

**« EVALUATION DE LA QUALITE MARCHANDE,  
BIOCHIMIQUE ET ORGANOLEPTIQUES DES FEVES DE  
CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.1753) ISSUES DES  
NOUVEAUX SUPPORTS DE FERMENTATION A  
SOUBRE DANS LES REGIONS DU DE LA NAWA (COTE  
D'IVOIRE) ».**

**KONAN Kouakou Ahossi<sup>1</sup>, COULIBALY Ibourahema<sup>1</sup>, KOUASSI Kra  
Athanas<sup>1</sup>, Marie-laure Fauconnier<sup>2</sup>**

1. Jean Lorougnon GUEDE University, Biochemistry-  
Microbiology Department, Agrovalorisation Laboratory, BP 150  
Daloa, Côte d'Ivoire

[konankouakouahossi@gmail.com](mailto:konankouakouahossi@gmail.com) ; Maître de conférences des  
universités du CAMES

[Coulibalyibouraima.ujlog.com@gmail.com](mailto:Coulibalyibouraima.ujlog.com@gmail.com) Maître de Conférences  
des universités du CAMES ; [kraathanase@yahoo.fr](mailto:kraathanase@yahoo.fr)

2. Head of the laboratory of chemistry of natural molecules,  
Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liège, passage des deprotés,  
2 – 5030, Gembloux -Belgique

Professeur ordinaire ; [Marie-Laure.Fauconnier@uliege.be](mailto:Marie-Laure.Fauconnier@uliege.be)

## **Résumé**

**Introduction** : La fermentation des fèves de cacao est une étape très  
cruciale dans l'obtention des fèves de bonne qualité marchande et  
organoleptique, des produits dérivés obéissant aux exigences  
internationales.

**Objectif** : Cette étude a pour objectif principal de caractériser la  
qualité des fèves de cacao résultantes des nouveaux supports et  
sélectionner les meilleurs.

**Méthodologie** : La température de fermentation, le degré de  
fermentation et le niveau (Cut- test) de dégradations des fèves, le taux  
d'humidité justes après du séchage, le pH par un pH-mètre et l'activité  
de l'eau ont été mesurés. Le pourcentage de matière grasse du beurre  
de cacao, le profil des acides gras par la GC-FID, la consistante des  
fèves (le grainage) et les composés volatils pour l'arôme par la GC-MS  
ont été également déterminés.

**Résultats** : Les feuilles de bananier ont été utilisées comme référence (F1). La température de fermentation des fèves (F1 et F2 $\geq$ 45°C) et F3 $\leq$ 34°C. Le degré Brix des pulpes diminuait faiblement en F3 au cours de fermentation. Les fèves séchées dans les cabosses de cacao ont donné un pH plus élevé (pH =6,25). Le taux d'humidité des fèves de (F1, F2, F4, F5<7, F3=6,47 $\pm$ 0,23) et F5=9,10 $\pm$ 0,23. Dans tous les supports utilisés les fèves obtenues étaient consistantes avec une moyenne. Le Cut test a permis d'obtenir de fèves de grades I sauf F3 qui est de grade II, avec le taux de fèves germées TG>3%. F3 à une plus grande teneur en matière grasse supérieure à 57%. Quatre principaux acides gras libres ont été identifiés et quantifiés avec les taux des acides oléiques plus élevés et une teneur plus grande dans F1, F2 et F5 supérieur à 45%.

**Conclusion** : Les nouveaux supports, l'exception des cabosses de cacao, sont susceptibles de produire de meilleures qualités de fèves de cacao

**Mots clefs** : fermentation, cacao, support, qualité, arôme, beurre de cacao

### **Abstract**

**Introduction:** The fermentation of cocoa beans is a very crucial step in obtaining beans of good marketable and organoleptic quality, derived products that meet international requirements.

**Objective:** The main objective of this study is to characterize the quality of cocoa beans resulting from new supports and to select the best ones.

**Methodology:** The fermentation temperature, the degree of fermentation and the level (Cut-test) of degradation of the beans, the humidity rate just after drying, the pH by a pH meter and the water activity were been measured. Cocoa butter fat percentage, fatty acid profile by GC-FID, bean consistency (graininess) and volatile compounds for flavor by GC-MS were also determined.

**Results:** Banana leaves were used as reference (F1). The fermentation temperature of the beans (F1 and F2 $\geq$ 45°C) and F3 $\leq$ 34°C. The Brix degree of the pulps decreased slightly in F3 during fermentation. Beans dried in cocoa pods gave a higher pH (pH=6.25). Bean moisture content of (F1, F2, F4, F5<7, F3=6.47 $\pm$ 0.23) and

F5=9.10±0.23. In all the supports used, the beans obtained were consistent with an average. The Cut test made it possible to obtain grade I beans except F3 which is grade II, with the rate of germinated beans TG>3%. F3 has a higher fat content above 57%. Four main free fatty acids have been identified and quantified with higher oleic acid levels and a greater content in F1, F2 and F5 greater than 45%.

Conclusion: New carriers, with the exception of cocoa pods, are likely to produce better qualities of cocoa beans

**Keywords :** fermentation, cocoa, support, quality, aroma, cocoa butter

## **Introduction**

Le cacao (*Theobroma cacao* L), connu comme étant la nourriture des dieux, est une culture de rente très importante dans l'économie de plusieurs pays tropicaux (Koudjega et Tossah, 2009 cités par Adden, 2017). Il a été introduit en Côte d'Ivoire à la fin du 19ème siècle dans sa région Est (Kouakou *et al.*, 2013). Ce secteur contribue à 15 % du Produit Intérieur Brut (PIB) et à 40 % des recettes d'exportation du pays (Dufumier, 2016). Avec une récolte annuelle de 1 964 000 tonnes soit 42,22 % de la production mondiale au cours de la campagne 2021-2022, la Côte d'Ivoire est le premier pays producteur et exportateur mondial de cacao depuis les années 1960 -1970. Cependant la transformation technologique du cacao en fève marchande est très longue et nécessite un processus primaire de manutention poste récolte (Thompson *et al.*, 2001). En effet dans le milieu paysan, les agriculteurs ; après avoir récolté les cabosses de cacao, soumettent les graines à un processus de fermentation naturelle, (Schwan & Wheals, 2004 ; Lima *et al.*, 2011) et sans ce procédé de fermentation, les fèves de cacao crues et séchées ne développent pas la saveur typique du cacao lors de la torréfaction (Afoakwa *et al.*, 2008). Routiers *et al.* (2019) ont noté une augmentation de la concentration de certains volatils variétaux pendant la fermentation. Considéré comme étape clé, c'est lors de la fermentation que les précurseurs principalement des sucres et des acides aminés sont générés (Jinap, Siti, & Norsiyati, 1994 ; Aprotosoai *et al.*, 2016;). Le défaut de qualité prédominant associé au cacao ivoirien est l'important pourcentage de fèves ardoisées et de fèves moisies, dues à une mauvaise fermentation et à un mauvais séchage (Kouakou *et al.*, 2013). La recherche des causes de cette mauvaise qualité a souvent amené à revoir les pratiques post-récolte du cacao (Cros & Jeanjean, 1995) notamment

la technique de fermentation qui participe et imprime en général les qualités marchandes et organoleptiques des produits destinés à la transformation (Schwan & Wheals, 2004). Un mauvais traitement des fèves de cacao après la récolte peut être à l'origine de l'apparition de certaines altérations (moisissure, pourriture, germination...). Cependant, de nouveaux supports de nos jours utilisés pour la fermentation des fèves sans que la qualité de ces fèves ne soit évaluée. Toutefois, les fèves issues de ces nouvelles technologies de fermentation n'ont pas encore fait l'objet d'étude en Côte d'Ivoire (Konan *et al.* ; 2023). Cette étude a pour objectif principal est d'évaluer les paramètres de la qualité des fèves de cacao résultants des nouveaux supports et de valider l'utilisation de ces nouveaux supports de fermentation tous en comparant les résultats aux fèves issues des nouveaux supports des feuilles de bananier pour une validation.

