

# BIOCHEMICAL AND SENSORY CHARACTERIZATIONS OF COCOA BEANS FROM SIX HYBRID FAMILIES UNDER SELECTION IN COTE D'IVOIRE

3

## Résumé

5 Cette étude vise à évaluer les caractéristiques biochimiques et sensorielles des fèves de six  
6 familles d'hybrides de cacao (*Theobroma cacao* L.) issus des champs semenciers du Centre  
7 National de Recherche Agronomique en Côte d'Ivoire. Les analyses ont porté sur le pH, la  
8 composition biochimique (lipides, cendres, protéines, fibres, composés phénoliques) ainsi que  
9 sur le profil sensoriel de la masse de cacao des fèves marchandes. Les résultats montrent une  
10 variabilité inter-hybrides significative. Le pH des fèves provenant des familles d'hybrides de  
11 cacao relativement acide est compris entre 5,09 et 5,65 ; les teneurs en lipides et en protéines  
12 varient respectivement de 46,58 à 60,97 % et de 11,09 à 14,27 %. Quant aux cendres et fibres,  
13 leurs teneurs oscillent respectivement de 2,1 à 2,9% et de 13,79 et 17,67 %. La teneur en  
14 composés phénoliques est comprise entre 1237,42 et 1334,2 mg EAG/100 g. L'analyse  
15 sensorielle révèle des profils sensoriels dominés par une intensité moyenne en cacao, une faible  
16 acidité, une amertume et une astringence modérées. Quelques notes fruitées et florales ont été  
17 détectées. Parmi les génotypes étudiés, F8 et F26 apparaissent les plus prometteurs : le premier  
18 par sa richesse biochimique et son intensité aromatique, le second par sa teneur lipidique élevée.  
19 De tels hybrides seraient fortement appréciés en industrie du chocolat et autres dérivés du cacao.  
20 Ces résultats, mettent en évidence le potentiel compétitif des hybrides de cacao dont dispose la  
21 Côte d'Ivoire en matière de semence de qualité.

22 **Mots-clés :** cacao, hybrides, Côte d'Ivoire, caractéristique biochimique, analyse sensorielle

## Abstract

24 This study aims to evaluate the biochemical and sensory characteristics of cocoa beans from six  
25 families of hybrids (*Theobroma cacao* L.) originating from seed fields of the National Center for  
26 Agronomic Research (CNRA) in Côte d'Ivoire. Analyses focused on pH, biochemical  
27 composition (lipids, ash, proteins, fibers, phenolic compounds), as well as the sensory profile of  
28 the cocoa mass from commercial beans. The results reveal significant inter-hybrid variability: bean  
29 pH ranged from 5.09 to 5.65; lipid and protein contents varied between 46.58–60.97% and 11.09–  
30 14.27%, respectively. Ash and fiber contents ranged from 2.1–2.9% and 13.79–17.67%,  
31 respectively. The concentration of phenolic compounds was between 1237.42 and 1334.2 mg  
32 GAE/100 g. Sensory analysis highlighted profiles dominated by medium cocoa intensity,

low acidity, moderate bitterness and astringency, with some fruity and floral notes detected. Among the genotypes studied, F8 and F26 appeared the most promising: F8 for its biochemical richness and aromatic intensity, and F26 for its high lipid content. Such hybrids would be highly valued in the chocolate industry and other cocoa-derived products. These findings underscore the competitive potential of Ivorian cocoa hybrids in providing high-quality seed material.

**Keywords:** cocoa, hybrids, Côte d'Ivoire, biochemical characteristics, sensory analysis

40

41

## 42 INTRODUCTION

43 Les fèves de cacao constituent une matière première stratégique, principalement destinée à la  
44 fabrication du chocolat, mais également dans les industries cosmétique, pharmaceutique et  
45 agroalimentaire (**Guiraud et al., 2021**). Sur le plan économique, le cacao occupe une place  
46 prépondérante sur le marché mondial des matières premières, se classant au troisième rang après  
47 le sucre et le café (**Chen-Yen-Su, 2014**). En Afrique de l'Ouest, et particulièrement en Côte  
48 d'Ivoire, il représente le socle de l'économie nationale, générant des revenus substantiels pour  
49 plusieurs millions de producteurs et contribuant significativement au PIB (**Koné, 2017**). Avec  
50 une production moyenne estimée à 2,24 millions de tonnes lors de la campagne 2022/2023, la  
51 Côte d'Ivoire assure à elle seule près de 45 % de l'offre mondiale (**ICCO, 2024**).

