



Journal Homepage: - www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/22332

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/22332>



RESEARCH ARTICLE

CARACTERISATIONS BIOCHIMIQUE ET SENSORIELLE DES FEVES DE CACAO ISSUES DE SIX FAMILLES D'HYBRIDES EN SELECTION EN COTE D'IVOIRE

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

Laurie-Ange Affou¹, Cho Evelyn Adiko², Yapi Eric Yapi², Patricia Evelyn N'Goran-Haddad², Gnion
Mathias Tahir³ and Marina Koussemon¹

1. UFR Science et Technologie des Aliments, Laboratoire de Biotechnologie et Microbiologie des Aliments,
Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

2. Station de Recherche Technologique, Centre National de Recherche Agronomique, 08 BP 881 Abidjan 08, Côte
d'Ivoire.

3. Station de Recherche de Divo, Centre National de Recherche Agronomique, BP 808 Divo, Côte d'Ivoire.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 4 October 2025

Final Accepted: 6 November 2025

Published: December 2025

Key words:-

cocoa, hybrids, Côte d'Ivoire,
biochemical characteristics, sensory
analysis

Abstract

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

"© 2025 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Introduction:-

Les fèves de cacao constituent une matière première stratégique, principalement destinée à la fabrication du chocolat, mais également dans les industries cosmétique, pharmaceutique et agroalimentaire (Guiraud et al., 2021). Sur le plan économique, le cacao occupe une place prépondérante sur le marché mondial des matières premières, se

Corresponding Author:- Laurie-Ange Affou

Address:- UFR Science et Technologie des Aliments, Laboratoire de Biotechnologie et Microbiologie des Aliments, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

classant au troisième rang après le sucre et le café (Chen-Yen-Su, 2014). En Afrique de l'Ouest, et particulièrement en Côte d'Ivoire, il représente le socle de l'économie nationale, générant des revenus substantiels pour plusieurs millions de producteurs et contribuant significativement au PIB (Koné, 2017). Avec une production moyenne estimée à 2,24 millions de tonnes lors de la campagne 2022/2023, la Côte d'Ivoire assure à elle seule près de 45 % de l'offre mondiale (ICCO, 2024). Cependant, cette prééminence du cacao ivoirien sur le marché international est fragilisée par de multiples contraintes. Parmi celles-ci figurent le vieillissement du verger, les infestations de ravageurs tels que les mirides, les maladies fongiques comme la pourriture brune des cabosses, les maladies virales telles que le swollen shoot (Ali et al., 2017). A ces contraintes, s'ajoute le faible attrait de la qualité marchande des fèves de cacao sur le marché international ainsi qu'un faible recours au matériel végétal amélioré (Tahi et al., 2011). Cette qualité est en effet affectée par certains paramètres physiques des fèves (taille réduite des fèves, taux élevé de coque, teneur variable en matières grasses), et sanitaires (présence d'ochratoxine A et de métaux lourds tels 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 dépréciation de la qualité marchande des fèves, entraînant des surcoûts de transformation pour les industriels et des pertes économiques considérables pour les producteurs et les autres acteurs de la filière (Nogbou et al., 2015). Il importe pour les producteurs de cacao ivoirien de trouver des moyens efficaces pour augmenter leur rendement de production tout en améliorant la qualité marchande de leurs produits. Face à cette situation les solutions sur les plans chimique, biologique et génétique sont proposées. Dans ce contexte, l'utilisation de matériel végétal amélioré apparaît comme l'une des alternatives prometteuses pour la résolution des problèmes liés au cacao ivoirien. Ainsi, le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) en Côte d'Ivoire produit des hybrides de cacaoyers susceptibles de concilier rendement, résistance aux bio-agresseurs et qualité biochimique et sensorielle des fèves de cacao. La connaissance des caractéristiques de ces hybrides s'avère nécessaire pour envisager leur dissémination et leur production à grande échelle. La présente étude se propose alors d'évaluer les potentialités biochimique et sensorielle de fèves de cacao issues de six familles d'hybrides de cacao en sélection en Côte d'Ivoire.

Matériel :-

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).