## **1. Matériel et méthode**

### ***1.1. Support de fermentation***

Six techniques de fermentations ont été effectuées :

F : la fermentation dans les feuilles de bananier (**F1**) qui est le témoin ;

A : la fermentation dans les feuilles de palmiers(**F2**) ;

B : la fermentation dans les cabosses de cacao (**F3**) ;

C : la fermentation dans la bâche en polypropylène (**F4**) ;

D : la fermentation dans les sacs en polypropylène (**F4**) ;

E : la fermentation dans les sacs en jute (**F6**) ;

Toutes les fermentations ont été réalisées chez le même producteur (paysan), dans une même plantation, à l'abri des intempéries et des courants d'air.

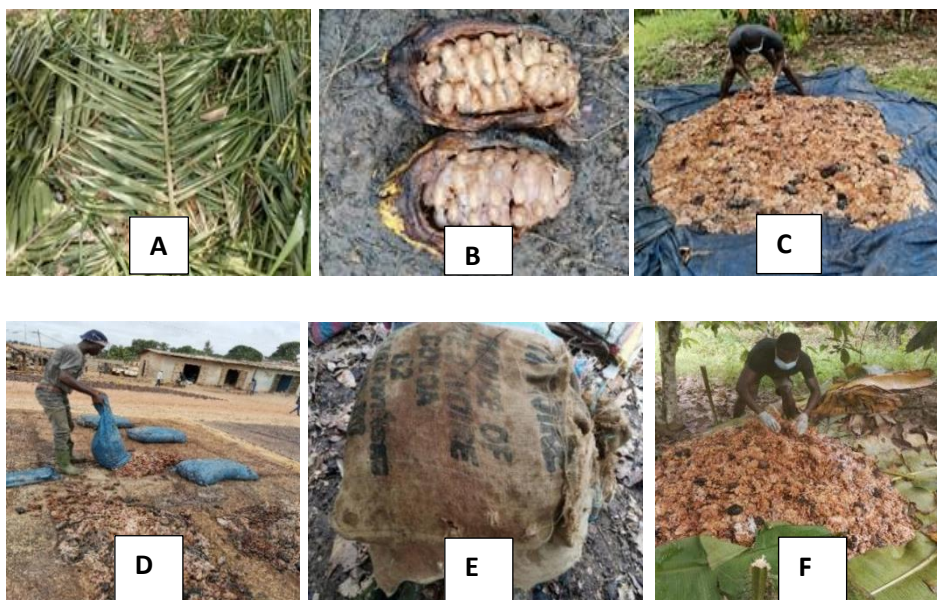


Figure 1: Nouveaux supports de fermentation utiliser dans les régions du Bas-Sassandra, Haut-Sassandra et Nawa en Côte d'Ivoire

### ***Echantillonnage***

A la fin du séchage, une quantité de 2 Kg par support de fermentation a été prélevés dans des sacs en jutes pour l'analyse de la qualité marchande des fèves issues de chaque support de fermentation.

### ***1.2. Détermination de la température de fermentation***

La température au cours de la fermentation a été mesurée avec un thermomètre in situ très tôt le matin (entre 6h et 8h) sur les six jours de fermentation. Le thermomètre est mis préalablement sous tension pendant 15 min. Ensuite, la sonde est plongée dans la masse directement. Après 10 min de maintien de la sonde dans la masse des fèves pour chaque type de fermentation, les valeurs ont été directement lues sur les appareils de façon numérique.

### ***1.3. Détermination du taux d'humidité des fèves après séchage.***

Un échantillon de 500 grammes de chaque échantillon a été prélevé et mis dans l'appareil (DICKEY JOHN). Après une minute, la valeur

du taux d'humidité est déterminée directement sur l'écran de l'appareil sous forme numérique.

#### ***1.4. Détermination de l'extrait sec réfractométrie dans la pulpe des fèves au cours de la fermentation.***

Afin d'assurer une détermination uniforme de la teneur en sucre, la méthode réfractométrie a été utilisée. Ainsi un réfractomètre de type Abbe étalonné à l'eau distillée pourvu d'un thermomètre donc l'échelle s'étend entre 15°C et 25°C et d'une échelle indiquant le pourcentage en masse de saccharose a été utilisé. 10 grammes de fèves de cacao ont été pesés dans 10 ml d'eau distillée et homogénéisés pendant 1 minute. Une petite prise d'essai sur le prisme inférieur du réfractomètre en veillant à ce que les prismes étant pressés l'un contre l'autre, la prise d'essai couvre uniformément la surface du verre et effectuer la mesure conformément aux instructions opératoires de l'appareil utilisé. Le viseur est porté à l'œil contre une source lumineuse. Le chiffre correspondant à la ligne de séparation des franges claires et bleues donne l'extrait sec réfractométrie. Il s'exprime en degré Brix ou pourcentage de sucre. Le degré Brix est représenté par l'équation suivante :

$$1 \text{ degré Brix} (^{\circ}\text{Bx}) = 1 \text{ g de saccharose} / 100 \text{ g de solution}$$

#### ***1.5. Détermination du pH des fèves de cacao fermentées et séchées.***

Le pH mesure l'acidité en termes de quantité d'ions  $\text{H}^+$  présent dans l'échantillon appelé acidité active. La mesure du pH a été réalisée selon la méthode OICCC N°9 (1963). Dix (10 g) de poudre de cacao ont été préparés dans 90 ml d'eau distillée bouillante. Le mélange a été homogénéisé puis refroidi jusqu'à 25°C. Le pH de la solution ainsi obtenue a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre de type WTW PH 3210 SET 3 (Allemagne), préalablement étalonné avec des solutions tampons de pH 4 et 7 (Hii *et al.*, 2009).

#### ***1.6. Évaluation de la qualité morphologique des fèves de cacao***

L'évaluation de la qualité morphologique des fèves issues de chaque support de fermentation c'est essentiellement basé sur le nombre de

fèves saines et normales (Grainage), l'index de fermentation (Cut test) et le taux d'humidité.

### ***1.7. Détermination du nombre de fèves saines et normales (Grainage).***

Le grainage constitue le nombre de fèves saines et normales de cacao contenu dans une masse donnée de fèves. Une pesée sur une balance électronique de précision ( $\pm 0,01$  g, Ohaus) est réalisée pour obtenir le poids moyen d'une fève et le nombre de fèves pour 100g. Le grainage a été évalué trois fois sur le même échantillon puis une moyenne a été effectuée pour déterminer le nombre de fèves dans 100 g.