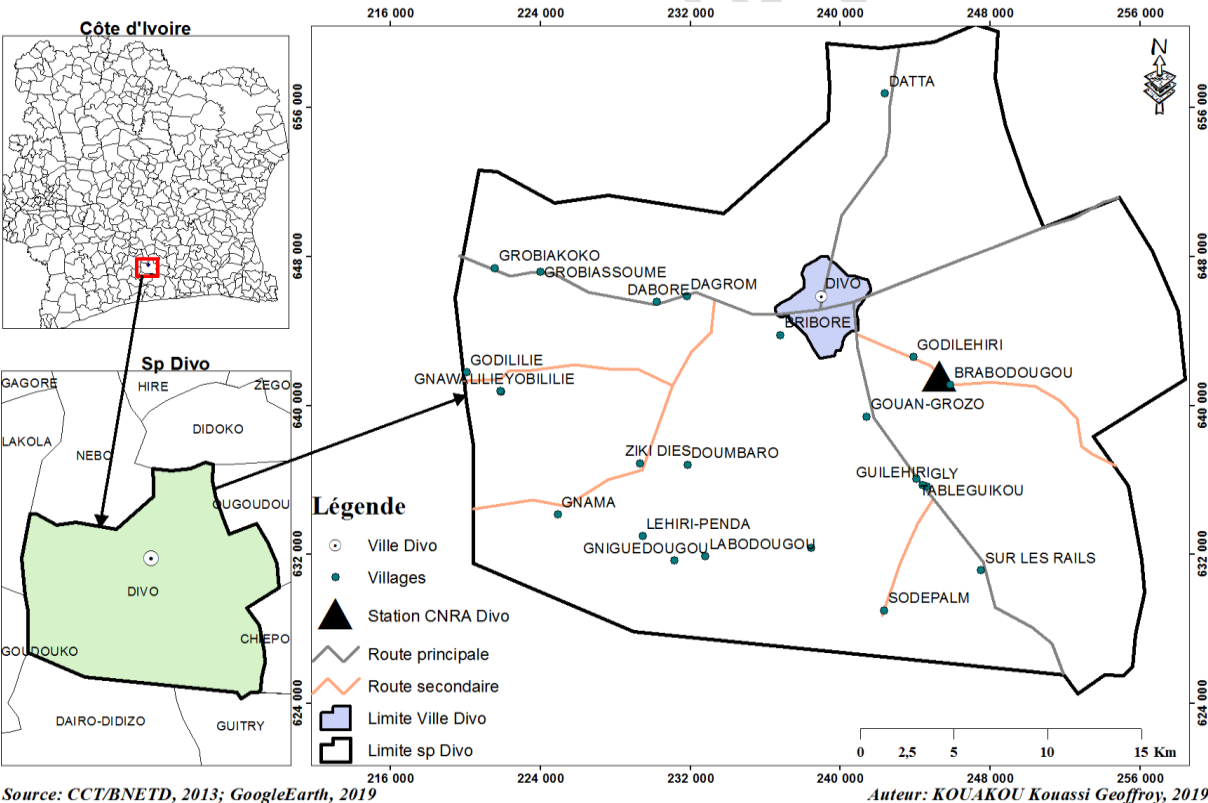
52 Cependant, cette prééminence du cacao ivoirien sur le marché international est fragilisée par de  
53 multiples contraintes. Parmi celles-ci figurent le vieillissement du verger, les infestations de  
54 ravageurs tels que les mirides, les maladies fongiques comme la pourriture brune des cabosses,  
55 les maladies virales telles que le swollen shoot (**Ali et al., 2017**). A ces contraintes, s'ajoute le  
56 faible attrait de la qualité marchande des fèves de cacao sur le marché international ainsi qu'un  
57 faible recours au matériel végétal amélioré (**Tahiet al., 2011**). Cette qualité est en effet affectée  
58 par certains paramètres physiques des fèves (taille réduite des fèves, taux élevé de coque, teneur  
59 variable en matières grasses), et sanitaires (présence d'ochratoxine A et de métaux lourds tels  
60 que le cadmium), ainsi que par des déficits organoleptiques (faible richesse aromatique) (**Koné**  
61 **et al., 2016**) des fèves issues du cacao ivoirien. Ces contraintes se traduisent souvent par une  
62 dépréciation de la qualité marchande des fèves, entraînant des surcoûts de transformation pour  
63 les industriels et des pertes économiques considérables pour les producteurs et les autres acteurs  
64 de la filière(**Nogbouet al., 2015**). Il importe pour les producteurs de cacao ivoirien de trouver des  
65 moyens efficaces pour augmenter leur rendement de production tout en améliorant la qualité  
66 marchande de leurs produits. Face à cette situation les solutions sur les plans chimique,  
67 biologique et génétique sont proposées. Dans ce contexte, l'utilisation de matériel végétal  
68 amélioré apparait comme l'une des alternatives prometteuses pour la résolution des problèmes  
69 liés au cacao ivoirien. Ainsi, le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) en Côte  
70 d'Ivoire produit des hybrides de cacaoyers susceptibles de concilier rendement, résistance aux  
71 bio-agresseurs et qualité biochimique et sensorielle des fèves de cacao. La connaissance des  
72 caractéristiques de ces hybrides s'avère nécessaire pour envisager leur dissémination et leur  
73 production à grande échelle. La présente étude se propose alors d'évaluer les potentialités  
74 biochimique et sensorielle de fèves de cacao issues de six familles d'hybrides de cacao en  
75 sélection en Côte d'Ivoire.

76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89

**MATERIEL ET METHODES**

**Description de la zone de collecte des fèves de cacao**

L'étude a été réalisée à la Station de Recherche de Divo du Centre National de Recherche Agronomique de Côte d'Ivoire (Figure 1). Cette station, qui s'étend sur une superficie de 3570 ha, se trouve en zone forestière. Elle a pour coordonnées géographiques 5°48 latitude Nord et 5°18 longitude Ouest et bénéficie d'un climat tropical humide. La végétation est caractérisée par des forêts denses humides avec un réseau hydrographique composé de plusieurs petits cours d'eaux, de nombreux ruisseaux et de plusieurs étendues marécageuses. Deux saisons pluvieuses (avril-juillet et octobre-novembre) et deux saisons sèches (décembre-mars ; et août septembre) se succèdent dans cette zone pour une pluviométrie annuelle d'environ 1200 mm. Les sols sur cette Station sont profonds, bruns foncés, argilo sableux ou humifères. Ils présentent un faible pourcentage en potassium et un pH acide compris entre 4,5 et 5,8 (Guiraud *et al.*, 2021).



**Figure1 : Localisation de la station de recherche du CNRA de Divo**

**I. MATERIEL VÉGÉTAL**

94 Le matériel végétal est constitué de fèves marchandes de cacao issues de six familles d'hybrides  
95 de cacao : F3, F8, F15, F23, F26 et F27. Ces échantillons proviennent de la Station de Recherche  
96 de Divo du Centre National.

## 97 **II. METHODES**

### 98 **2.1.Détermination des paramètres biochimiques des fèves de cacao**

#### 99 **- Production de la poudre de cacao**

100 Pour chaque famille d'hybride, 100 g de fèves de cacao ont été prélevés, décortiqués puis broyés  
101 en une fine poudre.

#### 102 **- 2.1.1. Détermination du potentiel d'hydrogène**

103 Le potentiel hydrogène (pH) des poudres de cacao a été déterminé selon la méthode de **Medoua**  
104 **(2005)**. Quatre grammes de poudre de cacao ont été dissous dans 40 mL d'eau distillée. La  
105 suspension ainsi obtenue a été homogénéisée par agitation mécanique pendant 15 min à  
106 température ambiante (28°C), puis centrifugée à 3000 tr /min pendant 10 min dans une  
107 centrifugeuse (MSE, ANGLETERRE). Le surnageant obtenu après centrifugation a été transvasé  
108 dans un tube de 50 mL. A l'aide d'un pH-mètre (Model TESTER PC 5, ITALY) préalablement  
109 étalonné, la valeur du pH est lue directement sur l'écran après avoir plongé la sonde de l'appareil  
110 dans le surnageant. Les mesures ont été réalisées en triple.