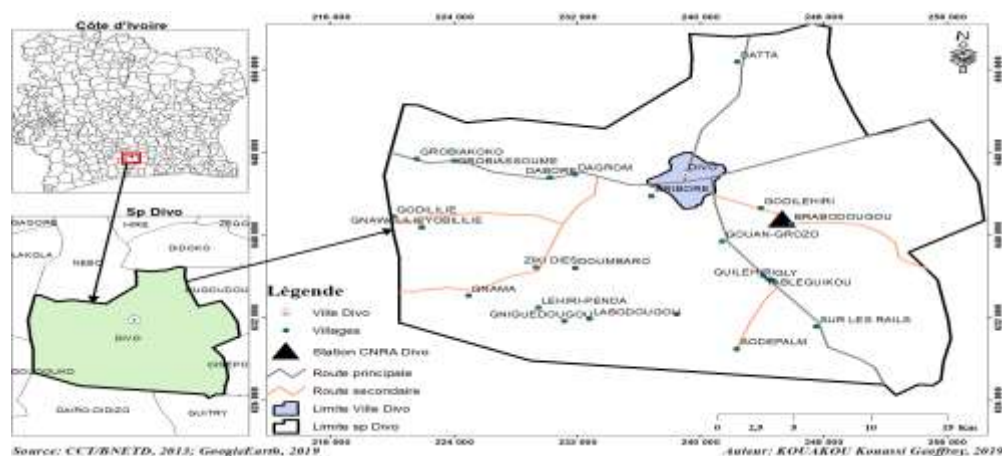


Figure 1 : Localisation de la station de recherche du CNRA de Divo

Matériel Végétal:

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

Méthodes:-**Détermination des paramètres biochimiques des fèves de cacao:****Production de la poudre de cacao:**

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

Détermination du potentiel hydrogène:

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

Détermination du taux de lipides:

La teneur en lipides totaux des échantillons a été déterminée selon la méthode utilisant le SOXHLET (AOAC, 2000). Dix grammes de poudre de cacao (M_e) ont été pesés et introduits dans une cartouche de WHATMAN. Ensuite, un volume de 250 mL d'hexane a été déposé dans un ballon d'extraction chauffante (100°C) intégré au SOXHLET pendant 8 h. Après ce temps d'extraction, le ballon a été retiré du SOXHLET et mis à l'étuve à 105°C, pendant 30 minutes, pour l'évaporation totale du solvant. A la fin de l'évaporation, le ballon a été repesé (M_1). La teneur en lipides totaux a été déterminée selon la relation suivante :

$$\text{Lipides (\%)} = \frac{(M_1 - M_0)}{M_e} \times 100$$

M_e : masse (g) de l'échantillon

M_0 : masse (g) du ballon vide

M_1 : masse (g) du ballon + lipides

Détermination de la teneur en cendres:

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

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

T_C : taux de cendre exprimé en pourcentage (%)

M_1 : masse du creuset en porcelaine exprimée en gramme (g)

M_2 : masse de l'ensemble échantillon – creuset exprimée en gramme (g)

M_3 : masse du creuset contenant l'échantillon calciné exprimée en gramme (g)

Détermination de la teneur en fibres:

La teneur en fibres a été déterminée selon la méthode de AOAC (2000). Deux grammes de poudre de cacao (M_e) ont été homogénéisés dans 50 mL d'acide sulfurique 0,25 N. Le mélange a été porté à ébullition pendant 30 minutes sous réfrigérant à reflux. Ensuite, 50 mL de soude 0,31 N ont été ajoutés au contenu du ballon et, porté une seconde fois à ébullition pendant 30 minutes sous réfrigérant à reflux. L'extrait obtenu après ébullition a été filtré sur papier filtre Whatman n°4 et le résidu a été lavé à l'eau bouillante (100 °C) jusqu'à élimination complète des alcalis. Le

résidu a été séché à l'étuve à 105 °C, pendant 8 h ; il a été refroidi au dessiccateur puis pesé (M_1). Le résidu obtenu a été incinéré au four à 550 °C pendant 3 h, refroidi au dessiccateur, puis la cendre a été pesée (M_2).

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

$$\text{Fibres}(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_e} \times 100$$

F : teneur en fibres brutes exprimée en pourcentage

M_1 : masse (g) du résidu séché.

M_2 : masse (g) des cendres obtenues.

M_e : masse (g) de l'échantillon.