### ***1.8. Détermination de l'index de fermentation (Cut test).***

La technique du cut test (ou épreuve à la coupe) a été utilisée pour mesurer l'index de fermentation des fèves de cacao et est une référence pour déterminer la qualité du cacao sur le marché mondial. Cette technique utilise la couleur comme critère d'évaluation. La norme ISO 1114 (1977) stipule une coupe de 300 fèves. Ainsi, 300 fèves sont prélevées au hasard dans chaque échantillon. Chaque fève a été coupée longitudinalement et placée sur une planche à cut test pour évaluer la proportion en fèves moisies, ardoisées ou défectueuses (germées, mitées, pourries, noires, endommagées, brisées, avec brisures ou coques, plates, à odeur de fumée, à goûts étrangers). La couleur du cotylédon est observée à l'œil nu grâce à la lumière du jour et classée dans l'une des catégories : le degré de fermentation (fèves ardoisées, fèves violettes et fèves brunes), la morphologie (fèves plates), l'état physiologique (fèves germées), la présence de microorganismes ou d'insectes (fèves moisies, fèves mitées). (Kealey *et al.*, 2004).

### ***1.9. Détermination de l'activité de l'eau***

Les fèves issues des différents supports de fermentations ont été décortiquées et broyées dans un broyeur de IKA avec de l'azote liquide. Une quantité de trois grammes de poudre des fèves a été pesé dans des capsules conserver à température ambiante avec les standards (0,25 ; 0,5 ; 0,760 ; 0,984) 24h avant la lecture avec un water-mater (AQUAA LAB).

### 1.10. Extraction du beurre de cacao et évaluation du profil acide gras

L'hexane est le solvant le plus utilisé pour l'extraction des lipides. (Abert Vian *et al.*,2013). Les échantillons sont d'abord broyés et tamisés puis 10 g sont pesés dans une cartouche de cellulose qui a ensuite été placée dans l'extracteur. Un volume de 60 ml de n-hexane (HPLC-S, Biosolve) a été utilisé pour extraire l'huile. Une partie du solvant a été versée dans l'extracteur. Après 8 h d'extraction l'hexane est évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif (bain marie Heidolph LABOROTA, pompe Labobase/laborota 4000 Heidolph G4 type haut) à une température de 60°C et une pression partant de 500mbar pour diminuer progressivement jusqu'à 100 mbar afin d'éliminer les dernières traces de solvant. Le rendement massique est le rapport entre la masse d'huile la poudre et la masse de poudre ayant servi à l'extraction. Il est exprimé en pourcentage(g/100g) sur matière fraîche selon la formule suite :

$$Teneur\ en\ lipide = \frac{(M1 - Mo)}{Pe} \times 100$$

Mo : masse à vide du ballon d'extraction (en gramme)

M1 : masse du ballon contenant les lipides (en gramme)

Pe : la prise d'essai (en gramme)

#### *Evaluation du profil d'acide gras*

La séparation d'un mélange est le but de toute chromatographie. Ainsi, le profil en acide gras a été déterminé par la méthode de (chromatographie en phase gazeuse avec détecteur à ionisation de flamme) GC-FID qui passe par une estérification des acides gras (déprivatisés en esters méthyliques) afin d'être plus volatils (Carrapiso *et al.*, 2000). La voie qui par l'identification/quantification des acides gras (GC-FID), permet une analyse plus rationnelle et descriptive de la teneur en lipides (jenkins 2010).

#### 1.10.1. Analyse GC-FID

La solution finale extraite est injectée en GC-FID (chromatographie en phase gazeuse avec détecteur à ionisation de flamme). L'appareil



utilisé à l'élaboration est HP6890 séries avec une colonne capillaire polaire VF Wax ms 0,25 µm x 30mm x 30m. Un volume de 0,5 µL a été injecté en mode ON-COLUMN. Le programme de température est le suivant : injection à 55°C, montée à 150°C avec une vitesse de 30°C/min, puis directement à 250 avec une vitesse de 5°C/min pour rester à cette température durant 15min. L'hélium a été utilisé comme gaz vecteur à un débit de 1,7ml/min.

Le profil en acide gras est exprimé de manière relative, c'est dire que la composition de chacun des acides gras exprimées en pourcentage par rapport à la teneur totale en acide gras (AGT). Pour cela, les aires des pics correspondante aux acides gras ont été sommées et la concentration relative en un acide gras est égale au rapport de son aire sur celui de la somme de toute les aires, comme l'exprime l'équation suivante :

$$\text{Concentration relative (AG)} = \frac{\text{Aire AG}}{\text{Aire totale des acides AG}}$$

### ***1.15. Les composés volatils***

La qualité des produits de chocolat prouvé par l'acceptabilité des consommateurs dépend principalement des composés volatils du cacao. La composition aromatique a donc été analysée à l'aide d'une micro-extraction en phase solide dans l'espace de tête couplée à une chromatographie en phase gazeuse – spectrométrie de masse (GC-MS) sur les fèves fermentées et séchées sans aucune torréfaction préalable. Trois tubes ont été injecté pour un même échantillon.

#### *1.15.1. Analyse des composés volatiles par Micro-extraction en phase solide (SPME)*

Outre l'extraction par solvant et des techniques de distillation, la SPME (Solid Phase MicroExtraction) est utilisée pour extraire les composés volatils d'une matrice solide, liquide ou gazeuse (Yang et Peppard, 1994). La SPME repose sur le principe de l'adsorption des composés volatils présents dans une atmosphère saturée sur un polymère (Pawliszyn, 2000). L'extraction des composés volatils des fèves issues des différents supports de fermentations selon le protocole publier par (Feng *et al.*, 2014)

#### *1.15.2. L'extraction des composés volatiles*

Les composés volatils des poudres de cacao ont été par la méthode SPME avec une fibre en silice recouverte de divinylbenzène/

carboxène/polydiméthylsiloxane (DVB/CAR/PDMS), d'épaisseur 50/ 30 µm de la marque Supelco.

### 1.15.3. Analyse et identification au GC-MS

L'analyse et l'identification des composés d'arômes contenus dans tous les échantillons analysés est effectué selon la méthode de (Feng *et al.*, 2014)

Les composés volatiles sont identifiés en comparant avec les bases de données des spectres de masse connu sur la base de deux bases de données commerciales (NIST.17 et Wiley7n.l) version 2016. L'identification et la caractérisation des différents composés volatiles détectés dans les six supports de fermentation est basé sur le CAS, le pourcentage correspondance, la m/s, la structure, l'indice de rétention calculé comparé à l'indice de rétention théorique par référence NIST et phérobase. De plus l'identité des composés est confirmée par le calcul des indices de retentions linéaire ou indice de rétention de KOVATS(RI), a celle de la littérature. Le temps de rétention, l'aire de pic, la formule brute et la structure de la molécule ont été également identifiés. Ces indices de retentions sont calculés après analyse, dans les conditions de chromatographie, à l'aide des n-alcanes C8-C20(Supelco, Bellefonte, USA).

$$IK=(100n) + 100[(Tri - Trm) / (Trn-1- Trn)]$$

Avec tri, temps de rétention du composé de l'arôme i, Trn temps de rétention de l'alcane a n carbones, et Tr n-1n le temps de rétention de l'alcane suivant.