#### 111 **- 2.1.2. Détermination du taux de lipides**

112 La teneur en lipides totaux des échantillons a été déterminée selon la méthode utilisant le  
113 SOXHLET (**AOAC, 2000**). Dix grammes de poudre de cacao ( $m_e$ ) ont été pesés et introduits  
114 dans une cartouche de WHATMAN. Ensuite, un volume de 250 mL d'hexane a été déposé dans  
115 un ballon d'extraction chauffante (100°C) intégrée au SOXHLET pendant 8 h. Après ce temps  
116 d'extraction, le ballon a été retiré du SOXHLET et mis à l'étuve à 105°C, pendant 30 minutes,  
117 pour l'évaporation totale du solvant. A la fin de l'évaporation, le ballon a été repesé ( $m_1$ ). La  
118 teneur en lipides totaux a été déterminée selon la relation suivante :

119 ***Lipides (%) =  $\frac{(m_1 - m_0)}{m_e} \times 100$***

120  **$m_e$  : Masse (g) de l'échantillon**

121  **$m_0$  : Masse (g) du ballon vide**

122  **$m_1$  : Masse (g) du ballon + lipides**

123

#### 124 **- 2.1.3. Détermination de la teneur en cendres**

125 La méthode de détermination de la teneur en cendres est celle décrite par **AOAC (2000)**. Cinq  
 126 grammes de poudre de cacao ont été pesés dans un creuset en porcelaine de masse connue ( $M_1$ ).  
 127 L'ensemble creuset + échantillon ( $M_2$ ) est ensuite placé dans un four à moufle (HERAEUS,  
 128 HANAU) et l'échantillon est incinéré à 550 °C pendant 24 heures. L'ensemble (creuset +  
 129 cendres) a été ensuite mis dans un dessiccateur pour refroidissement. L'ensemble creuset +cendre  
 130 est de nouveau pesé ( $M_3$ ). Le taux de cendres ( $T_C$ ) a été déterminé comme suit :

$$131 \quad \text{res}(\%) = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100$$

132  
 133  $T_C$  : Taux de cendre exprimé en pourcentage (%)

134  $M_1$  : Masse du creuset en porcelaine exprimée en gramme (g)

135  $M_2$  : Masse de l'ensemble échantillon – creuset exprimée en gramme (g)

136  $M_3$  : Masse du creuset contenant l'échantillon calciné exprimée en gramme (g)

137

#### 138 - 2.1.4. Détermination de la teneur en fibres

139 La teneur en fibres a été déterminée selon la méthode de **AOAC (2000)**. Deux grammes de  
 140 poudre de cacao ( $M_e$ ) ont été homogénéisés dans 50 mL d'acide sulfurique 0,25 N. Le mélange a  
 141 été porté à ébullition pendant 30 minutes sous réfrigérant à reflux. Ensuite, 50 mL de soude 0,31  
 142 N ont été ajoutés au contenu du ballon et, porté une seconde fois à ébullition pendant 30 minutes  
 143 sous réfrigérant à reflux. L'extrait obtenu après ébullition a été filtré sur papier filtre Whatman  
 144 n°4 et le résidu a été lavé à l'eau bouillante (100 °C) jusqu'à élimination complète des alcalis. Le  
 145 résidu a été séché à l'étuve à 105 °C, pendant 8 h ; il a été refroidi au dessiccateur puis pesé  
 146 ( $M_1$ ). Le résidu obtenu a été incinéré au four à 550 °C pendant 3 h, refroidi au dessiccateur, puis  
 147 la cendre a été pesée ( $M_2$ ).

148 La teneur en fibres (F) est donnée par la formule suivante:

$$149 \quad s(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_e} \times 100$$

150

151  $F$  : teneur en fibres brutes exprimée en pourcentage

152  $M_1$ : masse (g) du résidu séché.

153  $M_2$ : masse (g) des cendres obtenues.

154  $M_e$ : masse (g) de l'échantillon.

155

#### 156 - 2.1.5. Détermination de la teneur en protéines brutes

157 La teneur en protéines brutes a été déterminée selon la méthode de Kjeldhal(AOAC, 2000). Pour  
 158 ce faire, un gramme de poudre de cacao a été chauffé à 400 °C, pendant 120 minutes, en  
 159 présence d'une pincée du mélange de catalyseur (sélénium + sulfate de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)) et  
 160 de 20 mL d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 95-97 % dans un digesteur (BUCHI, France). Le  
 161 minéralisât obtenu a été complété à 60 mL avec de l'eau distillée. A ce volume, ont été ajoutés  
 162 50 mL de soude (40 %, m/v) le tout a été porté à ébullition dans un distillateur de type  
 163 LEGALLAIS. L'ammoniac qui se dégageait a été piégé dans un vase doseur contenant 10 mL du  
 164 mélange acido-basique (4 %, m/v) indicateur mixte (rouge de méthyle + vert de bromocrésol) à  
 165 pH 4,4 - 5,8. Le dosage a été réalisé par une solution décimolaire d'acide sulfurique. Un test à  
 166 blanc a été réalisé dans les mêmes conditions décrites ci-dessus.  
 167 Le taux de protéines a été déterminé selon la formule suivante:

$$\text{Protéines totales (\%)} = \frac{(v_1 - v_0) \times 14 \times 6,25 \times N}{m_e}$$

168  $V_0$ : volume (mL) de solution d'acide sulfurique versé pour l'essai à blanc.  
 169  $V_1$ : volume (mL) de solution d'acide sulfurique versé pour l'essai (échantillon).  
 170  $N$ : normalité de la solution d'acide sulfurique (0,1N).  
 171  $m_e$ : masse (g) de l'échantillon.  
 172 **14**: masse atomique de l'azote.  
 173 **6,25**: Coefficient de conversion de l'azote en protéines.

174

#### 175 - 2.1.6. Détermination de la teneur en composés phénoliques

176 Le dosage des composés phénoliques a débuté par leur extraction qui a été réalisée selon la  
 177 méthode décrite par **Meda et al., (2015)** avec du méthanol 70 % (v/v). Un (1) gramme  
 178 d'échantillon de poudre de cacao a été homogénéisé dans 10 mL de méthanol 70 % (v/v). Le  
 179 mélange obtenu a été centrifugé à 1000 trs / min pendant 10 min. Le culot a été récupéré dans 10  
 180 mL de méthanol 70 % et centrifugé de nouveau. Les surnageants ont été réunis dans une fiole de  
 181 50 mL et ajustés avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. L'extrait obtenu a constitué  
 182 l'extrait phénolique pour le dosage des composés phénoliques.  
 183 Ce dosage a été effectué selon la méthode décrite par **Singleton et al. (1999)**. Un mL d'extrait  
 184 méthanolique a été ajouté à 1 mL de réactif de Folin-ciocalteu dans un tube à essai. Le mélange a  
 185 été bien homogénéisé par agitation manuelle. Après 3 min, un volume de 1 mL d'une solution  
 186 aqueuse de carbonate de sodium (20 %, m/v) a été ajouté et le volume a été ajusté à 10 mL avec  
 187 de l'eau distillée. Ensuite, le tube a été placé à l'obscurité pendant 30 min. La lecture de

188 l'absorbance a été faite au spectrophotomètre (PG Instruments, Angleterre) à 725 nm contre le  
189 blanc puis la teneur en composés phénoliques de chaque échantillon a été déterminée sur la base  
190 de l'absorbance obtenue et de la courbe d'étalonnage réalisée à l'aide d'une gamme de solutions  
191 d'acide gallique de concentration allant de 0 à 1 mg / mL. Les résultats ont été exprimés en mg  
192 équivalent d'acide gallique (EAG)/100g de matière sèche (MS).

