



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union –Discipline–Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de
la Recherche Scientifique

ANNEE : 2024-2025

N° D'ORDRE :

.....

CANDIDAT

Nom : ASSI

Prénom : Attiapo Pépin

THESE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale

Spécialité : Biochimie et Technologie des Aliments

Amélioration de la qualité des fèves de cacao en
Côte d'Ivoire : approche intégrée fondée sur la
génétique, l'agroécologie et la fermentation
contrôlée

JURY

Président : M. SORO Dogniméton, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. DIOMANDE Massé, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Co-Directeur : M. TAHI Gnion Mathias, Directeur de Recherche,
CNRA

Rapporteur : M. KONAN Kouassi Hubert, Professeur titulaire,
Université NANGUI ABROGOUA

Examineur 1 : Mme COMBO Agnan Marie-Michel Epse KONAN,
Maître de Conférences, Université Jean LOROUGNON
GUEDE

Examineur 2 : M. BAMBA Bio Sigui Bruno, Maître de
Conférences, Université Peleforo GON COULIBALY

Soutenue publiquement
le : 11 Septembre 2025

TABLE DES MATIERES.....	i
DEDICACE.....	
AVANT-PROPOS	i
REMERCIEMENTS.....	ii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	xiii
LISTE DES TABLEAUX	xiv
LISTE DES FIGURES.....	xx
LISTE DES ANNEXES	xxiv
Introduction	1
1. Généralités sur le cacaoyer (<i>Theobroma cacao</i> Linné)	6
1.1. Historique et origine.....	6
1.2. Aire de distribution géographique.....	7
1.3. Morphologie.....	8
1.3.1. Système aérien.....	8
1.4. Diversité biologique des variétés cultivées	10
1.4.1. Criollo.....	10
1.4.2. Forastero.....	11
1.4.3. Trinitario.....	12
1.4.4. Autres types de variétés.....	13
1.4.4.1. Cacao Mercedes de Côte d’Ivoire	13
1.4.4.2. Cacao Brésilien	13
1.4.4.3. Cacao National d’Equateur	13
1.4.4.4. Cacao CCN-51- d’Equateur	14
1.5. Conditions écologiques du développement du cacaoyer	15
1.6. Pollinisation et biologie reproductive du cacaoyer.....	16
1.6.1. Floraison.....	16
1.6.2. Pollinisation.....	16
1.6.2.1. Définition et caractéristiques générales de la pollinisation	16
1.6.2.2. Pollinisation croisée.....	17
1.6.2.3. Pollinisation manuelle	17
1.7. Récolte et Activités post récoltes	18
1.7.1. Récolte.....	19
1.7.2. Cabossage.....	19

1.7.3. Fermentation.....	20
1.7.3.1. Caractéristiques générales.....	20
1.7.3.2. Rôle de la fermentation	21
1.7.3.3. Techniques de fermentation	21
1.7.3.3.1. Fermentation en panier	21
1.7.3.3.2. Fermentation en tas dans les feuilles de bananiers	22
1.7.3.3.3. Fermentation en caisse.....	22
1.7.3.4. Facteurs intervenant dans la fermentation.....	22
1.7.4. Séchage et stockage des fèves	24
1.7.4.1. Séchage au soleil (séchage naturel).....	24
1.7.4.2. Séchage artificiel	24
1.7.4.3. Développement des propriétés organoleptiques durant le séchage	25
1.7.4.4. Stockage des produits.....	25
1.8. Composition chimique et biochimique du cacao marchand.....	26
1.8.1. Potentiel d'hydrogène (pH)	26
1.8.2. Sucres réducteurs	26
1.8.3. Théobromine et caféine du cacao.....	26
1.8.4. Protéine et acides animés	27
1.8.5. Lipides	28
1.8.6. Acides gras libres.....	28
1.8.7. Polyphénols	29
1.9. Technologie de transformation du cacao et l'évaluation sensorielle du cacao marchand	30
1.9.1. Technologie de transformation	30
1.9.1.1. Nettoyage et calibrage du cacao marchand	30
1.9.1.2. Torréfaction.....	30
1.9.1.3. Concassage, décorticage et dégermage	31
1.9.1.4. Matériel végétal composite (mélange)	31
1.9.1.5. Broyage et affinage	31
1.9.1.6. Obtention des produits dérivés du cacao	32
1.9.1.6.1. Beurre de cacao	32
1.9.1.6.2. Poudre de cacao	32
1.9.1.6.3. Chocolat et arôme.....	33
1.9.2. Evaluation sensorielle du cacao marchand	33