## 2. Résultats

### 2.1. Température de fermentation

L'élévation de la température provoque la mort des cotylédons et empêche toute germination au cours de fermentation. De tous les supports étudiés, les différentes températures sont croissantes et fonction du support. Les feuilles de bananier, feuilles de palmier et bâche en polypropylène ont enregistré les plus hautes température (26,83°C à 46°C) avec les feuilles de palmier légèrement supérieur. Les cabosses de cacao ont enregistré quand elles la plus faible température

de fermentation (26,77 à 34,33°C). Trois groupes distincts de supports de fermentation sont observés.

-Groupe1(Feuille de bananier, feuille de palmier et bâche en polypropylène) dont la température de fermentation a atteint au moins 45°C durant les six de fermentation

-Groupe 2(Sacs en jute et sac en polypropylène) dont la température de fermentation a atteint un maximum de 40°C durant les six jours de fermentation,

-Groupe 3(les cabosses de cacao de plus faible température n'excédant pas 35°C durant les six jours de fermentation

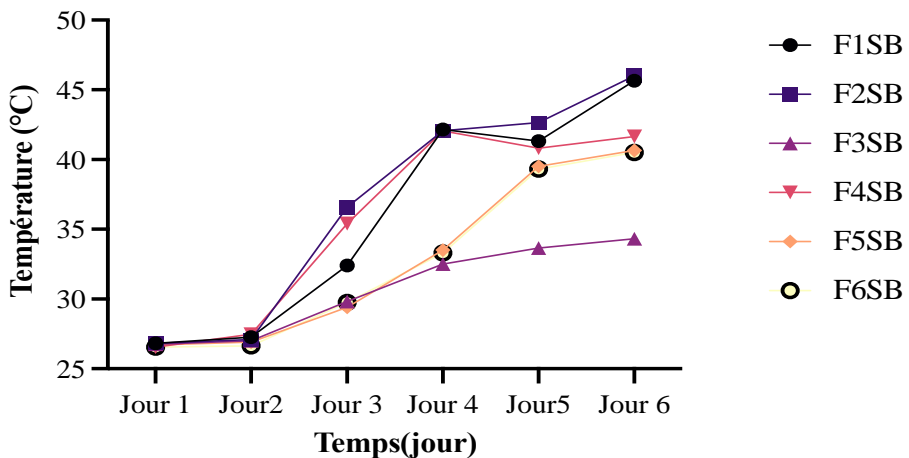


Figure 2: Variation de température de fermentation en fonction du support de fermentation

## 2.2. Variation du Degré Brix

La teneur en sucre dans la pulpe des fèves au cours de la fermentation diminue progressivement et différemment en fonction du support de fermentation. Cette réduction est plus accélérée (2,6 à 0,1) dans les fèves issues des feuilles de bananiers, feuilles de palmier et bâche en polypropylène et sac en jute avec un épuisement presque totale dès le 3 -ème jour de la fermentation (0,23). Les sacs en polypropylène ont réduction moyenne de degré Brix (2,8 à 0,1) avec épuisement dès les 4eme jour. Les fèves fermentées dans les cabosses de cacao ont la plus faible réduction du degré Brix durant les six jours de fermentation.

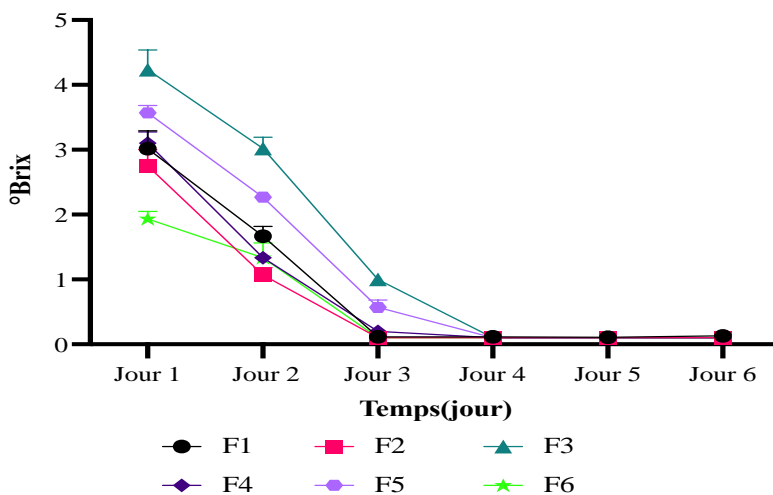


Figure 3: Evolution du degré Brix dans la pulpe des au cours de la fermentation en fonction du support de fermentation.

### 2.3. Le Cut-test

Le tableau 1 révèle le niveau et degré de fermentation des fèves issue de chaque support de fermentation. Les résultats montrent un pourcentage de fèves brunes supérieure à 90% pour les feuilles de bananiers, feuilles de palmier bâches en polypropylène, sac en polypropylène et sac en jute avec une très faible fréquence de fèves violettes. Aucune fèves ardoisés, germées, mitée, moisie et plate ont été observées à l'expression de feuille de palmier qui ont enregistré un taux très faible (0,33%) de fèves moisies. Les cabosses de cacao ont plutôt enregistré 85% de fèves brunes, un taux plus élevés des fèves villette (6,66%), fèves germées (3%) et 3,67% de fèves moisie. Ce qui classe donc ces fèves dans le grade II.

Tableau 1: Indice de fermentation (Cut Test) des fèves de cacao

SUPS	Brune	Violette	Ardoisée	Germée	Mitée	Moisie	Grade
		5,33±1,52					I
F1SB	93,33±3,05 <sup>a</sup>	<sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	
F2SB	95±1 <sup>a</sup>	4,33±1,52	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0,33±0,57 <sup>a</sup>	I
F3SB	85,33±0,57 <sup>b</sup>	6,66±0,57 <sup>a</sup>	0,33±0,57 <sup>a</sup>	3±1 <sup>b</sup>	1±1 <sup>a</sup>	3,67±0,57 <sup>a</sup>	II
F4SB	94,66±0,57 <sup>a</sup>	5,33±0,57 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	I
F5SB	94,66±1,52 <sup>a</sup>	5,33±1,52 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	I
F6SB	96±2,64 <sup>a</sup>	4±2,64 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	I

#### 2.4. La consistance des fèves (Grainage)

Sur 100g de fèves normale et seines pesées pour chaque procédé de fermentation les fèves contées étaient inférieures à 80 fèves quel que soit le support de fermentation utilisé. Les analyses des comparaisons des moyennes avec Anova montrent qu'aucune différence significative avec une probabilité ( $P < 0,05$ ).

#### 2.5. Le pH des fèves fermentées et séchées

Le pH fèves fermentés et séchées issues des différents supports de fermentation ont montré que les fèves issues des cabosses de cacao sont plus élevées (6,09) alors que celles des autres supports sont inférieures à 5. Cependant les mesures prises en fin de séchage avec le Dickay John les fèves issues des cabosses de cacao ont enregistré la plus petite teneur en eau (6,47%) et les sacs en polypropylène ont obtenu la plus grande teneur en eau (9,1%).