## 193 **2.2.Analyse sensorielle des masses provenant des fèves des familles d'hybrides de cacao**

### 194 **- 2.2.1.Préparation de la liqueur ou masse de cacao**

195 La préparation des masses de cacao a été réalisée selon la méthode décrite par **ISCQF (2020)**.  
196 Cette préparation a été faite en plusieurs étapes dont : le triage, la torréfaction, le concassage, le  
197 vannage, le broyage-affinage et le conditionnement.

198 Quatre cent grammes de fèves de cacao ont été triés manuellement afin d'y retirer les fèves  
199 plates, les fèves brisées, les brisures, les fèves collées (crabots) et les matières étrangères. Les  
200 fèves de cacao résultant de ce tri, ont été torréfiées à l'aide d'une étuve ventilée de type Binder  
201 (Germany). Les paramètres temps-température sont définis à partir du standard de "Cocoa of  
202 Excellence" (130°C / 25 minutes) et sont dépendant des valeurs de l'humidité et du grainage de  
203 chaque échantillon. A la fin de la torréfaction, les fèves ont été mises au refroidisseur de type  
204 Cocotown, coolingtray-junior, pendant 5 à 10 minutes. Par la suite, les fèves torréfiées ont été  
205 concasser. Cette opération a consisté à broyer grossièrement ces fèves de cacao, grâce à un  
206 concasseur de type Cocotown, afin d'obtenir des morceaux.Le vannage a consisté à séparer les  
207 morceaux de fève de leur coque. Pour ce faire, les fèves concassées ont été déversées au fur et à  
208 mesure dans un séparateur de coques (par ventilation) de type Cocotown. Les nibs (morceaux  
209 d'amandes de fèves après concassage) ont été recueillis dans un récipient, et triés triés  
210 manuellement pour éliminer le reste des coques qui n'ont pu l'être par le séparateur de coque.Le  
211 broyage a été réalisé à l'aide d'un broyeur à mortier de type Cocotown, à chaud (environ  
212 100°C). Les nibs ont été introduits au fur et à mesure dans l'appareil pour éviter tout  
213 débordement. La granulométrie (finesse) finale à atteindre est de l'ordre de 20 microns mesurée  
214 à l'aide d'un micromètre de type Tesa Master. La liqueur de cacao a été conditionnée dans des  
215 boîtes en plastique stérile ou mise dans des moules afin d'obtenir des tablettes. La conservation  
216 s'est faite dans un réfrigérateur à 4°C.

### 217 **- 2.2.2. Détermination du profil sensoriel des liqueurs de cacao**

218 L'analyse sensorielle des masses de cacao a été réalisée selon la méthode décrite par **Cocoa of**  
219 **Excellence (2024)**. Le profil sensoriel est déterminé par un panel de dégustation constitué de 12  
220 personnes entraînées et formées à reconnaître les attributs sensoriels. Au cours de la séance de  
221 dégustation, chaque panéliste reçoit des échantillons de liqueur de cacao qui ont été



reconditionnés dans de petites boîtes en plastique transparentes stériles. Les boîtes et leur contenu ont été chauffés à l'étuve à 50°C pendant 15 minutes. Chaque panéliste a disposé d'un kit de dégustation composé d'une fiche de notation de liqueur de cacao, d'un crachoir métallique, d'un gobelet et d'une spatule en plastique qui a servi à prélever la liqueur de cacao. Un cracker est aussi mis à la disposition de chaque panéliste afin de se nettoyer la bouche après chaque échantillon dégusté. Les attributs de base sont la teneur en cacao, l'acidité, l'astringence et l'amertume ; à celles-ci s'ajoutent d'autres attributs tels que les fruits frais, fruits marrons, noix. Pour chaque attribut présent dans l'échantillon dégusté, le panéliste a attribué une note selon le degré de présence ressenti par ce dernier. A la fin de la dégustation, la moyenne des notes attribuées par l'ensemble du panel permet de déterminer le profil sensoriel de chaque échantillon.

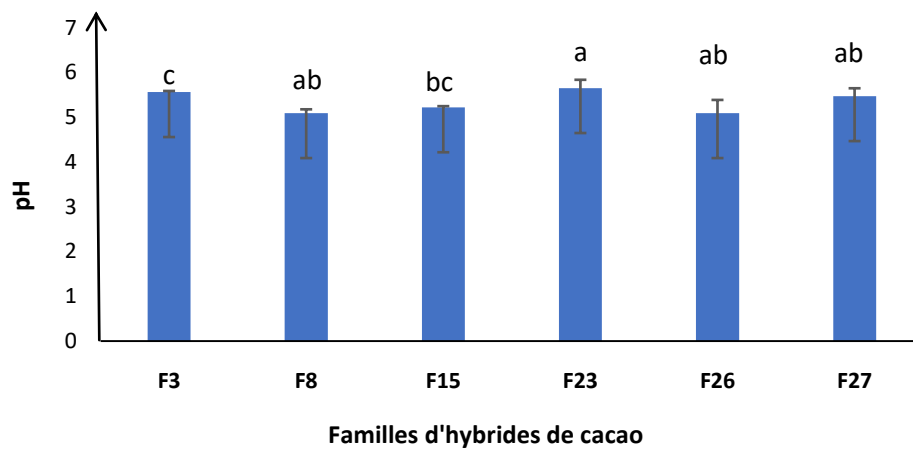
### 2.3. Analyses statistiques

Les différents calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel 2021. Pour comparer les moyennes des paramètres biochimiques, l'analyse des variances (ANOVA) et le test de Tukey ont été réalisés grâce au logiciel R version 4.0.3. Les différences ont été considérées comme significatives pour  $P < 0,05$ .

## III. RESULTATS ET DISCUSSION

### 1. Potentiel d'hydrogène des échantillons de cacao

Les résultats ont montré que le pH des fèves de cacao des familles d'hybrides est acide et, a varié de 5,09 à 5,65 (**figure 2**). Les fèves de cacao des familles F8 et F26 ont enregistré le pH le plus acide ( $5,09 \pm 0,09$ ) et ( $5,09 \pm 0,3$ ), tandis que celles de la famille d'hybride F23 un pH moins acide ( $5,65 \pm 0,19$ ).