1.9.2.1. Définition.....	33
1.9.2.2. Différentes méthodes d'analyse sensorielle.....	34
1.9.2.1. Tests discriminatifs	34
1.9.2.2. Test descriptifs	34
1.9.2.3. Tests hédoniques	34
DEUXIÈME PARTIE :	36
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	36
2.1. Sites d'étude.....	37
2.1.1. Station de recherche CNRA de Divo	37
2.1.2. Station de recherche CNRA-SRT de Bingerville.....	38
2.1.3. Station de recherche annexe CNRA de Soubré.....	38
2.1.4. Parcelle d'essai en milieu paysan à Bouaflé	38
2.2. Matériel	39
2.2.1. Matériel végétal.....	39
2.2.1.1. Matériel végétal utilisé pour la caractérisation technologique, physico chimique, phyto-chimique, biochimique et sensorielle des clones et familles d'hybrides en cours de selection	39
2.2.1.2. Matériel végétal utilisé pour l'étude de l'effet de l'origine génétique du grain de pollen sur la qualité des fèves de cacao	40
2.2.1.3. Matériel végétal utilisé pour l'évaluation multilocale des hybrides pour la qualité technologique physico chimique, biochimique et sensorielle des fèves de cacao en zones à pluviométries contrastées	40
2.2.1.4. Matériel végétal utilisé pour l'évaluation de l'effet d'ajout de substances aromatiques sur les caractéristiques chimique et sensorielle des fèves de cacao	41
2.2.2. Matériel chimique utilisé pour l'analyse de la qualité des fèves.....	41
2.3.1. Obtention des fèves de cacao marchand pour chaque population analysée	42
2.3.1.1. Fèves de cacaoyers en cours de sélection.....	42
2.3.1.2. Création de descendances issues de pollinisations manuelles utilisées pour la détermination de l'influence du grain de pollen sur la qualité des fèves	42
2.3.1.3. Fèves de cacaoyers utilisées pour l'évaluation multilocale des familles hybrides.....	43
2.3.1.4. Fèves de cacaoyers utilisées pour l'étude de l'effet d'ajout de substances aromatiques.....	44
2.3.1.4.1. Production de cacao marchand par la méthode de fermentation ANIMA	45
2.3.2. Détermination des paramètres technologiques.....	50

2.3.3. Détermination des propriétés physico-chimiques	52
2.3.3.1. Echantillonnage et conditionnement des fèves pour les analyses physico chimiques, biochimiques et sensorielles	52
2.3.3.2. Préparation de la poudre de cacao pour les analyses	53
2.3.3.3. Paramètres physico chimiques mesurés	53
2.3.4. Détermination des paramètres biochimiques des fèves de cacao	56
2.3.4.1. Dosage des taux de matière grasse	56
2.3.4.2. Dosage de la théobromine	57
2.3.4.3. Dosage de la caféine	57
2.3.4.4. Détermination des teneurs en composés polyphénols et flavonoïdes totaux	58
2.3.4.5. Détermination de la composition en acides gras de l'huile	60
2.3.4.6. Dosage des fibres	61
2.3.4.7. Dosage des protéines	61
2.3.4.8. Détermination de l'activité antioxydante par le piégeage du radical DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)	62
2.3.4. Analyses sensorielles des fèves de cacao	63
2.3.4.1. Evaluation physique des fèves de cacao marchand	63
2.3.4.2. Détermination du taux d'humidité	63
2.3.4.3. Evaluation de la qualité des fèves entières	64
2.3.4.4. Evaluation de la qualité des fèves coupées (Test de coupe)	64
2.3.4.5. Production de la liqueur (masse) de cacao	65
2.3.4.5.1. Torréfaction	67
2.3.4.5.2. Concassage	68
2.3.4.5.3. Vannage et triage	68
2.3.4.5.4. Liquéfaction des grés (nibs) en liqueur de cacao (chocolat noir)	69
2.3.4.5.5. Conditionnement de la liqueur de cacao	70
2.3.4.6. Evaluation des caractères organoleptiques de la liqueur de cacao	71
2.3.4.6.1. Panel de dégustation	71
2.3.4.6.2. Type de test	71
2.3.4.6.3. Evaluation des attributs des liqueurs de cacao	72
.....	72
2.3.5. Analyses statistiques des données	73
2.3.5.1. Analyses de variance	73
2.3.5.2. Analyses multi variées	73