**Tableau 2:** Analyses des paramètres morphologiques des feves fermentées et séchées en fonction du support de fermentation

Supports	Grainage	Ph	Aw	%Humidité
F1	75,33 ± 1,15 <sub>a</sub>	4,97 0,02 <sub>a</sub>	± 0,52±0,07 <sub>a</sub>	7,70 ± 0,36 <sup>ab</sup>
F2	76,00 ± 0,00 <sub>a</sub>	4,97 0,03 <sub>a</sub>	± 0,56±0,10 <sub>a</sub>	7,11 ± 0,81 <sup>ab</sup>
F3	77,00 ± 2,64 <sub>a</sub>	6,09 0,42 <sub>b</sub>	± 0,49±0,09 <sup>a</sup>	6,47 ± 0,23 <sup>a</sup>
F4	79,00 ± 2,00 <sub>a</sub>	4,91 0,01 <sub>a</sub>	± 0,59±0,13 <sup>a</sup>	7,83 ± 0,66 <sup>abc</sup>
F5	80,00 ± 4,58 <sub>a</sub>	4,92 0,26 <sub>a</sub>	± 0,49±0,05 <sup>a</sup>	9,10 ± 0,26 <sup>c</sup>
F6	76,67 ± 2,51 <sub>a</sub>	4,93 0,01 <sub>a</sub>	± 0,49±0,04 <sup>a</sup>	7,90 ± 0,40 <sup>bc</sup>

**2.6. Les acides gras dans les fèves de cacao issues de différents supports de fermentation.**

Les analyses au GC et FID ont permis de déterminer la composition de lipide en plus de la teneur en graisse totale (GT) mais également l'identification des différents acides gras dans les poudres de cacao pour chaque support de fermentation.

La figure 5 montre un exemple de chromatogramme obtenu pour la séparation des esters méthyliques d'acides gras des huiles extraites

Dans tous les échantillons issus des différents supports de fermentations, quatre (4) principaux acides gras ont été identifiés avec des concentration relatives différentes. Par simple observation du chromatogramme de chaque acide gras.

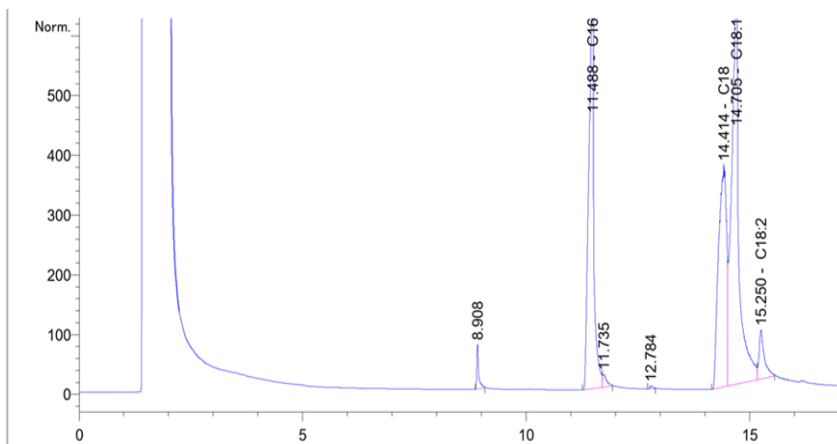


Figure 4: Chromatogramme GC-FID du profil d'acide gras évalué dans les fèves de cacao

L'acide palmitique (C16), acide Stéarique (C18 :0), acide Oléique (C18 :1) et l'acide Linoléique (C18 :2).

Le tableau 4 donne les concentrations relatives du profil d'acide gras des fèves de cacao issue de chaque support de fermentation. De tous les extraits des différents supports de fermentations étudiés, les fèves contiennent plus de 50% de la matière sèche. La teneur la plus élevée est obtenue avec les fèves fermentées dans les cabosses de cacao (57%) et celle de des plus bas avec les fèves issues bâches en polypropylène et sacs en jute avec environ 53% de la matière sèche. Les analyses statistiques par comparaison des moyennes obtenue n'ont montré aucune différence significative de la concentration relative d'acide gras extraite des feuilles de bananier, des feuilles de palmier et des sacs en polypropylène (54,40, 54,90 et 54,90 %) analysées.

Les acide C18 :1 représentent dans les huiles extraites des six supports de fermentation, ont la plus grande proportion avec environ 40% de la composition totale en acides gras. Les huiles extraites des sacs en polypropylènes ont obtenu la plus grande proportion avec 48,7% des acides totaux. Les cabosses de cacao ont enregistré la plus bas concentration (41%). Les feuilles de bananier, feuilles de palmier et les bâches en polypropylène ont obtenus des contractions sensiblement égales. La plus grande concentration en acide C16 est stocké dans les huiles extraites des feuilles de bananier (31,23%),

**Tableau 3:** Proportion de la matière grasse et concentration d'acide relative du profil d'acide gras en fonction du support de fermentation

Sup	%MG	%C16	%C18	%C18 :1	%C18 :2
F1	54,40 ±0,85 <sup>ab</sup>	31,23 2,88 <sup>a</sup>	± 19,09 8,50 <sup>a</sup>	± 45,58 5,11 <sup>a</sup>	± 4,08 0,51 <sup>a</sup>
F2	54,90 ±0,42 <sup>ab</sup>	19,33 11,38 <sup>b</sup>	± 31,19 6,11 <sup>a</sup>	± 45,61 15,98 <sup>a</sup>	± 3,86 1,50 <sup>a</sup>
F3	57,85 ±0,21 <sup>b</sup>	28,99 0,15 <sup>a</sup>	± 26,05 1,58 <sup>a</sup>	± 41,17 1,23 <sup>a</sup>	± 3,76 0,19 <sup>a</sup>
F4	53,22 ± 0,32 <sup>a</sup>	29,52 7,41 <sup>a</sup>	± 21,60 19,20 <sup>a</sup>	± 45,24 10,89 <sup>a</sup>	± 3,62 0,89 <sup>a</sup>
F5	54,90 ± 0,32 <sup>ab</sup>	33,72 0,37 <sup>a</sup>	± 13,74 3,81 <sup>a</sup>	± 48,70 3,48 <sup>a</sup>	± 19,32 21,89 <sup>a</sup>
F6	53,16 ±0,32 <sup>a</sup>	31,68 6,65 <sup>a</sup>	± 21,61 14,21 <sup>a</sup>	± 43,23 7,29 <sup>a</sup>	± 3,46 0,27 <sup>a</sup>

### 2.7. Composition aromatique des fèves issues de chaque support de fermentation.

L'analyse GC-MS a montré la composition volatile des fèves issues de toutes les fermentations étudiées sans aucune torréfaction préalable. Au total, 25 principaux composés volatils reparties en 7 familles (Alcène, Alcool, aldéhyde, cétone, acide, ester, pyrazine, et autre) dans l'ensembles des six supports de fermentation ont des proportion(%Air) différentes. Trois composés (Acide acétique, Acétone et 1-Butanol, 2-methyl-, acétate ont été retrouvés dans les six supports de fermentation).

Le pourcentage d'air de l'acide acétique est largement supérieur dans tous les supports de fermentation a des proportions différentes avec un pourcentage plus élevé dans les fèves issues des feuille bananier, feuilles de palmier et sac en jute respectivement (82,07%, 80,66% ; 80,30%). Les composés pyrazines (Pyrazine, 2,5-dimethyl- et Pyrazine, tétraéthyle-) origine du bon arôme du chocolat a été détecté dans les fèves issues de des feuilles de palmier et sac en polypropylène. Pyrazine, 2,5-dimethyl (feuille de palmier, bêche en polypropylène sac en polypropylène et sac en jute).



