

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

3

4 **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

23 **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,

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

39 **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**).

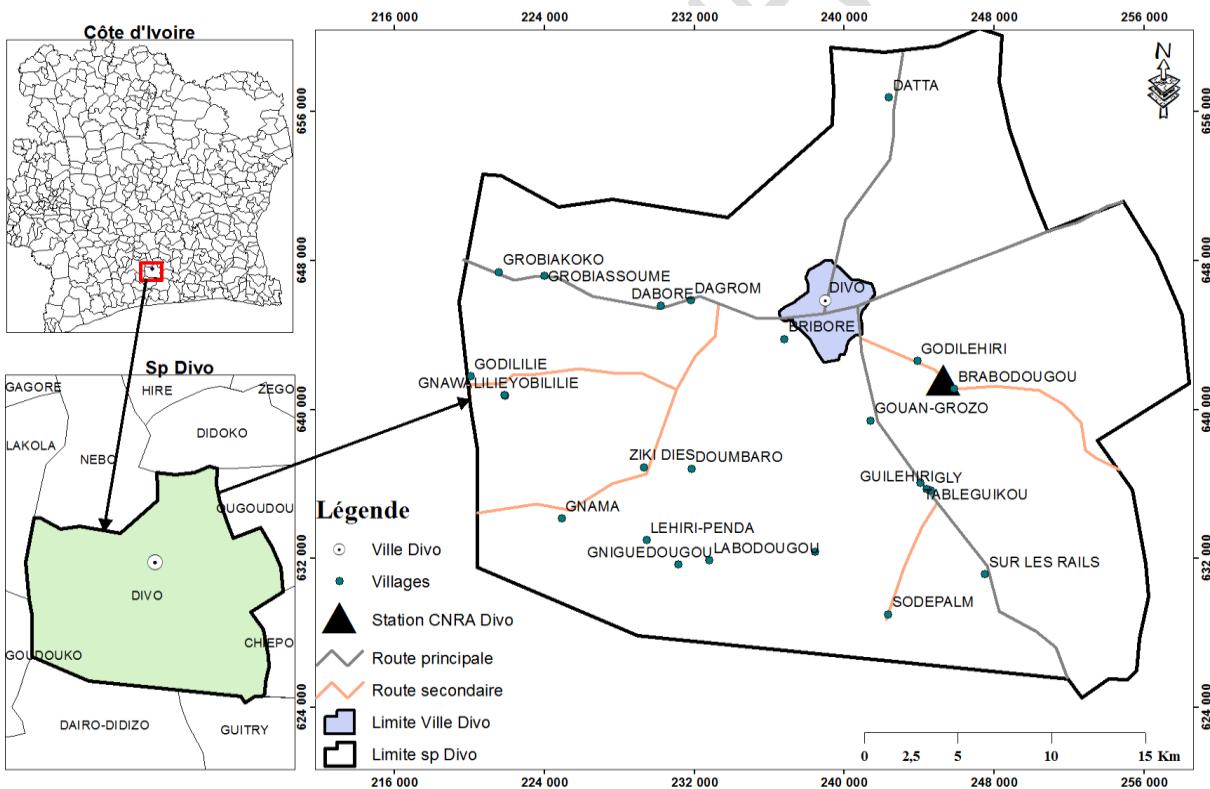
52 Cependant, cette prééminence du cacao ivoirien sur le marché international est fragilisée par de
53 multiples contraintes. Parmi celles-ci figurent le vieillissement du verger, les infestations de
54 ravageurs tels que les mirides, les maladies fongiques comme la pourriture brune des cabosses,
55 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
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 apparaît 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 MATERIEL ET METHODES