2.3.5.2.1. Analyse en Composantes Principales (ACP)	73
2.3.5.2.2. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)	74
TROISIEME PARTIE :	75
RESULTATS ET DISCUSSION	75
Chapitre 1 : Evaluation des caracteres physico-chimique, technologique et sensoriel des feves de cacaoyers en cours de selection	76
1.1. RESULTATS	76
1.1.1. Caractéristiques technologiques des fèves des variétés de cacaoyers en cours de sélection	76
1.1.1.1. Nombre et poids des fèves des clones	76
1.1.1.2. Nombre et poids des fèves des familles d’hybrides	77
1.1.2. Paramètres physico-chimiques des fèves des clones et des familles d’hybrides	77
1.1.2.1. Paramètres physico-chimiques des fèves des clones	77
1.1.2.2. Paramètres physico-chimiques des fèves de cacao des familles d’hybrides	80
1.1.3. Caractéristiques phytochimiques des clones et familles d’hybrides en cours de sélection	82
1.1.3.1. Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves issues de clones	82
1.1.3.2. Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves issues des familles d’hybrides	82
1.1.4. Profil des composés phénoliques des clones et familles d’hybrides en cours de sélection	83
1.1.4.1. Profil des composés phénoliques des fèves de cacao issues de clones	83
1.1.5. Teneur en théobromine et en caféine des clones et familles d’hybrides en cours de sélection	86
1.1.5.1. Teneur en théobromine et en caféine des fèves issues de clones	86
1.1.5.2. Teneurs en théobromine et caféine des fèves issues de familles d’hybrides	86
1.1.6. Profil en acide gras et en sels minéraux des clones et familles d’hybrides en cours de sélection	87
1.1.6.1. Teneur en acides gras des fèves de cacao issues de clones	87
1.1.6.2. Teneur en acides gras des fèves issues de familles d’hybrides	88
1.1.6.3. Profil en sels minéraux des fèves issues de clones	90
1.1.6.4. Profil en sels minéraux des fèves de cacao issues de familles d’hybrides	93
1.1.7. Caractéristiques physiques des fèves des variétés de cacaoyers en cours de sélection ..	96
1.1.7.1. Caractéristiques physiques des fèves de cacao de six clones	96

1.1.7.1.1. Aspects des fèves entières de cacao de six clones	96
1.1.7.1.2. Caractéristiques des fèves des cacao coupées issues de six clones.....	96
1.1.7.2. Comparaison de quatre familles d'hybrides pour leurs caractéristiques physiques de fèves de cacao	97
1.1.7.2.1. Caractéristiques physiques des fèves entières de cacao des familles d'hybrides.....	97
1.1.7.2.2. Caractéristiques physiques des fèves de cacao coupées issues des familles d'hybrides	98
1.1.8. Caractéristiques organoleptiques des liqueurs de cacao issues des variétés de cacaoyers en cours de sélection	99
1.1.8.1. Profil sensoriel de la liqueur de cacao de six clones	99
1.1.8.2. Profil sensoriel de la liqueur de cacao de quatre familles d'hybrides	101
1.1.8.3. Structuration de clones et de familles d'hybrides suivant leurs caractères organoleptiques.....	104
1.2. Discussion.....	105
Conclusion partielle.....	113
Chapitre 2 : Effet de l'origine génétique du pollen sur les qualités physico-chimique, technologique et sensorielle des fèves de cacao.....	115
2.1. Résultats	115
2.1.1. Caractéristiques technologiques des fèves de cacao issues de pollinisations contrôlées	115
2.1.2. Propriétés physicochimiques.....	116
2.1.2.1. Caractéristiques physico-chimiques des fèves de cacao de pollinisations contrôlées.	116
2.1.2.2. Structuration des fèves de cacao de neuf familles issues de pollinisations contrôlées	119
2.1.3. Propriétés biochimiques de fèves de cacao de neuf familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée	121
2.1.3.1. Profil en acides gras des fèves de cacao issues de pollinisation contrôlée	121
2.1.3.1.1 Teneur en acides gras des fèves de cacao issues de pollinisation contrôlée	121
2.1.3.1.2. Structuration de 9 familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée selon leurs profils en acides gras.	122
2.1.3.2. Teneurs en sels minéraux de fèves de cacao de neuf familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée	124