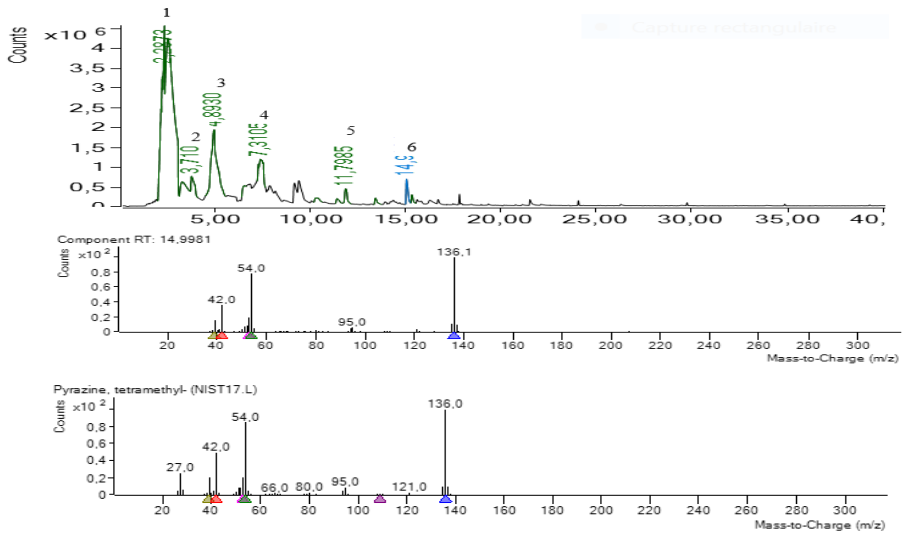
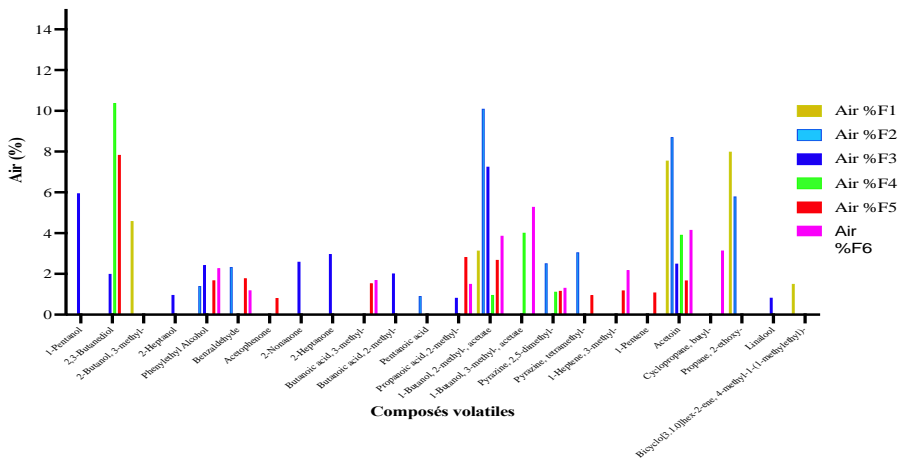


Figure 1: Chromatogramme GC-MS des composés volatiles d'un échantillon de fève de cacao analysé. Pic et temps de rétention correspondant

1 : Acide acétique ; 2 : Acétone ; 3 : 2,3-butanediol ; 4 : 1-butanol, 2-méthyle-acétate ; 5 : Benzaldéhyde ; 6 : 2-Heptanol. Acétate ; 6 : Pyrazine, tétraéthyle



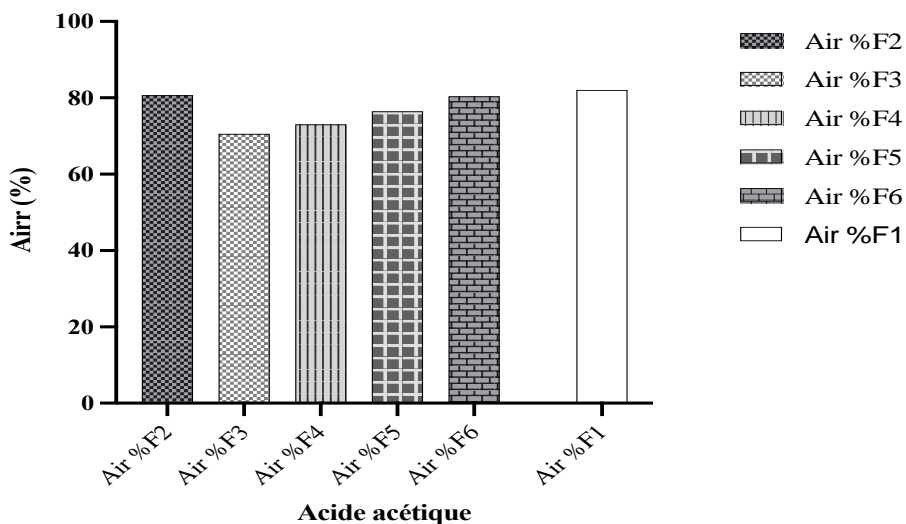


Figure 5: *Proportion des aires de pic de l'acide acétique des fèves issues de chaque support de fermentation*

## Discussions

La destruction massive des forêts en Côte d'Ivoire entraîne une variation climatique. Cette action a une influence négative sur les bananiers donc les feuilles sont classées comme meilleur support de fermentation. En effet il a été démontré que les fèves issues de la fermentation dans les feuilles de bananier procurent les meilleures qualités marchandes de fèves de cacao (Barel M ,2013). Ainsi depuis un certain plus d'une dizaine d'année, les producteurs de cacao dans les différentes zones de production en côte d'ivoire ont recours à un certain nombre de supports pour la fermentation des fèves de cacao. Les enquêtes menées par Konan et collaborateurs en 2023 dans les trois grandes régions de production de cacao en côte d'ivoire (Bas-Sassandra, Haut-Sassandra et Nawa) ont montrés que ces producteurs utilisent aujourd'hui les feuilles de palmier, les bâches en polypropylène, les cabosses de cacao les sacs en jute été les sacs en polypropylène en plus des supports déjà connu pour la fermentation de leurs fèves sans que la qualité des fèves qui en résultent ne soit évaluée (Konan et al.,2023). Ainsi les résultats de nos études sur ces nouveaux supports de fermentation nous ont permis de caractériser les fèves issues de ces nouveaux supports de fermentation. La température de fermentation durant les six jours de fermentation nous permis d'avoir