Détermination de la teneur en protéines brutes:

La teneur en protéines brutes a été déterminée selon la méthode de Kjeldhal (AOAC, 2000). Pour ce faire, un gramme de poudre de cacao a été chauffé à 400 °C, pendant 120 minutes, en présence d'une pincée du mélange de catalyseur (sélénium + sulfate de potassium (K_2SO_4)) et de 20 mL d'acide sulfurique (H_2SO_4) 95-97 % dans un digesteur (BUCHI, France). Le minéralisat obtenu a été complété à 60 mL avec de l'eau distillée. A ce volume, ont été ajoutés 50 mL de soude (40 %, m/v) le tout a été porté à ébullition dans un distillateur de type LEGALLAIS. L'ammoniac qui se dégageait a été piégé dans un vase doseur contenant 10 mL du mélange acido-basique (4 %, m/v) indicateur mixte (rouge de méthyle + vert de bromocrésol) à pH 4,4 - 5,8. Le dosage a été réalisé par une solution décimolaire d'acide sulfurique. Un test à blanc a été réalisé dans les mêmes conditions décrites ci-dessus.

Le taux de protéines a été déterminé selon la formule suivante:

$$\text{Protéines}(\%) = \frac{(V_1 - V_0) \times 14 \times 6,25 \times N}{M_e}$$

V_0 : volume (mL) de solution d'acide sulfurique versé pour l'essai à blanc.

V_1 : volume (mL) de solution d'acide sulfurique versé pour l'essai (échantillon).

N: normalité de la solution d'acide sulfurique (0,1N).

M_e : masse (g) de l'échantillon.

14: masse atomique de l'azote.

6,25: Coefficient de conversion de l'azote en protéines.

Détermination de la teneur en composés phénoliques:

Le dosage des composés phénoliques a débuté par leur extraction qui a été réalisée selon la méthode décrite par Meda *et al.*, (2015) avec du méthanol 70 % (v/v). Un (1) gramme d'échantillon de poudre de cacao a été homogénéisé dans 10 mL de méthanol 70 % (v/v). Le mélange obtenu a été centrifugé à 1000 trs / min pendant 10 min. Le culot a été récupéré dans 10 mL de méthanol 70 % et centrifugé de nouveau. Les surnageants ont été réunis dans une fiole de 50 mL et ajustés avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. L'extrait obtenu a constitué l'extrait phénolique pour le dosage des composés phénoliques. Ce dosage a été effectué selon la méthode décrite par Singleton *et al.* (1999). Un mL d'extrait méthanolique a été ajouté à 1 mL de réactif de Folin-ciocalteu dans un tube à essai. Le mélange a été bien homogénéisé par agitation manuelle. Après 3 min, un volume de 1 mL d'une solution aqueuse de carbonate de sodium (20 %, m/v) a été ajouté et le volume a été ajusté à 10 mL avec de l'eau distillée. Ensuite, le tube a été placé à l'obscurité pendant 30 min. La lecture de l'absorbance a été faite au spectrophotomètre (PG Instruments, Angleterre) à 725 nm contre le blanc puis la teneur en composés phénoliques de chaque échantillon a été déterminée sur la base de l'absorbance obtenue et de la courbe d'étalonnage réalisée à l'aide d'une gamme de solutions d'acide gallique de concentration allant de 0 à 1 mg / mL. Les résultats ont été exprimés en mg équivalent d'acide gallique (EAG)/100g de matière sèche (MS).

Analyse sensorielle des masses provenant des fèves des familles d'hybrides de cacao

Préparation de la liqueur ou masse de cacao:

La préparation des masses de cacao a été réalisée selon la méthode décrite par ISCQF (2020). Cette préparation a été faite en plusieurs étapes dont : le triage, la torréfaction, le concassage, le vannage, le broyage-affinage et le conditionnement. Quatre cent grammes de fèves de cacao ont été triés manuellement afin d'y retirer les fèves plates, les fèves brisées, les brisures, les fèves collées (crabots) et les matières étrangères. Les fèves de cacao résultant de ce tri, ont été torréfiées à l'aide d'une étuve ventilée de type Binder (Germany). Les paramètres temps-température sont