78 Description de la zone de collecte des fèves de cacao

79 L'étude a été réalisée à la Station de Recherche de Divo du Centre National de Recherche
 80 Agronomique de Côte d'Ivoire (Figure 1). Cette station, qui s'étend sur une superficie de 3570
 81 ha, se trouve en zone forestière. Elle a pour coordonnées géographiques 5°48' latitude Nord et
 82 5°18' longitude Ouest et bénéficie d'un climat tropical humide. La végétation est caractérisée par
 83 des forêts denses humides avec un réseau hydrographique composé de plusieurs petits cours
 84 d'eau, de nombreux ruisseaux et de plusieurs étendues marécageuses. Deux saisons pluvieuses
 85 (avril-juillet et octobre-novembre) et deux saisons sèches (décembre-mars ; et août-septembre) se
 86 succèdent dans cette zone pour une pluviométrie annuelle d'environ 1200 mm. Les sols sur cette
 87 Station sont profonds, bruns foncés, argilo-sableux ou humifères. Ils présentent un faible
 88 pourcentage en potassium et un pH acide compris entre 4,5 et 5,8 (**Guiraud et al., 2021**).
 89



90 Source: CCT/BNETD, 2013; GoogleEarth, 2019

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

92

93 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 :

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

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 :

$$131 \quad res(\%) = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100 \\ 132$$

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 (séléinium + sulfate de potassium (K₂SO₄)) et
160 de 20 mL d'acide sulfurique (H₂SO₄) 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 Cocoatown, 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 Cocoatown, 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 Cocoatown. 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 Cocoatown, 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

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

233

234 **2.3.Analyses statistiques**

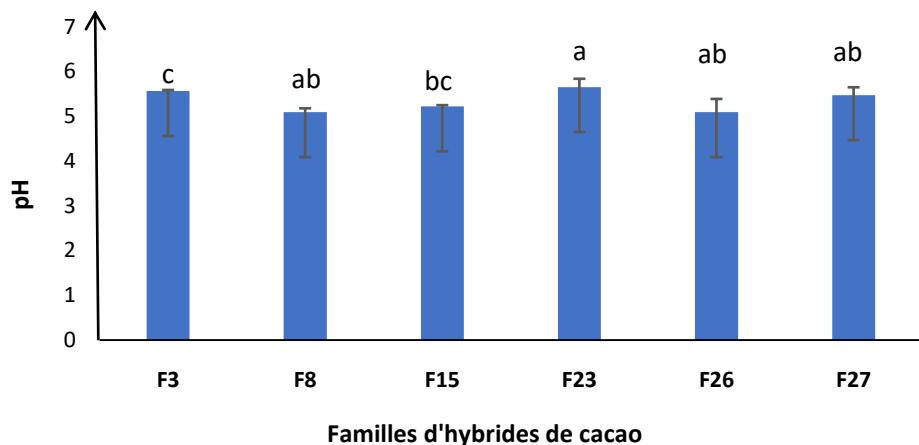
235 Les différents calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel 2021. Pour comparer les
236 moyennes des paramètres biochimiques, l'analyse des variances (ANOVA) et le test de
237 Tukeyont été réalisés grâce au logiciel R version 4.0.3. Les différences ont été considérées
238 comme significatives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

239

240 **III.RESULTATS ET DISCUSSION**

241 **1. Potentiel d'hydrogène des échantillons de cacao**

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



246

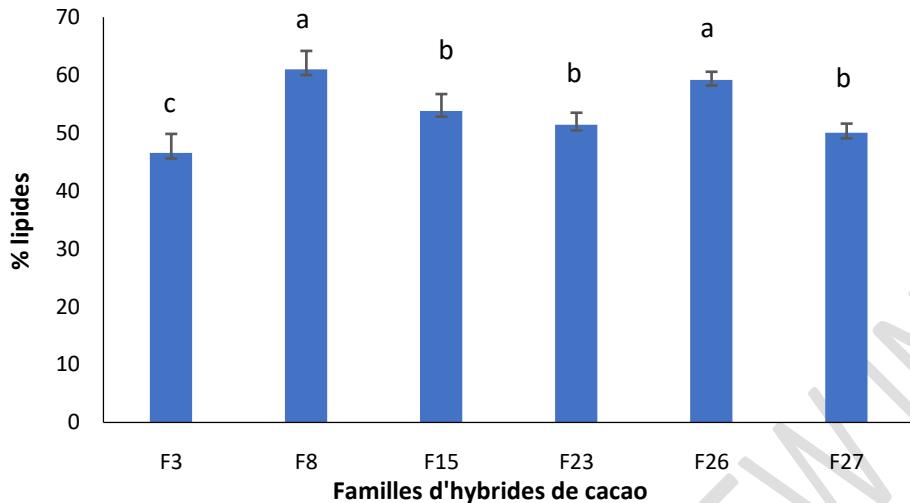
247 **Figure 2 :**Potentiel d'hydrogène des échantillons des fèves des familles d'hybride de cacao F3,
248 F8, F15, F23, F26 et F27

