011. Food and Agricultural commodities production. Consulté le 19/03/2020.
- Hartemink A.E. (2005). Nutrient Stocks, Nutrient Cycling, and Soil Changes in Cocoa Ecosystems: A Review. In: *Advances in Agronomy*, Elsevier, pp: 227–253.
- ICCO (International Cocoa Organization) (2017). Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, No. 3, Cocoa year 2016/2017.
- Jacquet M., Hahn J., Lotodé R. & Vincent J.VC., 1980. Le séchage artificiel des fèves de cacao. Café Cacao Thé 24 (1) : 43-56.L.) en Côte d'Ivoire : paramètres génétiques chez les

- deux populations constitutives après treize années d'observation. International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima (Peru), 12 p.
- Jardin P., (1976). Relationship between the chemical potentials of the soils in Ivory Cost and the production of coco trees. *Café cacao* 287-296.
- Kassin K. E., Koko L. K., N'goran K. E., Yao-Kouame A. & Yoro G. R., (2012). Sols favorables à la cacaoculture au centre-ouest de la Côte d'Ivoire dans un contexte d'assèchement climatique. *Internaional Journal Biogical and Chemical Sciences* 6 (3): 1148-1157.
- Kébé B. I. & 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.
- Koua SH, Coulibaly NAMD & Alloué-Boraud WAM (2018). Caractérisation des vergers et des maladies de cacao de Côte d'Ivoire : cas des départements d'Abengourou, Divo et Soubré. *Journal of Animal & Plant Sciences* 35 (3): 5706-5714.
- Lachenaud P (2014). Guide d'identification des cacaoyers. CIRAD-BIOS, Upr 106, 15 p.
- 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 bycomposting with addition of tithonia diversifolia. *Int. J. of Res. in Pharm. and Biosci.*, 4(4): 32-42.
- MINAGRA, 2004. Recensement National de l'Agriculture (RNA) 2001. République de Côte d'Ivoire. Ministère d'Etat, Ministère de l'Agriculture. CD Rom.
- Mossu (1990). Le cacaoyer. Collection le technicien d'Agriculture Tropicale, Maisonneuve et Larose, Paris (France) : 159 pages.
- Motamayor JC, Rlsterucci AM, Lopez PA, Ortiz CF, Moreno A & Lanaud C (2002). Cacao domestication 1: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89 (5): 380-386.
- Ndoutoumou P. N., Ndong A. N., Anda C. C. O., Midoumbou F. P. N., Ognalaga M. & Missang C. E., (2019). Régénération du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) sur un substrat à base de compost de *Jatropha curcas* L. *International Journal of Biological Chemical Sciences*, 13(2) : 1043-1053.

- NESTEC, (1991). Influence of genetic factors and agroclimatic conditions on the quality of cocoa. In : 11th international congress on cocoa and chocolate, Munich, Allemagne, mai 1991.
- Pamphile N., Ndong A., Oye Anda C.C., Midoumbou F., Ognalaga M. & Missang C. (2019). Régénération du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) sur un substrat à base de compost de *Jatropha curcas* L. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13: 1043.
- Philippe B., (2007). Le cacao. Atlas de l'intégration régionale en Afrique de l'Ouest. Série économique. Disponible à partir de www.atlas-ouestafrique.org. 16 p. Consulté le 20/04/2020.
- Powell B. D., (1958). The rapid artificial drying of cocoa beans and chocolate flavour. *Trop. Agr.* 35 (5), pp: 200-204..
- Ruf F. et Kiendré J., (2017). « Innovations Fumures organiques » et résilience au changement climatique dans les cacaoyères de Côte d'Ivoire, 30p.
- Schwan R. F. & Wheals A. E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, pp: 205-221.
- Uribe A., Méndez H., Mantilla J., (2001). Effect of balanced fertilizers on cocoa yield. *Better Crops International* 15(2), 3p.
- USDA, (2019). Cocoa, dry powder, unsweetened, SR Legacy, FDC ID 169593, consulté le 02/09/19.
- Van V.J.A. & Giller K. E., (2017). Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. *Adv. in Agro*, 141: 185-270. Doi : 10.1016/bs.agron.2016.10.017.
- Vos J.G.M., Barbara J., Ritchie & Flood J., (2003). A la découverte du cacao. Un guide stimulant pour la formation des facilitateurs. CABI Biosciences, a division of CAB International, pp : 11-58.
- Whitlock BA, Bayer C & Baum DA (2001). Phylogenetic relationships and floral evolution of the Byttnerioideae ("Sterculiaceae" or Malvaceae s.l.) based on sequences of the chloroplast gene, *ndhF*. *Systematic Botany* 26 (2): 420-437.

Wood G.A.R. & Lass R.A. (1989). Cocoa. Tropical agriculture series. Edition, Longman, 620p.

RESUME

Une expérience de réduction de l'acidité post-récolte des fèves de cacao a été menée Koffikro, Duékoué (Côte d'Ivoire). Le matériel utilisé est un engrais organique dénommé Huvert, produit sous un processus de compostage rapide et amélioré. Une méthode de fumure séquentielle (1 600 Kg/ha, 1 900 Kg/ha et 2 600 Kg/ha) a été appliquée à la parcelle expérimentale organisée en un plan de Fischer. Les analyses statistiques des données chimiques ont montré que ces doses, respectivement T₁, T₂ et T₃, ont toutes contribué à réduire significativement l'acidité post-récolte des fèves de cacao dès la première année d'utilisation. L'acidité seuil (0,012 g/g) a été ainsi réduite de 55-72% au terme de l'expérience. Les acidités moyennes obtenues sous T₁, T₂ et T₃ ont varié entre 0,0067 - 0,00805 g/g. Spécifiquement, la dose T₂ (1 900 Kg/ha) d'engrais organique Huvert s'est révélée comme étant la dose optimale d'amendement organique du sol de culture. Cependant, les effets de réduction de l'acidité des fèves de cacao par Huvert se sont amoindris de la première à la deuxième récolte. La nécessité d'études ultérieures pour le maintien sur le long terme de ces effets s'avère indiscutable.

Mots clés : Acidité, cacao, fumure organique, compostage rapide, Huvert, Duékoué.

ABSTRACT

An experiment to reducing the post-harvest acidity of cocoa beans was carried out from March to January 2018 in the Koffikro village, town of Duékoué (Ivory Coast). Material is an organic fertilizer called as Huvert, produced under a rapid and improved composting process.

A sequential method of fertilization (1600kg/ha, 1900kg/ha and 2600kg/ha) was applied to a Fischer experiencing parcel. Statistical analysis of the chemical data generated from the respective doses T₁, T₂ and T₃, showed significant contribution to reducing the post-harvest acidity of cocoa beans from the first year of use. Thus, seuil acidity (0,012 g/g) decreased by 55-72 % at the end of the experience. The average acidity obtained under T₁, T₂, and T₃ doses varied between 0,0067-0,00805 g/g. Specifically, the T₂ dose (1900 kg/ha) of organic fertilizer Huvert was shown to be the optimal dose of organic amendment of the farming soil. However, the effects of reducing the acidity of cocoa beans by Huvert depleted from the first to the second harvest. The need for further studies to maintain the long-term effects of Huvert on reducing post-harvest acidity of cocoa beans is pivotal.

Keywords: Acidity, cocoa, organic fertilizer, rapid composting, Huvert, Duékoué.