définis à partir du standard de “Cocoa of Excellence” (130°C / 25 minutes) et sont dépendant des valeurs de l’humidité et du grainage de chaque échantillon. A la fin de la torréfaction, les fèves ont été mises au refroidisseur de type Cocotown, cooling tray-junior, pendant 5 à 10 minutes. Par la suite, les fèves torréfiées ont été concasser. Cette opération a consisté à broyer grossièrement ces fèves de cacao, grâce à un concasseur de type Cocotown, afin d’obtenir des morceaux. Le vannage a consisté à séparer les morceaux de fève de leur coque. Pour ce faire, les fèves concassées ont été déversées au fur et à mesure dans un séparateur de coques (par ventilation) de type Cocotown. Les nibs (morceaux d’amandes de fèves après concassage) ont été recueillis dans un récipient, et triés manuellement pour éliminer le reste des coques qui n’ont pu l’être par le séparateur de coque. Le broyage a été réalisé à l’aide d’un broyeur à mortier de type Cocotown, à chaud (environ 100°C). Les nibs ont été introduits au fur et à mesure dans l’appareil pour éviter tout débordement. La granulométrie (finesse) finale à atteindre est de l’ordre de 20 microns mesurée à l’aide d’un micromètre de type Tesa Master. La liqueur de cacao a été conditionnée dans des boîtes en plastique stérile ou mise dans des moules afin d’obtenir des tablettes. La conservation s’est faite dans un réfrigérateur à 4°C.

Détermination du profil sensoriel des liqueurs de cacao:

L’analyse sensorielle des masses de cacao a été réalisée selon la méthode décrite par Cocoa of Excellence (2024). Le profil sensoriel est déterminé par un panel de dégustation constitué de 12 personnes entraînées et formées à reconnaître les attributs sensoriels. Au cours de la séance de 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.

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 $P < 0,05$.

Résultats:-

Potentiel 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 ($5,65 \pm 0,19$).

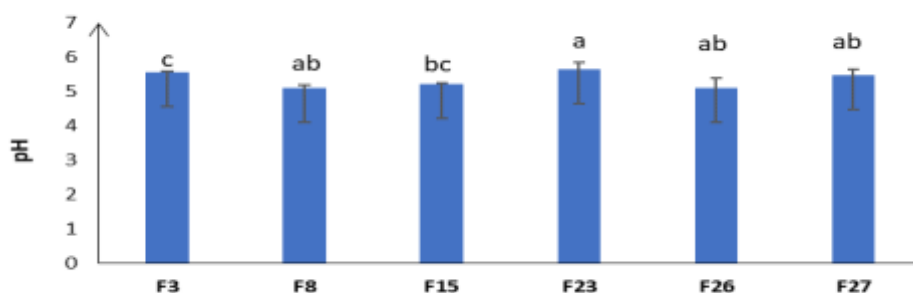


Figure 2 : Potentiel d’hydrogène des échantillons des fèves des familles d’hybride de cacao F3, F8, F15, F23, F26 et F27

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

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 .

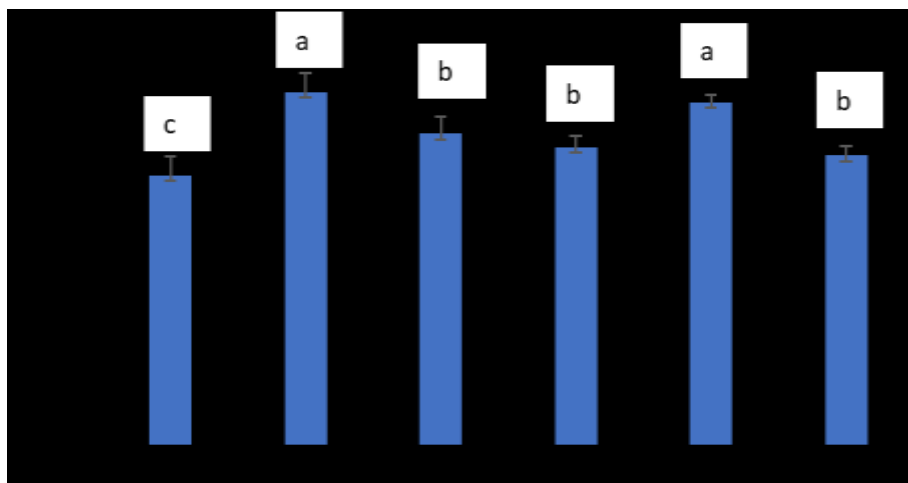


Figure 3 : Teneur en lipides des fèves issues des familles d'hybrides de cacao F3, F8, F15, F23, F26 et F27
Les bandes surmontées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes ($P>0,05$)

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.