3 groupes de support. Un premier (feuille de bananier, feuille de palmier et bâche en polypropylène) dont la température a atteint au moins 45°C durant tout le processus de fermentation. Le second (Sac en polypropylène et sac en jute) avec ( $T \leq 40^\circ\text{C}$ ). Le troisième (les cabosses de cacao) donc une température plus basse ( $T \leq 35^\circ\text{C}$ ). Ces résultats du groupe 1 sont conformes aux affirmations de Brel qui affirmait en 1985 que pour une bonne fermentation, les fèves mises en tas devraient atteindre 45°C. Cette différence de température observée s'explique par le fait que les feuilles de bananier, les feuilles de palmier et les bâches en polypropylène ont pu contenir une grande masse de fèves de cacao avec une facilité de brassage. Ce qui permet donc un meilleur écoulement du jus de cacao et accélère donc l'activité et la croissance de la flore microbienne responsable de la fermentation. Les cas en polypropylène comme en jute, peuvent contenir une quantité moyenne de fèves pour la fermentation. De plus quand ils sont perforés afin de faciliter l'écoulement du jus, le brassage n'est pas total. Les cabosses de cacao quand a-t-elle, contiennent de petite quantité de fèves de cacao et sont plus adhérentes pour permettre une augmentation de température au cours de la fermentation. Cette variation de température aura exercé une grande influence sur les caractéristiques morphologiques et biochimiques de l'amande du cacao. En effet après fermentation et séchages, tous les supports analysés ont donné des fèves de pH significativement différents. Il ressort que les fèves issues des cabosses de cacao dont le pH des fèves fermentées et séchées est de  $6,09 \pm 0,42$  auraient un temps de fermentation insuffisant. Les cinq autres supports ont enregistré un pH inférieur à 5 synonymes d'une bonne fermentation. L'analyse statistique confirme les résultats expérimentaux avec la seule différence significative entre les fèves issues des cabosses de cacao et celles des autres supports de fermentation. Ce qui s'expliquerait par la faible température avec un maximum ( $34^\circ\text{C}$ ) de fermentation enregistrée dans les cabosses de cacao durant les six jours de fermentation. De plus, l'analyse du niveau et du degré de fermentation a montré les fèves brunes qui caractérisent la fermentation a révélé qu'à l'exception des cabosses de cacao, les fèves analysées ont un taux de fèves brunes supérieur à 90% contre 85% dans les cabosses. Les fèves issues des cabosses de cacao ont enregistré une teneur de fèves germées et moisies supérieure à 3%. Et donc classé de grade II et de grade II pour les fèves issues de cabosse de grades II.

La teneur en eau mesurée juste après le séchage était plus basse dans les cabosses de cacao (%H=6,47). Les fèves issues des feuilles

bananier, feuilles de palmier, bâches en polypropylène et les sacs en jute ont une teneur sensiblement environ 7%. Ces donnent donc une teneur en eau inférieure 8% recommandé. En effet, le taux d'humidité de 8% constitue une valeur critique au-delà de laquelle, le développement des champignons est favorisé (Dharmaputra *et al.*, 1999).

Selon Hii si la teneur en eau du cacao reste supérieure à 8 % (teneur critique) pendant le stockage, n'importe quel saprophyte pourrait s'y développer (Hii *et al.*, 2009).

Les sacs en polypropylène ont enregistré la plus grande teneur en eau ( $9,10 \pm 0,26$ ). Ce taux pourra s'expliquer par le fait que le jus contenu dans les fèves au cours de la fermentation dans les sacs en polypropylène est beaucoup retenu par le sac. En effet les sacs en polypropylènes qui sont très souvent les sacs d'emballage des produits alimentaires (riz, sucre, la farine de blé) sont parfois imperméable et ont besoin d'être perforer pour permettre l'écoulement du jus. Les analyses statistiques ont montré que les feuilles de bananier et feuilles de palmier n'ont aucune différence significative ( $P > 0,05$ ). Le critère de bonne qualité est attaché à un grainage inférieur ou égal à 100 fèves ; c'est-à-dire que le poids spécifique d'une fève doit être supérieur ou égal à 1 g (Guéhi *et al.*, 2007). Nombre de fèves sur 100g pesés, est inférieur à 100. Ce justifie que tous les supports offrent des fèves constantes. Les feuilles de bananier, les feuilles de palmier et les sacs en jute ont obtenues des fèves encore plus moyennes que les autres supports. Les analyses statistiques montrent qu'aucune différence significative de consistance existe entre ces analysées. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait qu'après le séchage, toutes les fèves ont été soumis dans un tamis afin de les brassés des petites et fèves plates. Le pH est un facteur déterminant dans la recherche du niveau de fermentation des fèves de cacao. En effet, les fèves sont dites bien fermentées lorsque le pH des fèves après séchage lorsque le pH est inférieur à 5,19. Au des fèves sont dites non fermentées ou ayants subie une fermentation insuffisante (Beckett, 2009). Se basant sur les études de Beckett, Au cours de la fermentions, la teneur en sucre contenue dans la pulpe des diminue progressivement, et tant à s'annuler à la fin de la fermentions dans tous les supports de fermentation. Cependant dans les cabosses de cacao, cette diminution est plus faible et plus accélérer dans les feuilles de palmier, bâches et polypropylène et feuille de bananier. Cette faible démission du taux de sucre dans les fèves issues des cabosses de cacao témoigne de la faible activité des microorganismes

responsable de la conversion des sucres en alcool au cours de la fermentation. Les acides gras saturés laurique, myristique et palmitique engendrent une augmentation du cholestérol total et LDL dans le plasma. Quant à l'acide stéarique, c'est l'acide gras saturé le moins hypercholestérolémies. (Williams, 2000 ; Lecerf, 2007).

La teneur en matière grasse des fèves fermentées et séchées varie 53 et 57% de matière sèche. La proportion en matière grasses des fèves de cacao issue de chaque support de fermentation, montre que les fèves issues des cabosses de cacao sont plus riches en beurre (57,85 ±0,21) contre 54,40 ±0,85) dans les feuilles de bananier. Une valeur qui similaire (50-58%) aux résultats obtenus par CHEN-YEN-SU. 2014. Cette teneur correspond aux résultats attendus, la graine fraîche renfermant 50 à 55 % de matière grasse sous forme de beurre de cacao (Bastide, 2007). La variation de la teneur montre que ces supports ont impact sur la proportion de matière grasse obtenue mais aussi par la différence de modification qui a eu lieu au cours de la fermentation en fonction du support utilisé. Les analyses statistiques Anova ont données une différence significative de tous les supports de fermentation. Cependant, aucune différence n'a été observé entre les fèves des feuilles de bananier, les feuilles de palmier et les sacs en polypropylène environ (54%) et entre les fèves issues des bâches en polypropylène et celles des sacs en jute (environ 53%). Alors que les acides gras mono-saturés (Acide palmitique(C16)) augmentent le taux de cholestérol la teneur cholestérol dans l'organisme humain est plus élevé dans les fèves issues des feuilles de bananier, sac en polypropène et sac en jute(%MG>30), les fèves issues des feuilles de palmier ont plutôt une faible teneur en %C16. Cependant les gras insaturés (Acide linoléique C18 :2) facteur diminution du cholestérol et réduisent du même coup le risque d'événements cardiovasculaires est en grande proportion dans les fèves issues sacs en polypropylène (19%) contre 4% obtenu dans les fèves issues des feuilles de bananier. Ces fèves sont donc plus appréciées en alimentation humaine.