246

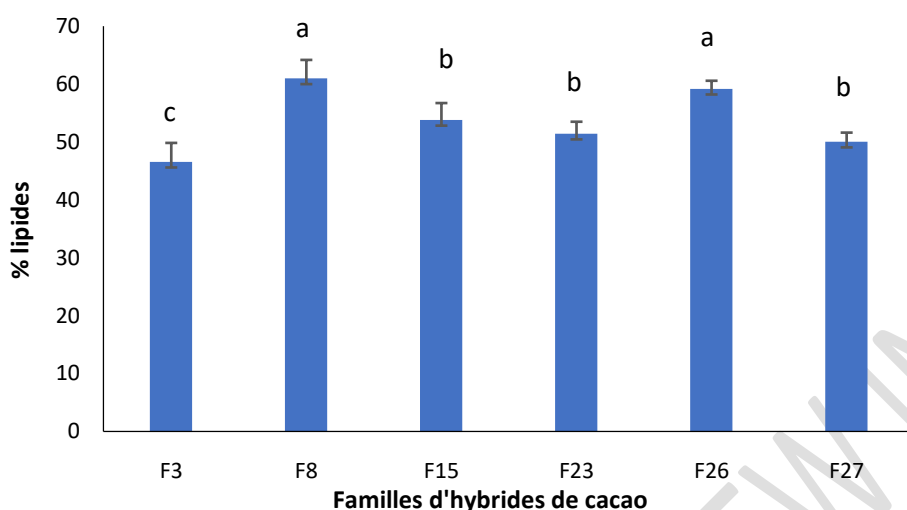
247 **Figure 2 :** Potentiel d'hydrogène des échantillons des fèves des familles d'hybride de cacao F3,  
 248 F8, F15, F23, F26 et F27

249 Les bandes surmontées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ )

250

## 2. Teneur en lipides des fèves de cacao

Les teneurs en lipides des fèves de cacao issues des familles d'hybrides F3, F8, F15, F23, F26, F27 (**figure 3**) sont respectivement de 49,58 ; 60,97 ; 53,8 ; 51,43 ; 59,18 et 50,05 .

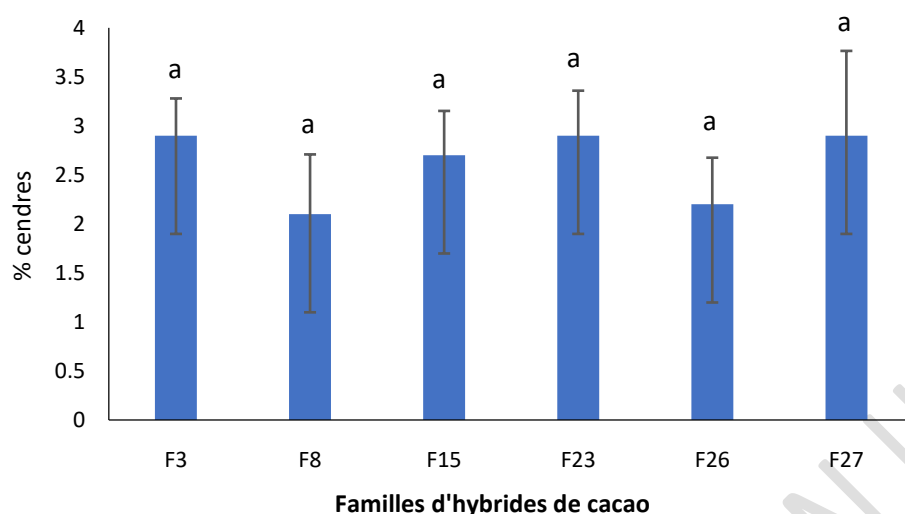


**Figure 3 :** Teneur en lipides des fèves issues des familles d'hybrides de cacao F3, F8, F15, F23, F26 et F27

Les bandes surmontées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes ( $P>0,05$ )

## 3. Teneur en cendres des fèves de cacao

La détermination de ce paramètre offre la possibilité de connaître la teneur en matière minérale globale des fèves de cacao et de leurs sous-produits. La teneur en cendres des fèves de cacao observée dans cette étude (**figure 4**) a varié de 2,1 à 2,9%. Les analyses statistiques n'ont montré aucune différence significative entre les échantillons provenant des différentes familles d'hybrides.



**Figure 4 :** Teneur en cendres des fèves issues des familles d'hybrides de cacao F3, F8, F15, F23, F26 et F27

Les bandes surmontées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ )

#### 4. Taux de protéines et fibres des fèves de cacao

Les teneurs en protéines et fibres des différentes familles d'hybrides de cacao sont présentées dans le **tableau 1**, en effet, les teneurs en protéines elles ont varié de 11,09 % (F23) à 14,27 % (F8). Quant aux teneurs en fibres, elles ont oscillé entre 13,79 et 17,67 %. La teneur la plus élevée a été observée également chez la famille F8 (17,67 %), suivie de F3 (16,75 %), alors que les valeurs les plus faibles sont rapportées au niveau de F26 (13,79 %). Il apparaît des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les différentes teneurs en protéines et fibres des différents échantillons.

**Tableau 1 :** Teneur en protéines et fibres des fèves des familles d'hybrides de cacao F3, F8, F15, F23, F26 et F27

Familles d'hybrides de cacao	Teneur en protéines (%)	Teneur en fibres (%)
<b>F3</b>	12,2±0,02 <sup>b</sup>	16,75±0,03 <sup>b</sup>
<b>F8</b>	14,27±0,02 <sup>a</sup>	17,67±0,02 <sup>a</sup>
<b>F15</b>	11,15±0,02 <sup>d</sup>	13,95±0,02 <sup>d</sup>
<b>F23</b>	11,09±0,02 <sup>e</sup>	13,89±0,03 <sup>d</sup>
<b>F26</b>	11,21±0,02 <sup>c</sup>	13,79±0,02 <sup>e</sup>
<b>F27</b>	11,24±0,02 <sup>c</sup>	14,94±0,02 <sup>c</sup>

Dans une même colonne, les valeurs moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ( $P>0,05$ )

## 5. Composés phénoliques totaux des fèves de cacao

Le **tableau 2** ci-dessous montre que les teneurs en composés phénoliques des fèves de cacao ont varié de 1257,5 (pour F15) à 1334,2 mg EAG/100 g (pour F23).

**Tableau 2 :** Teneur en composés phénoliques des fèves des familles d'hybrides F3, F8, F15, F23, F26 et F27

Familles d'hybrides de cacao	Teneur en composés phénoliques (mgEAG/100g)
F3	1303,53±1,55 <sup>ab</sup>
F8	1334,15±1,55 <sup>a</sup>
F15	1257,5±1,5 <sup>cd</sup>
F23	1334,2±1,3 <sup>a</sup>
F26	1277,2±1 <sup>bc</sup>
F27	1263,7±1,3 <sup>cd</sup>

Dans une même colonne, les valeurs moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ( $P>0,05$ )

## 6- Profil sensoriel des fèves issues des six familles d'hybrides étudiées

Le **tableau 3** présente le profil sensoriel des familles d'hybrides de cacao F3 ; F8 ; F15 ; F23 ; F26 et F27. L'analyse sensorielle des fèves provenant des familles d'hybrides de cacao étudiées, a révélé une intensité moyenne en cacao comprise entre 5,6 et 6,2. Les familles d'hybrides F23 et F26 se sont distinguées par une note de cacao plus marquée (6,2 ; 6,1) que les familles d'hybrides de cacao F3 ; F8 ; F15 et F27.