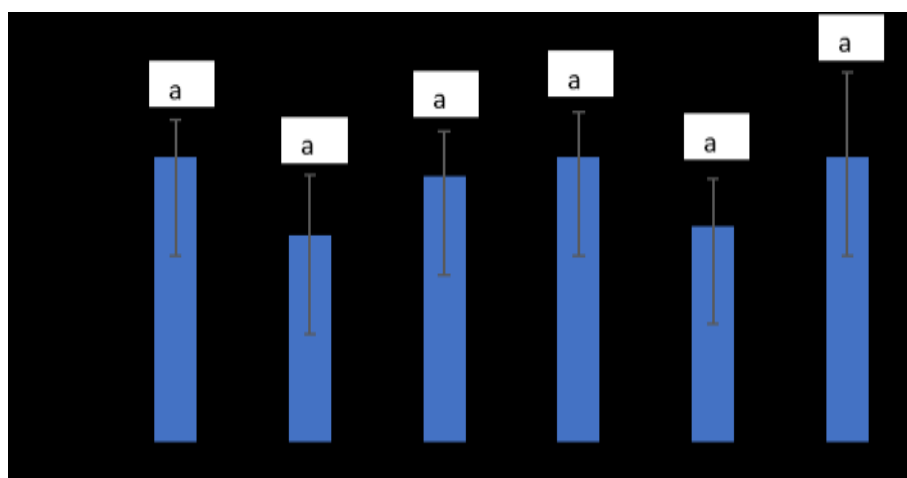


Figure 4 : Teneur en cendres des fèves issues des familles d'hybrides de cacao F3, F8, F15, F23, F26 et F27
Les bandes surmontées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes ($P>0,05$)

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, 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 ^c | 13,89±0,03 ^d |
| F26 | 11,21±0,02 ^c | 13,79±0,02 ^c |
| F27 | 11,24±0,02 ^c | 14,94±0,02 ^c |

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

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 ^{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} |

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

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

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 |
|---------------------|-------|---------|----------|-------------|--------------|----------------|--------|-------|-------|------|
| 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 |

Discussion:-

Les résultats de l'étude montrent une variabilité de potentiel hydrogène des fèves de cacao issues des différentes familles d'hybrides. Cette variabilité du pH dépend non seulement du génotype mais aussi des conditions de fermentation telles que la durée, la température, le nombre de brassages et l'activité microbienne (Castro-Alayo et al., 2019). En effet, un pH plus acide pourrait traduire une forte accumulation d'acides organiques dans les fèves de cacao, conférant à celles-ci une note acidulée plus prononcée indésirable dans le chocolat (Afoakwa, 2010). Cependant, un pH moins acide serait dû à une dégradation plus rapide des acides au cours du séchage. Ainsi, un pH trop élevé (> 6) pourrait traduire une fermentation incomplète, limitant la diffusion des acides et la dégradation des polyphénols, conduisant à un cacao peu aromatique et 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 Camu et al., (2007). Par ailleurs, les familles F8 et F26 se sont distinguées par des teneurs en lipides particulièrement 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 pratiques post-récolte. En effet, chaque famille hybride possédant un patrimoine génétique distinct pourrait avoir une influence sur la biosynthèse des lipides. De plus, la maturité des cabosses lors de la récolte, les facteurs climatiques et géographique ainsi que les méthodes d'extraction de la matière grasse pourraient affecter la teneur lipidique. Des teneurs similaires comprises entre 46 et 59 % ont été rapportées par Kouadio et al. (2020) en Côte d'Ivoire. Par ailleurs, la teneur lipidique influence la texture, la fluidité et la stabilité du chocolat. Ainsi, les fèves de cacao présentant une richesse en lipides traduisant un rendement plus élevé en beurre de cacao seraient des matières premières importantes pour les industries chocolatière, cosmétique et pharmaceutique.