**Le séchage est souvent utilisé pour allonger la durée de vie du produit** ; en effet en même temps qu'on diminue l'humidité résiduelle du produit, on diminue l'eau libre disponible pour les réactions d'altération, c'est-à-dire l'activité de l'eau (aw) qui diminue en dessous de l'activité minimale de développement des microorganismes (aw<0.6) ; il faut néanmoins souvent descendre à des activités d'eau

beaucoup plus faibles afin d'inhiber les réactions d'altération d'origine chimique et enzymatique (oxydation des lipides, réactions de Maillard, ...). L'activité de mesurer dans les fèves issues des cabosses de cacao, sac en polypropylène, sac en jute et bâche en polypropylène sont plus faibles que celle des feuilles de bananiers. Elles sont donc plus résistantes aux micro-organismes d'altération. Les analyses statistiques ont montré qu'aucune différence significative entre eux. Ce qui justifie que la fermentation n'a pas d'influence sur l'activité de l'eau.

Au total, ce sont 25 composés qui ont été identifiés dans les six supports de fermentation. Ce sont principalement les alcanes, les alcools, les cétones, les aldéhydes, les acides, les esters et les Pyrazines. L'acide acétique a une proportion largement supérieure dans toutes les fèves analysées avec celles issues des feuilles bananier, feuilles de palmier et sac en jute respectivement (82,07%, 80,66% ; 80,30%). Cette proportion élevée de l'acide acétique justifie que toutes les fèves sont issues d'une fermentation mais aussi par ce que les fèves n'ont subi aucune torréfaction préalable. En effet au cours de la deuxième phase (Aérobique) de la fermentation après celle anaérobique, où les sucres sont transformés en éthanol par les levures (Pérez Piza, 2009), l'éthanol est oxydé en acide acétique (fermentation réalisée par les bactéries acétique) qui, en diffusant dans les fèves, provoque la mort du germe et l'activation d'enzymes endogènes importantes pour la production des précurseurs d'arômes. Cet acide pénètre dans les fèves et provoque, avec la haute température générée par l'oxydation de l'alcool, la mort de l'embryon et de la destruction des cellules internes. Ceci marque la fin de la fermentation et initie les changements biochimiques dans les fèves, menant à la formation de molécules, précurseurs des arômes caractéristiques du cacao (Nielsen *et al.*, 2005 ; Camu *et al.*, 2007 ; Thompson *et al.*, 2013). Cette teneur élevée des acides acétiques pourrait être réduite par la torréfaction qui a pour rôle essentiel de diminuer la teneur en acide acétique origine de la saveur amère, acide et astringent (Beckett, 2000 ; Granvogl *et al.*, 2006 ; Rami *et al.*, 2006). Les résultats sont différents de ceux de (Simon Perrez Akoa *et al.* qui ont plutôt obtenu 48 composés lors de leurs analyses. Cette différence s'expliquerait par le fait que nos fèves n'ont subi aucune torréfaction préalable avant d'être broyées et injectées. De plus parmi ces composés, la 2-méthylpyrazine et la 2, 3, 5, 6 tétra méthyl pyrazine sont les principaux composés volatils dans le cacao tous les deux responsables de l'arôme de cacao doux (Lefeber *et al.*, 2012) ont été identifiés dans les fèves que dans les fèves non torréfiées issues des feuilles de palmier,

bâche en polypropylène sac en polypropylène et sac en jute avec un pourcentage plus élevé dans les feuilles de palmier. Leur présence est considérée comme un indicateur de d'un bon processus de fermentation et prédit la qualité des fèves (Jinap *et al.*, 1994).

## Reference

ADDEN Ayi Koffi, 2017. Amélioration de la productivité des vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao* Linn.) pour une gestion forestière durable au Togo, Thèse de doctorat. Ecole Supérieure d'Agronomie de Lomé : Lomé. P. 138

Afoakwa E. O., Paterson A., Fowler M. and Ryan A. (2008). "Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48(9): 840-

Aprotosoie, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor chemistry of cocoa and cocoa products – an overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15 (1), 73–91. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>

Barel M. 2013. *Qualité du cacao : l'impact du traitement post-récolte*. Editions Quae, pp. 22-54

Cros E. et Jeanjean N. (1995). Qualité du cacao. Influence de la fermentation et du séchage. *Plantation, Recherche et Développement*, 2(3) : 21-27.

Dharmaputra O.S., Amad S.M., Retnowati 1 et Wahyudi T. (1999). The occurrence of insects and moulds in stored cocoa beans at South Sulawesi. *Biotropia*, 12: 1-18.

Guehi T. S., Y. M. Konan, R. Koffi-Nevry, D. Y. N'dri and N. P. Manizan. 2007. Enumeration and identification of main fungal isolates and evaluation of fermentation's degree of Ivorian raw cocoa beans. *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, 1 (4): 479 - 486.

Guéhi T.S., N'Dri Y., Manizan N.P., Koffi-Nevry R., Koffi L.B. et Yao M.K. (2008). Comparison of the degree of fermentation and fungal profiles of raw cocoa beans sourced from three Ivorian main producing regions. *African Journal of Food Science*, 2 112- 118.

jinap, S., Siti, M. H., & Norsiyati, M. G. (1994). Formation of methyl pyrazine during cocoa bean fermentation. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 17(1), 27-32

Kouakou B.J, Irie B.Z., Dick E., Nemlin G. & Bomisso L.E. (2013). Caractérisation des techniques de séchage du cacao dans les principales zones de production en Côte d'Ivoire et détermination de leur influence sur la qualité des fèves commercialisées. *Journal of Applied Biosciences*. 64: 4797-4812.

Konan Kouakou Ahossi, Coulibaly Ibourahema, Kouassi Kra Athanase, Foba Foba Stéphane, Coulibaly Mendjara, and Konate Ibrahim. (2023). Investigation des nouveaux supports de fermentation des fèves de cacao dans les principales régions de production de cacao (Haut-Sassandra, Nawa et Bas-Sassandra) en Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 39 No. 2 Apr. 2023, pp. 857-865

KOUDJEGA T., et TOSSAH B.K., 2009. Improvement of soils fertility management in cocoa plantations in Togo. *Proceeding of the 7th international symposium on plant-soil interactions at low pH*. 17-21 may, Guangzhou, China, pp. 184-185

Lefeber T., Gobert W., Vrancken G., Camu N. and De Vuyst L. (2011). "Dynamics and species diversity of communities of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria during spontaneous cocoa bean fermentation in vessels." *Food Microbiology* 28(3): 457-464

Lima L. J. R., Almeida M. H., Nout M. J. R. and Zwietering M. H. (2011). "Theobroma cacao L., "the food of the gods": quality determinants of commercial cocoa beans, with particular reference to the impact of the fermentation." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(8): 731-761.

Pérez Piza R. (2009). La calidad del cacao. Ecuador, Quito, EC : CAMAREN/INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía

Rottiers, H., Tzompa Sosa, D. A., De Winne, A., Ruales, J., De Clippeleer, J., De Leersnyder, I., ... Dewettinck, K. (2019). Dynamics of volatile compounds and flavor precursors during spontaneous fermentation of fine flavor Trinitario cocoa beans. *European Food Research and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03307-y>

Schwan R. F. and Wheals A. (2004). "The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44(4): 205-221.

Thompson S.S., Miller K.B. and A. S. Lopez. 2001. Cocoa and coffee. In: Doyle M. J., Beuchat, L.R., Montville T.J. (Eds.). *Food Microbiology Fundamentals and frontiers*. ASM Press, Washington, D.C., pp. 721 -733.