2.1.3.3. Teneurs en composés phytochimiques des familles des fèves de cacao issues de la pollinisation contrôlée	127
2.1.3.3.1. Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves de cacao de neuf familles d'hybrides.....	127
2.1.3.3.2. Teneurs en théobromine et en caféine des fèves de cacao de neuf familles d'hybrides	127
2.1.3.3.3. Représentation de cercle de corrélation des variables et des fèves de cacao issues de neuf familles d'hybrides obtenues par pollinisation contrôlée sur le plan factoriel F1 x F2 .	128
2.1.3.4. Profil des composés phénoliques des familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée	130
2.1.3.4.1. Teneurs en composés phénoliques des hybrides	130
2.1.3.4.2. Structuration de 9 familles d'hybrides pour leurs caractères en composés phénoliques	131
2.1.3.5. Activités antioxydantes des extraits de fèves de cacao de cinq meilleures familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée	133
2.1.3.5.1. Activités antioxydants par le test de DPPH de cinq meilleures familles d'hybrides	133
2.1.3.5.2. Concentration efficace des extraits éthanoliques des fèves de cacao.....	134
2.1.4. Caractéristiques physiques des fèves de cacao de neuf familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlées	135
2.1.4.1. Aspects physiques des fèves entières	135
2.1.4.2. Caractéristiques des fèves de cacao coupées des 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée	136
2.1.5. Caractéristiques sensorielles des liqueurs de cacao de neuf familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée	137
2.1.5.1. Profil organoleptique de 9 familles d'hybrides	137
2.1.5.2. Saveurs particulières détectées	140
2.1.5.3. Evaluation des saveurs détectées	141
2.1.5.4. Répartitions des 9 familles d'hybrides suivant leurs caractéristiques organoleptiques	141
2.2. Discussion	143
Conclusion partielle	148
Chapitre 3 : Influence de différentes zones agro écologiques sur la qualité des fèves de cacao	149

3.1. Résultats	149
3.1.1. Paramètres technologiques des fèves de cacao de trois zones agro écologiques	149
3.1.1.1. Effet de la zone de plantation sur les caractères technologiques des fèves d'hybrides	149
3.1.1.2. Nombre et poids des fèves de cacao marchand de trois zones de plantation	149
3.1.1.3. Nombre et poids des fèves de cacao marchand de quatre familles hybrides	150
3.1.2. Paramètres physico-chimiques des fèves de cacao de trois zones agro écologiques ...	152
3.1.2.1. Effets de l'interaction « zone de plantation x familles » sur les caractéristiques physico-chimiques du cacao	152
3.1.2.2. Comparaison des zones de plantation sur les paramètres physico-chimiques ..	152
3.1.2.3. Comparaison entre les fèves de cacao des familles pour les paramètres physico-chimiques issues de trois zones.....	153
3.1.2.4. Structuration des familles d'hybrides suivant les caractéristiques physico-chimiques des fèves dans les trois zones de production	158
3.1.3. Comparaison des cacaoyers issus de trois zones agro écologiques pour les paramètres biochimiques des fèves de cacao.....	160
3.1.3.1. Profil des acides gras des fèves de cacao issues de trois zones de plantation.....	160
3.1.3.1.1. Effet de l'interaction « zone de plantation x famille » sur le profil des acides gras	160
3.1.3.1.2. Profil des teneurs en acides gras des fèves de cacao des zones d'étude	160
3.1.3.1.3. Profil des teneurs des acides gras des fèves de cacao des familles d'hybrides.....	161
3.1.3.1.4. Structuration des familles d'hybrides suivant leurs teneurs en acides gras	164
3.1.3.2. Profil en sels minéraux des fèves de cacao issues de 4 familles d'hybrides de trois zones de plantation.....	166
3.1.3.2.1. Effet de l'interaction « zone x famille » sur le profil des sels minéraux.....	166
3.1.3.2.2. Comparaison des zones de plantation suivant le profil des sels minéraux des fèves de cacao.....	166
3.1.3.2.3. Comparaison des familles d'hybrides suivant le profil des sels minéraux	167
3.1.3.2.4. Structuration des familles d'hybrides suivant le profil des sels minéraux.....	171
3.1.3.3. Teneurs en théobromine, caféine polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves de cacao issues de trois zones de plantation.....	173
3.1.3.3.1. Effet de l'interaction « zone de plantation x famille » sur la teneur en théobromine, caféine, polyphénols et flavonoïdes totaux	173