Quant à la teneur en cendres des fèves de cacao, ce paramètre pourrait être influencé par l'origine pédologique (composition minérale du sol) et aussi par les facteurs climatiques. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par Kongor et al. (2016), qui indiquent une teneur en cendres comprise entre 2,6 et 4 % dans les fèves de cacao d'Afrique de l'Ouest. En outre, les minéraux font partie de la grande famille des micronutriments qui jouent un rôle important dans les processus métaboliques du corps humain (Mian, 2023). Par conséquent, la consommation accrue d'aliments qui en contiennent pourrait améliorer la régulation minérale et réduire les risques de maladies cardiovasculaires et certains risques de cancers (Ismail et al., 2011). Le cacao provenant des différentes familles d'hybrides feraient partie de ces aliments. En outre, il a été rapporté que la teneur en protéines brutes peut être considérée comme une mesure de la concentration en azote dans certains aliments (Akpabio et Ikpe 2013). Les variations de la teneur en protéines présentes dans les fèves de cacao pourraient traduire l'existence d'une variabilité

génétique importante entre les familles d'hybrides étudiées. Ces résultats s'accordent avec ceux rapportés par Afoakwa (2010) et Lima et al. (2011), selon lesquels la teneur en protéines des fèves de cacao se situe généralement entre 10 et 15 %, en fonction de l'origine variétale, des conditions de culture et des procédés post-récolte. De plus, les protéines constituent des macromolécules importantes dans les fèves de cacao, car elles participent au développement des arômes lors de la torréfaction, notamment par la réaction de Maillard. Quant aux teneurs en fibres, les valeurs enregistrées lors de cette étude se situent dans l'intervalle rapporté par Afoakwa (2014) qui a mentionné une teneur en fibres totales comprise entre 15 et 20 % pour les fèves de cacao. Les fibres constituent une fraction importante dans une denrée alimentaire en raison de leur rôle crucial dans le bon fonctionnement du transit intestinal Karim et al., (2020). Ainsi, les fèves de cacao hybrides étudiées pourraient être considérées comme une source alternative de fibres convenable pour l'alimentation humaine.

S'agissant des composés phénoliques, Oracz et al. (2019) ont souligné que la variabilité observée entre cultivars, mais aussi entre lots d'une même variété, peut être attribuée à la fois au génotype, au mode de fermentation et aux conditions pédoclimatiques. Ces résultats se situent dans l'intervalle des valeurs comprises entre 1200 et 1500 mg EAG/100 g, rapportées par Afoakwa et al. (2014). Le cacao est très riche en polyphénols et, celui de la Côte d'Ivoire occupe le 3^{ème} rang des cacaos les plus riches en composés phénoliques.

Or, les polyphénols ont été rapportés non seulement comme des composés améliorant la digestion mais aussi comme des antioxydants, des anti-agrégants plaquettaires, des anti-inflammatoires, des anti-allergènes, des anti-thrombotiques, des antitumoraux neuroprotecteurs, antiviral, chimio-préventive, ayant une influence sur le métabolisme lipidique et glucidique (Tarko et al., 2013). Aussi, la forte présence des polyphénols dans les 6 familles d'hybrides cacao paraît-elle bénéfique aux consommateurs potentiels

L'analyse sensorielle des masses de cacao provenant des fèves des hybrides de cacao a révélé une intensité de cacao moyenne, qui serait probablement en lien avec leur composition lipidique et protéique favorable à la génération de précurseurs aromatiques (Voigt et Lieberei, 2015). La faible acidité ressentie dans les masses de cacao provenant des fèves des familles d'hybrides de cacao, pourrait être la conséquence du pH moyen relevé. Ces résultats sont contraires à ceux rapportés par Afoakwa (2014) concernant des fèves avec une acidité plus marquée (2–3) au Ghana. L'astringence et l'amertume quant à eux pourraient s'expliquer par les teneurs importantes en polyphénols dans les fèves de cacao. Ces résultats corroborent les propos de Oracz et Nebesny (2019) qui stipulent que ces composés sont directement responsables de l'amertume et de l'astringence. Les fruits marrons sont généralement associés à des produits de fermentation avancée et à des concentrations accrues d'acides organiques volatils et d'alcools supérieurs (Hii et al., 2009). Les attributs secondaires comme les caractères floral, boisé, épicé et noix sont la résultante de différentes lignées génétiques, de la diversité des composés aromatiques phénoliques et des composés volatils produits lors de la fermentation et du séchage (Camargo et al., 2016). De tout ce qui précède, la famille d'hybride F8 se démarque clairement en présentant un profil sensoriel recherché dans les cacaos fins.