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

250

251 **2. Teneur en lipides des fèves de cacao**

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



254

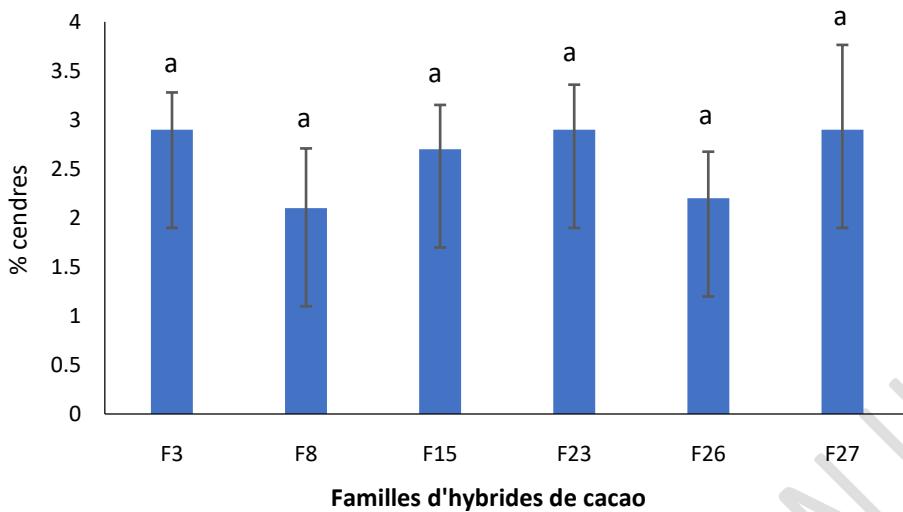
255 **Figure 3 :** Teneur en lipides des fèves issues des familles d'hybrides de cacao F3, F8, F15, F23,
256 F26 et F27

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

258

259 **3. Teneur en cendres des fèves de cacao**

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



265

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

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

269

270 **4. Taux de protéines et fibres des fèves de cacao**

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

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

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

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

282 **5. Composés phénoliques totaux des fèves de cacao**

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

285
286 **Tableau 2 :** Teneur en composés phénoliques des fèves des familles d'hybrides F3, F8, F15,
287 F23, F26 et F27

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

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

290

291 **6- Profil sensoriel des fèves issues des six familles d'hybrides étudiées**