3.1.3.3.2. Comparaison dans les zones d'étude pour les teneurs en théobromine, caféine, polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves issues de trois zones de plantation.....	173
3.1.3.3.3. Comparaison des familles d'hybrides pour les teneurs en théobromine, caféine, polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves issues de trois zones de plantation.....	174
3.1.3.3.4. Structuration des familles suivant les teneurs en composés phytochimiques et protéines	177
3.1.3.4. Comparaison des teneurs des profils en composés phénoliques des fèves de cacao issues de trois zones de plantation	179
3.1.3.4.1. Effet de l'interaction « zone de plantation x famille » sur le profil en composés phénoliques.....	179
3.1.3.4.2. Teneurs en composés phénoliques des fèves issues de trois zones de plantation ..	179
3.1.3.4.3. Comparaison des familles d'hybrides pour leurs teneurs en profil des composés phénoliques des fèves de cacao issues de trois zones de plantation.....	180
3.1.3.4.4. Structuration des familles d'hybrides suivant les teneurs en profil de composés phénoliques.....	183
3.1.3.5. Activités antioxydantes des extraits de fèves de cacao de 4 meilleures familles d'hybrides issues de trois zones de plantation	185
3.1.3.5.1. Comparaison des activités antioxydantes par le test de DPPH de quatre meilleures familles	185
3.1.3.5.2. Concentration efficace des extraits éthanoliques des fèves de cacao.....	185
3.1.4. Evaluation multilocale de quatre familles hybrides pour les caractéristiques sensorielles de la liqueur et des fèves de cacao	187
3.1.4.1. Profils sensoriels des fèves de familles hybrides issues de la localité de Soubré	187
3.1.4.2. Profils sensoriels des fèves de familles hybrides issues de la localité de Divo....	187
3.1.4.3. Profils sensoriels des fèves de familles hybrides issues de la localité de Bouaflé	188
3.1.4.4. Profil radar de préférence des dégustateurs des liqueurs de trois zones de plantation	189
3.1.4.5. Caractères organoleptiques des familles hybrides issues de trois zones de planation	190
3.1.4.5.1. Effet de la zone et de la famille sur les caractéristiques organoleptiques des familles hybrides issues de trois zones de planation	190
3.1.4.5.2. Comparaison des zones sur la base des caractéristiques organoleptiques des liqueurs de cacao	190

3.1.4.5.3. Comparaison des familles d'hybrides sur la base des caractéristiques organoleptiques des liqueurs de cacao	191
3.1.4.5.4. Structuration des familles suivant les caractères organoleptiques des liqueurs de cacao évaluées	195
3.2. Discussion.....	197
3.3. Conclusion partielle.....	202
Chapitre 4 : Impact de l'ajout de substances aromatiques pendant la fermentation sur les qualités physico-chimique et sensorielle des fèves de cacao	204
4.1. Résultats	204
4.1.1. Evolution de la température des clones pendant la fermentation (ANIMA).....	204
4.1.2. Propriétés physico-chimiques des fèves des clones	205
4.1.3. Profils sensoriels (radar) de la liqueur de cacao des clones	207
4.1.4. Evaluation des caractères organoleptiques des clones sous ajout de substances aromatiques	209
4.1.5. Evaluation des saveurs particulières développées par les clones	213
4.1.6. Structuration des clones sous l'addition de substances aromatiques	214
4.2. Discussion.....	216
4.3. Conclusion partielle.....	218
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	220
REFERENCES	224
ANNEXES.....	xxx
PUBLICATIONS	xxxvii
COMMUNICATIONS.....	xl

DEDICACE

MERCI SEIGNEUR.