Conclusion:-

Cette étude a permis de caractériser, aux plans biochimique et sensoriel, six familles d'hybrides de cacao en sélection au Centre National de Recherche Agronomique de Côte d'Ivoire. Dans l'ensemble, les fèves de ces différentes familles d'hybrides ont présenté un pH peu acide, compris entre 5,0 et 5,8. Les familles F8 et F26 se sont distinguées par des teneurs en lipides particulièrement élevées (>58 %) qui les positionnent comme idéales pour l'extraction du beurre 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:-

1. Afoakwa E.O. (2010). Chocolate Science and Technology. Wiley-Blackwell, Chichester, U.K.; Ames, Iowa, pp. 58-7.
2. Afoakwa E.O. (2014). Chocolate Science and Technology. 2nd edition. Wiley-Blackwell, Oxford, uk.
3. Afoakwa E.O., Budu A. S., Brown H. M., Takrama J. F., Ansah E. O. (2014). Effect of roasting conditions on the browning index an appearance property of pulp preconditioned and fermented cocoa (Theobroma cacao) beans. Journal of Nutritional Health & Food Science, 2(1), 1-5.
4. Akpabio U.D., Ikpe E. E. (2013). Proximate composition and nutrient analysis of Aneilema aequinoctiale leaves.
5. 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.
6. 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.
7. Aprotosoiaie 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.
8. Cacao d'Excellence (2024). Guide pour l'Évaluation de la Qualité et de la Saveur du Cacao. Compilé par le programme Cacao d'Excellence de l'Alliance de Bioversity International et du CIAT, en collaboration avec les membres du Groupe de Travail sur l'Élaboration des Normes internationales pour l'Évaluation de la Qualité et de la Saveur du Cacao (ISCQF). Bioversity International. 216 pages.
9. Camargo A.C., Cunha L.M., Carvalho J.L., Silva C.M. (2016). Influence of fermentation and drying on the chemical composition and antioxidant activity of cocoa beans. Food Chemistry, 212, 1–9.
10. Camu N., De Winter T., Verbrugghe K., Cleenwerck I., Vandamme P., Takrama J. S., De Vuyst L. (2007). Dynamics and biodiversity of populations of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria involved in spontaneous heap fermentation of cocoa beans in Ghana. Applied and Environmental Microbiology, 73(6), 1809–1824.
11. Chen-Yen-Su A. (2014). Analyse morphologique et profils aromatique, sensoriel du cacao du Sambirano. Mémoire de Master. Université de la Réunion. 81p.
12. Coimbra M.C., Jorge N. (2011). Proximate composition of guariroba (Syagrus oleracea), jerivá (Syagrus romanzoffiana) and macaúba (Acrocomia aculeata) palm fruits. Food Research International 44, 2139–2142.
13. Coimbra M.C., Jorge N. (2011). Proximate composition of guariroba (Syagrus oleracea), jerivá (Syagrus romanzoffiana) and macaúba (Acrocomia aculeata) palm fruits. Food Research International 44, 2139–2142.
14. Guiraud B. S.; Tahí G. M, Coulibaly K., Assi E. M., Minakou O. S., Atchi M. Y., Lachenaud P., Zoro I. A. (2021). Sélection de cacaoyers (Theobroma cacao L.) présentant un bon grainage au sein de la principale collection de Côte d'Ivoire.. Journal of Applied Biosciences 167: 17291 – 17305.
15. Hii C.L., Law C.L., Cloke M., (2009). Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. Journal of Food Engineering, 90 (2) : 191-198.
16. International Cocoa Organization (2023). Feasibility Study on Africa Cocoa Exchange -Appendix I: Country report Côte d'Ivoire.
17. International Cocoa Organization (2024). Quarterly bulletin of cocoa statistics Volume L (4). Cocoa Year 2023/24.
18. ISCQF International Standards for the Assessment of Cocoa Quality and Flavour (2020). Protocol for: Roasting Cocoa Beans.
19. Ismaïl F., Anjum M.R., Mamon A.N., Kazi T.G. (2011). Trace metal contents of vegetables and fruits of Hyderabad Retail Market. Pakistan Journal of Nutrition, 10: 365-372.
20. Karim J. C., Saki J. S., Yoboué K.L., Sea T.B., Kouamé P. L. (2020). Potentialités physicochimiques des fèves de cacao des variétés mercedes et Theobroma cacao des régions du Loh-Djiboua et de l'Indénie-Djuablin (Côte d'Ivoire). International Journal of Advanced Research. 8. 1178-1186. 10.21474/IJAR01/11031.
21. Konate Z., Assiri A. A., Messoum F. G., Sekou A., Camara M., Yao-Kouamé A. (2016). Antécédents culturels et identification de quelques pratiques paysannes en replantation cacaoyère en Côte d'Ivoire. Agronomie Africaine, 27 (3) : 301-314.
22. Koné K. M. (2017). Influence des traitements technologiques post-récolte sur la formation des composés d'arômes du cacao (Theobroma cacao L.). Dynamique et diversité des microorganismes impliqués. Thèse de Doctorat. Université Nangui Abrogoua. 172p.