L'acidité quant à elle est faible, avec des intensités de 1,1 ; 0,5 ; 0,9 ; 0,8 et 1,2 respectivement pour les familles d'hybrides de cacao F3 ; F8 ; F15 ; F23 ; F26 et F27.

L'astringence et l'amertume ont des expressions modérées avec des intensités comprises entre 4,3 et 4,5.

L'intensité en fruits frais est discrète (0,5–0,9), avec une expression plus marquée chez F8 (0,9) et F26 (0,6

Les fruits marrons sont plus présents chez F15 (1,5) et F8 (1,0) contrairement à F3 (0,9); F23 et F27 (0,7) ; F26 (0,8).

305 Les notes florales ont varié de 1,7 (F3) à 2,3 (F26 et F27), les attributs boisé et épicé ont été  
 306 faibles mais détectables avec une intensité boisée plus élevée chez F3 et F8 (1,6) et épicée chez  
 307 F8 et F27 (0,8). Quelques notes de noix ont été perçues chez F8 (1,4), F23 et F26 (1,1).

308 **Tableau 3** : Profil sensoriel des familles d'hybrides de cacao F3 ; F8 ; F15 ; F23 ; F26 et F27.

Familles d'hybrides	Cacao	Acidité	Amertume	Astringence	Fruits frais	Fruits marrons	Floral	Boisé	Epicé	Noix
<b>F3</b>	5,6	1,1	4,4	4,4	0,5	0,9	1,7	1,6	0,8	0,9
<b>F8</b>	6	0,5	4,3	4,5	0,9	1	2,2	1,6	0,8	1,4
<b>F15</b>	5,9	0,9	4,5	4,6	0,5	1,5	2,1	1,1	0,5	0,8
<b>F23</b>	6,2	0,8	4,4	4,5	0,5	0,7	1,8	1,4	0,5	1,1
<b>F26</b>	6,1	0,8	4,3	4,7	0,6	0,8	2,3	1,2	0,7	1,1
<b>F27</b>	5,6	1,2	4,4	4,2	0,5	0,7	2,3	1,1	0,8	0,9

309

## 310 **DISCUSSION**

311 Les résultats de l'étude montrent une variabilité de potentiel hydrogène des fèves de cacao issues  
 312 des différentes familles d'hybrides. Cette variabilité du pH dépend non seulement du génotype  
 313 mais aussi des conditions de fermentation telles que la durée, la température, le nombre de  
 314 brassages et l'activité microbienne (**Castro-Alayo et al., 2019**). En effet, un pH plus acide  
 315 pourrait traduire une forte accumulation d'acides organiques dans les fèves de cacao, conférant à  
 316 celles-ci une note acidulée plus prononcée indésirable dans le chocolat (**Afoakwa, 2010**).  
 317 Cependant, un pH moins acide serait dû à une dégradation plus rapide des acides au cours du  
 318 séchage. Ainsi, un pH trop élevé (> 6) pourrait traduire une fermentation incomplète, limitant la  
 319 diffusion des acides et la dégradation des polyphénols, conduisant à un cacao peu aromatique et  
 320 amer. Les valeurs de pH enregistrées dans cette étude sont conformes à la plage optimale ( $5 \leq \text{pH} \leq 5,8$ ) décrite pour un cacao bien fermenté selon **Camuet et al., (2007)**.

322 Par ailleurs, les familles F8 et F26 se sont distinguées par des teneurs en lipides particulièrement  
 323 élevées (>58 %), supérieures à la moyenne (50 – 57 %) rapportée dans la littérature (**Afoakwa, 2014**). La variabilité de la teneur en lipides serait due à l'influence combinée du génotype et des  
 324 pratiques post-récolte. En effet, chaque famille hybride possédant un patrimoine génétique  
 325 distinct pourrait avoir une influence sur la biosynthèse des lipides. De plus, la maturité des  
 326 cabosses lors de la récolte, les facteurs climatiques et géographique ainsi que les méthodes  
 327 d'extraction de la matière grasse pourrait affecter la teneur lipidique. Des teneurs similaires  
 328

329 comprises entre 46 et 59 % ont été rapportées par **Kouadio *et al.* (2020)** en Côte d'Ivoire. Par  
330 ailleurs, la teneur lipidique influence la texture, la fluidité et la stabilité du chocolat. Ainsi, les  
331 fèves de cacao présentant une richesse en lipides traduisant un rendement plus élevé en beurre de  
332 cacao seraient des matières premières importantes pour les industries chocolatière, cosmétique et  
333 pharmaceutique.

334 Quant à la teneur en cendres des fèves de cacao, ce paramètre pourrait être influencé par  
335 l'origine pédologique (composition minérale du sol) et aussi par les facteurs climatiques. Ces  
336 résultats sont cohérents avec ceux rapportés par **Kongor *et al.* (2016)**, qui indiquent une teneur  
337 en cendres comprise entre 2,6 et 4 % dans les fèves de cacao d'Afrique de l'Ouest. En outre, les  
338 minéraux font partie de la grande famille des micronutriments qui jouent un rôle important dans  
339 les processus métaboliques du corps humain (**Mian, 2023**). Par conséquent, la consommation  
340 accrue d'aliments qui en contiennent pourrait améliorer la régulation minérale et réduire les  
341 risques de maladies cardiovasculaires et certains risques de cancers (**Ismail *et al.*, 2011**). Le  
342 cacao provenant des différentes familles d'hybrides ferait partie de ces aliments.

343 En outre, il a été rapporté que la teneur en protéines brutes peut être considérée comme une  
344 mesure de la concentration en azote dans certains aliments (**Akpabio et Ikpe 2013**). Les  
345 variations de la teneur en protéines présentes dans les fèves de cacao pourraient traduire  
346 l'existence d'une variabilité génétique importante entre les familles d'hybrides étudiées. Ces  
347 résultats s'accordent avec ceux rapportés par **Afoakwa (2010)** et **Lima *et al.* (2011)**, selon  
348 lesquels la teneur en protéines des fèves de cacao se situe généralement entre 10 et 15 %, en  
349 fonction de l'origine variétale, des conditions de culture et des procédés post-récolte. De plus, les  
350 protéines constituent des macromolécules importantes dans les fèves de cacao, car elles  
351 participent au développement des arômes lors de la torréfaction, notamment par la réaction de  
352 Maillard.

353 Quant aux teneurs en fibres, les valeurs enregistrées lors de cette étude se situent dans l'intervalle  
354 rapporté par **Afoakwa (2014)** qui a mentionné une teneur en fibres totales comprise entre 15 et  
355 20 % pour les fèves de cacao. Les fibres constituent une fraction importante dans une denrée  
356 alimentaire en raison de leur rôle crucial dans le bon fonctionnement du transit intestinal **Karim  
357 *et al.*, (2020)**. Ainsi, les fèves de cacao hybrides étudiées pourraient être considérées comme une  
358 source alternative de fibres convenable pour l'alimentation humaine.