Cette thèse est la conjugaison des efforts de tous ceux qui m'aiment. Je la dédie de tout cœur à :

- ma mère, ANON Apo Marie, pour son amour, son courage, sa force et sa détermination à lutter contre les difficultés de la vie. Maman chérie, tu es ma lumière.
- mon épouse, GUIRAUD-ASSI Boguinard Sahin Honorine Brigitte pour son soutien à tous les égards et ses encouragements dans la poursuite de mes études.
- mes enfants, ma princesse, ASSI Zeubien Apo Marie Prunelle et son frère cadet ASSI Zeubien Marvyn Yvan.

Que DIEU vous bénisse et vous protège tous.

AVANT-PROPOS

L'aboutissement de la présente thèse a été possible grâce aux appuis techniques et financiers de deux institutions. Il s'agit de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, particulièrement l'Unité de Formation et de Recherche en Agroforesterie (UFR Agroforesterie) et du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA).

Ce travail s'inscrit dans le cadre du mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Doctorat en Agriculture et foresterie tropicale, spécialité Biochimie et Technologie des aliments. L'étude a porté sur l'amélioration de la qualité du cacao en Côte d'Ivoire : approche. Intégrée fondée sur la génétique, l'agroécologie et la fermentation contrôlée. La thématique a été définie dans la mise en œuvre du Projet FIRCA 2QC/Contrat-plan 2 intitulé « Génération de technologies pour l'amélioration de la productivité des vergers de cacaoyers ». Ce travail a été financé par le Conseil du Café-Cacao, à travers le FIRCA et piloté par le Centre National de Recherche Agronomique.

Les manipulations ont été effectuées :

- au laboratoire d'amélioration génétique du cacaoyer de la station de recherche du CNRA à Divo pour le choix du matériel végétal et les traitements post-récoltes ;
- au laboratoire de qualité sensorielle du CNRA à Bingerville pour les analyses physiques et organoleptiques ;
- au laboratoire de chimie physique du CNRA à Bingerville pour les analyses physico-chimiques ;
- et à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE de Daloa, pour le suivi de la rédaction.

Au cours de cette thèse, les meilleurs génotypes de cacaoyers (clones et familles d'hybrides) ont été sélectionnés sur la base de la qualité des fèves. L'effet de l'origine génétique du grain de pollen sur les qualités physico-chimiques, biochimiques, technologiques et sensorielles des fèves de cacao a été déterminé. En outre, l'effet des différentes zones agroécologiques a été évalué sur les mêmes caractéristiques. Par ailleurs, l'impact de l'ajout de substances aromatiques au cours de la fermentation a été déterminé sur les qualités physico-chimiques et sensorielles des fèves de cacao.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui ont participé à sa réalisation. Qu'elles trouvent ici l'expression de notre grande reconnaissance.

Je remercie madame ADOHI Krou Viviane, Professeur Titulaire de Physique-Chimie et Présidente de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE. Je lui exprime ma vive reconnaissance pour ses encouragements à la recherche scientifique.

J'exprime mon infinie gratitude à monsieur SORO Dognimeton, Professeur Titulaire d'Agro-pédologie, Vice-Président chargé de la Pédagogie, de la Vie Universitaire, de la Recherche et de l'Innovation Technologique de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, pour sa convivialité et ses encouragements pour le travail bien fait.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à monsieur KOUASSI Kouassi Clément, Maître de Conférences, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) d'Agroforesterie de l'Université Jean Loroignon Guédé, pour son soutien inestimable et sa bonne gestion de l'UFR Agroforesterie.

Je remercie monsieur BEUGRE Grah Avit Maxwell, Professeur Titulaire en Biochimie et Nutrition, Directeur du Laboratoire Agro-valorisation, pour m'avoir accepté dans son Laboratoire.