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

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

299 L'astringence et l'amertume ont des expressions modérées avec des intensités comprises entre
300 4,3 et 4,5.

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

303 Les fruits marrons sont plus présents chez F15 (1,5) et F8 (1,0) contrairement à F3 (0,9); F23 et
304 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	Épicé	Noix
F3	5,6	1,1	4,4	4,4	0,5	0,9	1,7	1,6	0,8	0,9
F8	6	0,5	4,3	4,5	0,9	1	2,2	1,6	0,8	1,4
F15	5,9	0,9	4,5	4,6	0,5	1,5	2,1	1,1	0,5	0,8
F23	6,2	0,8	4,4	4,5	0,5	0,7	1,8	1,4	0,5	1,1
F26	6,1	0,8	4,3	4,7	0,6	0,8	2,3	1,2	0,7	1,1
F27	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-Alayoet 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 ($5 \leq \text{pH} \leq 5,8$) décrise pour un cacao bien fermenté selon **Camuet 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,**
324 **2014**). La variabilité de la teneur en lipides serait due à l'influence combinée du génotype et des
325 pratiques post-récolte. En effet, chaque famille hybride possédant un patrimoine génétique
326 distinct pourrait avoir une influence sur la biosynthèse des lipides. De plus, la maturité des
327 cabosses lors de la récolte, les facteurs climatiques et géographique ainsi que les méthodes
328 d'extraction de la matière grasse pourrait affecter la teneur lipidique. Des teneurs similaires

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 feraient 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, **Oraczet 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^{ème} 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 (**Tarko et 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 (**Hii et al., 2009**).

384 Les attributs secondaires comme les caractères floral, boisé, épice 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

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

408

409 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 410 **Afoakwa E.O. (2010).** Chocolate Science and Technology. Wiley-Blackwell, Chichester, U.K.;
411 Ames, Iowa, pp. 58-7.
- 412 **Afoakwa E.O. (2014).** Chocolate Science and Technology. 2nd edition. Wiley-Blackwell,
413 Oxford, uk.
- 414 **Afoakwa E.O., Budu A. S., Brown H. M., Takrama J. F., Ansah E. O. (2014).** Effect of
415 roasting conditions on the browning index an appearanceproperty of pulppreconditioned and
416 fermentedcocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Journal of NutritionalHealth& Food Science*, 2(1),
417 1-5.
- 418 **Akpabio U.D., Ikpe E. E. (2013).** Proximate composition and nutrientanalysis of
419 Aneilemaequinoctialeleaves.
- 420 **Ali S. S., Shao J., David J., Mary L.D., Lyndel S., Meinhardt W., Bailey B.A. (2017).**
421 *Phytophthora megakarya* and *P. palmivora*, Causal Agents of Black Pod Rot, InduceSimilar
422 Plant DefenseResponsesLateduring Infection of Susceptible Cacao Pods. *Front Plant Science*, 8,
423 169.
- 424 **AOAC (2000).** Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official
425 AnalyticalChemists, Gaithersburg, MD, USA. Methods 925.10, 65.17, 974.24, 992.16.
- 426 **Aprotosoaie A. C., Luca S. V., Miron A. (2016).** Flavorchemistry of cocoa and
427 cocoaproducts—an overview. *ComprehensiveReviews in Food Science and Food Safety*, 15(1),
428 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 antioxidantactivity 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 lacticacidbacteria and
439 aceticacidbacteriainvolved in spontaneousheap fermentation of cocoabeans in Ghana. *Applied
440 and EnvironmentalMicrobiology*, 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 (*Syagrusoleracea*), jerivá
444 (*Syagrusromanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Research
445 International* 44, 2139–2142.
- 446 **Guiraud B. S.; Tahí 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 productquality of cocoa. *Journal of Food Engineering*, 90 (2) : 191-198.
- 452 **International Cocoa Organization (2023).**FeasibilityStudy on Africa Cocoa Exchange -
453 Appendix I: Country report Côte d'Ivoire.
- 454 **International Cocoa Organization(2024).** Quarterly bulletin of cocoastatistics 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 RetailMarket. *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 cultureaux 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 IvoireScience*
493 *Technology*, 26 : 18-35pp.

- 494 **Oracz J., Nebesny E. (2019).** Effect of roastingparameters on the
495 physicochemicalcharacteristics of high-molecular-weight Maillard
496 reactionproductsisolatedfromcocoabeans 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 antioxidantactivity of cocoa and
499 chocolateproducts: A review. *Food Chemistry*, 342, 128322.
- 500 **Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R.M. (1999).** Analysis of total phenols and
501 other antioxydants by means of Folhin-ciocalteureagent. *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 Qualityimprovement: aParticipatoryApproach” (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.