359 S'agissant des composés phénoliques, **Oracz *et al.* (2019)** ont souligné que la variabilité observée  
360 entre cultivars, mais aussi entre lots d'une même variété, peut être attribuée à la fois au génotype,  
361 au mode de fermentation et aux conditions pédoclimatiques. Ces résultats se situent dans  
362 l'intervalle des valeurs comprises entre 1200 et 1500 mg EAG/100 g, rapportées par **Afoakwa *et***

363 *al.* (2014). Le cacao est très riche en polyphénols et, celui de la Côte d'Ivoire occupe le 3<sup>ème</sup> rang  
364 des cacaos les plus riches en composés phénoliques. Or, les polyphénols ont été rapportés non  
365 seulement comme des composés améliorant la digestion mais aussi comme des antioxydants,  
366 des anti-agrégants plaquettaires, des anti-inflammatoires, des anti-allergènes, des anti-  
367 thrombotiques, des antitumoraux neuroprotecteurs, antiviral, chimio-préventive, ayant une  
368 influence sur le métabolisme lipidique et glucidique (**Tarkoet *al.*, 2013**). Aussi, la forte présence  
369 des polyphénols dans les 6 familles d'hybrides cacao paraît-elle bénéfique aux consommateurs  
370 potentiels.

371 L'analyse sensorielle des masses de cacao provenant des fèves des hybrides de cacao a révélé  
372 une intensité de cacao moyenne, qui serait probablement en lien avec leur composition lipidique  
373 et protéique favorable à la génération de précurseurs aromatiques (**Voigt et Lieberei, 2015**).

374 La faible acidité ressentie dans les masses de cacao provenant des fèves des familles d'hybrides  
375 de cacao, pourrait être la conséquence du pH moyen relevé. Ces résultats sont contraires à ceux  
376 rapportés par **Afoakwa (2014)** concernant des fèves avec une acidité plus marquée (2–3) au  
377 Ghana.

378 L'astringence et l'amertume quant à eux pourraient s'expliquer par les teneurs importantes en  
379 polyphénols dans les fèves de cacao. Ces résultats corroborent les propos de **Oracz et Nebesny**  
380 **(2019)** qui stipulent que ces composés sont directement responsables de l'amertume et de  
381 l'astringence.

382 Les fruits marrons sont généralement associés à des produits de fermentation avancée et à des  
383 concentrations accrues d'acides organiques volatils et d'alcools supérieurs (**Hiet *al.*, 2009**).

384 Les attributs secondaires comme les caractères floral, boisé, épicé et noix sont la résultante de  
385 différentes lignées génétiques, de la diversité des composés aromatiques phénoliques et des  
386 composés volatils produits lors de la fermentation et du séchage (**Camargo *et al.*, 2016**). De tout  
387 ce qui précède, la famille d'hybride F8 se démarque clairement en présentant un profil sensoriel  
388 recherché dans les cacaos fins.

389

## 390 CONCLUSION

391 Cette étude a permis de caractériser, aux plans biochimique et sensoriel, six familles d'hybrides  
392 de cacao en sélection au Centre National de Recherche Agronomique de Côte d'Ivoire. Dans  
393 l'ensemble, les fèves de ces différentes familles d'hybrides ont présenté un pH peu acide,  
394 compris entre 5,0 et 5,8. Les familles F8 et F26 se sont distinguées par des teneurs en lipides  
395 particulièrement élevées (>58 %) qui les positionnent comme idéales pour l'extraction du beurre  
396 de cacao. La famille d'hybride F8 a, en outre, révélé sa richesse en protéine (14,27%) et en



polyphénols (1334,15 mgEAG/100g). Le profil sensoriel des 6 familles d'hybrides de cacao est dominé par l'intensité cacao, une faible acidité, une amertume et une astringence modérées. Des notes florales, fruitées et épicées marquées sont présentes dans la famille d'hybride de cacao F8 qui y associe une bonne intensité cacao et des nuances fruitées – noix. Ainsi, la famille d'hybride F8 s'est démarquée comme la plus prometteuse, grâce à sa combinaison d'importante teneur lipidique, protéique et fibreuse, soutenue par une valeur optimale de pH préfigurant un cacao bien fermenté. À l'opposé, les familles d'hybrides F23 et F15 ont présenté des profils plus limités, nécessitant des ajustements technologiques pour optimiser leur potentiel. Ces résultats viennent renforcer l'idée selon laquelle la sélection variétale devrait s'appuyer sur une approche intégrant des paramètres biochimiques, sensoriels et agronomiques afin de répondre aux exigences croissantes de l'industrie et des consommateurs.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Afoakwa E.O. (2010).** Chocolate Science and Technology. Wiley-Blackwell, Chichester, U.K.; Ames, Iowa, pp. 58-7.
- Afoakwa E.O. (2014).** Chocolate Science and Technology. 2nd edition. Wiley-Blackwell, Oxford, uk.
- Afoakwa E.O., Budu A. S., Brown H. M., Takrama J. F., Ansah E. O. (2014).** Effect of roasting conditions on the browning index and appearance property of pulp preconditioned and fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 2(1), 1-5.
- Akpabio U.D., Ikpe E. E. (2013).** Proximate composition and nutrient analysis of *Annona muricata* leaves.
- Ali S. S., Shao J., David J., Mary L.D., Lyndel S., Meinhardt W., Bailey B.A. (2017).** *Phytophthora megakarya* and *P. palmivora*, Causal Agents of Black Pod Rot, Induce Similar Plant Defense Responses Late during Infection of Susceptible Cacao Pods. *Front Plant Science*, 8, 169.
- AOAC (2000).** Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. Methods 925.10, 65.17, 974.24, 992.16.
- Aprotosoaie 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.

429 **Cacao d'Excellence (2024).** Guide pour l'Évaluation de la Qualité et de la Saveur du Cacao.  
 430 Compilé par le programme Cacao d'Excellence de l'Alliance de Bioversity International et du  
 431 CIAT, en collaboration avec les membres du Groupe de Travail sur l'Élaboration des Normes  
 432 internationales pour l'Évaluation de la Qualité et de la Saveur du Cacao (ISCQF). Bioversity  
 433 International. 216 pages.

434 **Camargo A.C., Cunha L.M., Carvalho J.L., Silva C.M. (2016).** Influence of fermentation and  
 435 drying on the chemical composition and antioxidant activity of cocoabeans. *Food Chemistry*,  
 436 212, 1–9.