J'adresse mes sincères remerciements à monsieur DIOMANDE Massé, Maître de Conférences en Biochimie et Technologie des Aliments, pour m'avoir fait confiance et accepté d'être Directeur de cette thèse. Cher Professeur, vous m'avez permis de faire mes premiers pas dans la recherche à vos côtés. Je tiens à vous témoigner mon infinie gratitude pour votre soutien ainsi que les conseils prodigués en vue du bon déroulement de cette thèse. Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect.

J'adresse mes sincères remerciements à monsieur TAHI Gnion Mathias, Directeur de recherche CNRA, Co-Directeur scientifique de cette thèse, sans l'aide de qui ce travail n'aurait pu avoir lieu. Merci cher maître pour tout le savoir et la formation que vous m'avez transmise. C'est une véritable grâce pour moi de vous avoir eu comme encadreur.

Je n'oublie pas madame GUIRAUD Boguinard Sahin Honorine Brigitte, Docteur en génétique, Chargée de recherche au programme cacao du CNRA, pour tout l'encadrement

scientifique reçu, pour ses précieux conseils et pour les différentes orientations dans la rédaction de ce mémoire. Que DIEU vous garde et protège toute votre famille.

Je suis reconnaissant à Dr Louis BAN KOFFI, Directeur de recherche au CNRA, éminent chercheur en qualité sensorielle du cacao à la retraite, pour la formation dont j'ai pu bénéficier à ses côtés.

Et à Madame N'GORAN Patricia Haddad, Chargée de recherche CNRA, Chef de programme et responsable du laboratoire d'analyse sensoriel de STR de Bingerville pour avoir instruit le document. Vos critiques et suggestions ont permis d'améliorer considérablement le présent manuscrit.

Au Président de jury, Monsieur SORO Dogniméton, Professeur Titulaire à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, c'est un grand honneur que vous me faites en présidant ce jury de thèse. Votre approche facile et cordiale empreint d'humilité et la spontanéité avec laquelle vous avez accédé à notre sollicitation nous ont marqué. Soyez assuré, honorable Président, de mon éternelle reconnaissance.

A monsieur KONAN Kouassi Hubert, Professeur titulaire en Technologie alimentaire à l'Université Nangui Abrogoua et Rapporteur de la Thèse. Délaissant vos occupations oh combien multiple, vous avez accepté de juger ce travail de thèse. Nous en sommes émus. Cet honneur que vous nous faites est la preuve de vos qualités intellectuelles et surtout humaines qui imposent respect et admiration. Merci Professeur pour vos conseils et orientations.

A Madame COMBO Agnan Marie-Michel Epse KONAN, Maître de Conférences en Biochimie et Technologies des Aliments à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE et Examinatrice 1 de la thèse. Vous nous avez fait l'honneur d'accepter de faire partie de ce jury de thèse malgré vos nombreuses occupations. Votre sympathie et votre rigueur nous ont profondément marqués. Soyez assurée de notre estime et de notre considération.

A Monsieur BAMBA Bio Signi Bruno, Maître de Conférence en Génie des Procédés Alimentaires à l'Université Pelefero GON COULIBALY, examinateur 2 de la Thèse. Nous apprécions beaucoup la spontanéité avec laquelle vous avez accepté de siéger dans ce jury malgré votre agenda chargé. Vos qualités intellectuelles nous ont marqué. Recevez-en ce jour, notre reconnaissance.

Je ne saurais oublier les chercheurs et les stagiaires du CNRA, que je remercie ici pour leur soutien. Il s'agit pour :

- Dr TREBISSOU Caudou, Dr KOUAME Stanislas, les doctorant (es) ATCHI Yves, GOURE Bi Firmin et Mlle MINAKOU Sandrine du laboratoire de génétique
- Dr KOUAME Norbert, Dr WALLET Pierre et le doctorant ABOUDOU Abdoul du laboratoire d'Entomologie
- Dr KOTAIX Acka, Dr ASSI Maryse et les thésards KOFFI Stanislas, GBEULI Anicet et COULIBALY Sounta du laboratoire d'agro pédologie

A Monsieur SEKOU Aidara, Entomologiste du CNRA à la retraite, je dis un grand merci pour son appui en biométrie et son soutien incondtionnel dans l'élaboration de ma thèse.

J'associe à ces remerciements, tous les enseignants et les doctorants de l'UFR Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE.