23. Koné K. M., Guéhi T. S., Durand N., Koffi B. L., Berthiot L., Tachon F. A., BROU K., Boulanger R., Montet D. (2016). Contribution of predominant yeasts to the occurrence of aroma compounds during cocoa bean fermentation. *Food Research International*, 89 : 910- 917.
24. Kongor J. E., Hinneha M., de Walle D. V., Afoakwa E. O., Boeckx P., Dewettinck K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile – A review. *Food Research International*, 82, 44–52.
25. Kouadio J. Y., Koné A. B., Goualie B. G., N'Guessan K. F., Kouamé K. G., Niamke S. L. (2020). Biochemical and sensory quality of Ivorian cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) as affected by fermentation methods. *International Journal of Food Science*.
26. Lima L. J., Almeida M. H., Nout M. J., 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 fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731–761.
27. Meda A., Lamien C. E., Romito M., Millogo J., Nacoulma O. G. (2015). Determination of total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honeys as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 91: 571-577.
28. Medoua G.N. (2005). Potentiels nutritionnel et technologique des tubercules de l'igname *Dioscorea dumetorum* (Kunth) pax: Etude du durcissement post-récolte et des conditions de transformation des tubercules durcis en farine. Thèse, Université de Ngaoundéré, Ngaoundéré.
29. Mian T. M-A. (2023). Valorisation nutritionnelle, fonctionnelle et biotechnologique du jus de mucilage de cacao (*Theobroma cacao*) produit en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat Université de Jean Lorougnon Guédé, Daloa Côte d'Ivoire.
30. Nogbou A. L. I., Akmel D. C., Brou K., Assidjo E. N. (2015). Etude du séchage microonde par intermittence sur la qualité physicochimique des fèves de cacao. *Revue Ivoire Science Technology*, 26 : 18-35pp.
31. Oracz J., Nebesny E. (2019). E. Effect of roasting parameters on the physicochemical characteristics of high-molecular-weight Maillard reaction products isolated from cocoa beans of different *Theobroma cacao* L. groups. *European Food Research and Technology* 245, 111–128.
32. Oracz J., Żyżelewicz D., Nebesny E. (2019). Polyphenols and antioxidant activity of cocoa and chocolate products: A review. *Food Chemistry*, 342, 128322.
33. Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R.M. (1999). Analysis of total phenols and other antioxydants by means of Folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymology*, 299: 152- 178.
34. Tahi G.M., Lachenaud P., N'guessan K.F., N'goran N.K., Pokou D., Kebe I.B., Paulin D., Cilas C., Eskes A.B. (2011). Selection of new varieties on station and on farm in Côte d'Ivoire. Final Report of the CFC/ICCO/Bioversity International Project on "Cocoa Productivity and Quality improvement: a Participatory Approach" (2004-2010), p. 42 -58.
35. Tarko T., Duda-Chodak A., Zajac N. (2013). Digestion and absorption of phenolic compounds assessed by in vitro simulation methods. *Annals of the National Institute of Hygiene*, 64: 79-84.
36. Voigt J., Lieberei R., (2015). "Biochemistry of Cocoa Fermentation," In *Cocoa and coffee fermentations*, R. F. Schwan and G. H. Fleet, Ed., Boca Raton, FL, Florida, USA: CRC Press, pp. 193-226.