437 **Camu N., De Winter T., Verbrugghe K., Cleenwerck I., Vandamme P., Takrama J. S., De  
 438 Vuyst L. (2007).** Dynamics and biodiversity of populations of lactic acid bacteria and  
 439 acetic acid bacteria involved in spontaneous heap fermentation of cocoabeans in Ghana. *Applied  
 440 and Environmental Microbiology*, 73(6), 1809–1824.

441 **Chen-Yen-Su A. (2014).** Analyse morphologique et profils aromatique, sensoriel du cacao du  
 442 Sambirano. Mémoire de Master. Université de la Réunion. 81p.

443 **Coimbra M.C., Jorge N. (2011).** Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá  
 444 (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Research  
 445 International* 44, 2139–2142.

446 **Guiraud B. S.; Tahi G. M, Coulibaly K., Assi E. M., Minakou O. S., Atchi M. Y.,  
 447 Lachenaud P., Zoro I. A. (2021).** Sélection de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) présentant un  
 448 bon grainage au sein de la principale collection de Côte d'Ivoire.. *Journal of Applied Biosciences*  
 449 167: 17291 – 17305.

450 **Hii C.L., Law C.L., Cloke M., (2009).** Modeling using a new thin layer drying model and  
 451 product quality of cocoa. *Journal of Food Engineering*, 90 (2) : 191-198.

452 **International Cocoa Organization (2023).** Feasibility Study on Africa Cocoa Exchange -  
 453 Appendix I: Country report Côte d'Ivoire.

454 **International Cocoa Organization (2024).** Quarterly bulletin of cocoa statistics Volume L (4).  
 455 Cocoa Year 2023/24.

456 **ISCQF International Standards for the Assessment of Cocoa Quality and Flavour (2020).**  
 457 Protocol for: Roasting Cocoa Beans.

458 **Ismail F., Anjum M.R., Mamon A.N., Kazi T.G. (2011).** Trace metal contents of vegetables  
 459 and fruits of Hyderabad Retail Market. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10: 365-372.

460 **Karim J. C., Saki J. S., Yoboué K.L., Sea T.B., Kouamé P. L. (2020).** Potentialités  
 461 physicochimiques des fèves de cacao des variétés mercedes et *Theobroma cacao* des régions du

462 Loh-Djiboua et de l'Indénié-Djuablin (Côte d'Ivoire). *International Journal of Advanced*  
 463 *Research*. 8. 1178-1186. 10.21474/IJAR01/11031.

464 **Konate Z., Assiri A. A., Messoum F. G., Sekou A., Camara M., Yao-Kouamé A. (2016).**  
 465 Antécédents culturels et identification de quelques pratiques paysannes en replantation  
 466 cacaoyère en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 27 (3) : 301-314.

467 **Koné K. M. (2017).** Influence des traitements technologiques post-récolte sur la formation des  
 468 composés d'arômes du cacao (*Theobroma cacao* L.). Dynamique et diversité des  
 469 microorganismes impliqués. Thèse de Doctorat. Université Nangui Abrogoua. 172p.

470 **Koné K. M., Guéhi T. S., Durand N., Koffi B. L., Berthiot L., Tachon F. A., BROU K.,**  
 471 **Boulanger R., Montet D. (2016).** Contribution of predominant yeasts to the occurrence of aroma  
 472 compounds during cocoa bean fermentation. *Food Research International*, 89 : 910- 917.

473 **Kongor J. E., Hinneha M., de Walle D. V., Afoakwa E. O., Boeckx P., Dewettinck K.**  
 474 **(2016).** Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile – A  
 475 review. *Food Research International*, 82, 44–52.

476 **Kouadio J. Y., Koné A. B., Goualie B. G., N'Guessan K. F., Kouamé K. G., Niamke S. L.**  
 477 **(2020).** Biochemical and sensory quality of Ivorian cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) as affected  
 478 by fermentation methods. *International Journal of Food Science*.

479 **Lima L. J., Almeida M. H., Nout M. J., Zwietering M. H. (2011).** *Theobroma cacao* L., "The  
 480 Food of the Gods": Quality determinants of commercial cocoa beans, with particular reference to  
 481 the impact of fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731–761.

482 **Meda A., Lamien C. E., Romito M., Millogo J., Nacoulma O. G. (2015).** Determination of  
 483 total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honeys as well as their radical  
 484 scavenging activity. *Food Chemistry*, 91: 571-577.

485 **Medoua G.N. (2005).** Potentiels nutritionnel et technologique des tubercules de l'igname  
 486 *Dioscorea dumetorum* (Kunth) Pax: Etude du durcissement post-récolte et des conditions de  
 487 transformation des tubercules durcis en farine. Thèse, Université de Ngaoundéré, Ngaoundéré.

488 **Mian T. M-A. (2023).** Valorisation nutritionnelle, fonctionnelle et biotechnologique du jus de  
 489 mucilage de cacao (*Theobroma cacao*) produit en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat Université de  
 490 Jean Lorougnon Guédé, Daloa Côte d'Ivoire.

491 **Nogbou A. L. I., Akmel D. C., Brou K., Assidjo E. N. (2015).** Etude du séchage microonde par  
 492 intermittence sur la qualité physicochimique des fèves de cacao. *Revue Ivoire Science*  
 493 *Technology*, 26 : 18-35pp.

494 **Oracz J., Nebesny E. (2019).** E. Effect of roasting parameters on the  
 495 physicochemical characteristics of high-molecular-weight Maillard  
 496 reaction products isolated from cocoa beans of different *Theobroma cacao* L. groups. *European*  
 497 *Food Research and Technology* 245, 111–128.

498 **Oracz J., Żyżelewicz D., Nebesny E. (2019).** Polyphenols and antioxidant activity of cocoa and  
 499 chocolate products: A review. *Food Chemistry*, 342, 128322.

500 **Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R.M. (1999).** Analysis of total phenols and  
 501 other antioxidants by means of Folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymology*, 299: 152- 178.

502 **Tahi G.M., Lachenaud P., N’guessan K.F., N’goran N.K., Pokou D., Kebe I.B., Paulin D.,**  
 503 **Cilas C., Eskes A.B. (2011).** Selection of new varieties on station and on farm in Côte d’Ivoire.  
 504 Final Report of the CFC/ICCO/Bioversity International Project on “Cocoa Productivity and  
 505 Quality improvement: a Participatory Approach” (2004-2010), p. 42 -58.

506 **Tarko T., Duda-Chodak A., Zajac N. (2013).** Digestion and absorption of phenolic compounds  
 507 assessed by in vitro simulation methods. *Annals of the National Institute of Hygiene*, 64: 79-84.

508 **Voigt J., Lieberei R., (2015).** “Biochemistry of Cocoa Fermentation,” In *Cocoa and coffee*  
 509 *fermentations*, R. F. Schwan and G. H. Fleet, Ed., Boca Raton, FL, Florida, USA: CRC Press,  
 510 pp. 193-226.