Je remercie également mes ami (e) s de la station STR-CNRA de Bingerville pour leur collaboration. Il s'agit notamment d'ASSEMIEN Aime Fabrice, YORO Andrea Jeannette, N'KATTA Lehon Josiane et TANO Kobenan Blaise.

Je dis merci à mes frères, sœurs, cousins et cousines pour leur soutien moral et affectif. Il s'agit d'ASSI Yapoga Claver, ASSI Sopia Marcelle, ASSI ASSI Cyriaque et Agnissan Kopoin Romeo,

Je n'oublie pas de remercier mes amis et collègues de travail pour leur soutien moral et leurs encouragements. Il s'agit de LAHO Kouamé Achille Franck, YAO Ange Hervé et KOUASSIPKE Simin Sroboua.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en Composantes Principales
CAH	: Classification Ascendante Hiérarchique
CNRA	: Centre National de Recherche Agronomique
ppds	: plus petite différence significative
M	: Molaire
mg/kg	: Milligramme par kilogramme
pH	: Potentiel d'hydrogène
Fe	: Fer
K	: Potassium
Mg	: Magnesium
Mn	: Manganèse
Na :	: Sodium
Zn	: Zinc
UPA	: « Upper Amazon »
Hybride cloné	: Arbre remarquable cloné dans une descendance
ANOVA	: Analyse de Variance
AOAC	: Association des Chimistes Analytiques Officiels
DPPH	: 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl
CRM	Cocoa Related material

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Liste des 6 clones étudiés et leurs généalogies	39
Tableau II. Liste des 4 familles d'hybrides de l'essai du test Orientatif de Divo.....	40
Tableau III. Plan de croisement factoriel 3 x 3 pour la création de 9 familles d'hybrides.....	40
Tableau IV. Liste des 4 familles d'hybrides et leurs généalogies.....	41
Tableau VI. Paramètres technologiques mesurés sur des fèves de cacao	50
Tableau VII. Nombre et poids de fèves de cacao analysés chez 6 clones de la parcelle E5/1.	76
Tableau VIII. Nombre et poids de fèves de cacao analysés chez 4 familles d'hybrides du Test Orientatif à Divo.....	77
Tableau IX. Composition physico chimique des fèves des clones de cacaoyers de la parcelle clonale E5/1 de Divo	79
Tableau X. Composition physico chimique des fèves des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) de Divo.....	81
Tableau XI. Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves de 6 clones de cacaoyers de la parcelle E5/1	82
Tableau XII. Teneurs en polyphénols totaux et flavonoïdes de quatre familles d'hybrides du Test Orientatif de Divo.....	83
Tableau XIII. Teneurs en composés phénoliques de 6 clones de cacaoyers de la parcelle E5/1	84
Tableau XIV. Teneurs en composés phénoliques de quatre familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) de Divo.....	85
Tableau XV. Teneurs en théobromines et caféines de 6 clones de cacaoyers de la parcelle E5/1	86
Tableau XVI. Teneurs en théobromine et caféine des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) dans la région de Divo	87
Tableau XVII: Teneurs en acides gras des clones de cacaoyers de la parcelle E5/1	88
Tableau XVIII. Teneur en acides gras des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif de Divo	90
Tableau XIX: Teneurs en sels minéraux des clones de cacaoyers de la parcelle E5/1	92
Tableau XX. Teneurs en sels minéraux des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) dans la localité de Divo	95

Tableau XXI. Caractéristiques des fèves entières de cacao analysées chez 6 clones de cacaoyers de la parcelle E5/1	96
Tableau XXII. Nombre de fèves par couleur à la suite du test de coupe chez les six meilleurs clones de cacaoyers de la parcelle E5/1	97
Tableau XXIII. Caractéristiques physiques des fèves entières de cacao analysées de 4 familles d'hybrides du Test Orientatif (TO) de Divo.....	98
Tableau XXIV. Couleurs des fèves coupées de quatre familles d'hybrides du Test Orientatif (TO) de Divo	98
Tableau XXV. Arômes et note d'appréciation des clones de cacaoyers de la parcelle E5/1	100
Tableau XXVI: Arômes et d'appréciation des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) dans la région de Divo	102
Tableau XXVII. Valeurs propres et contribution des axes factoriels de six clones et quatre familles d'hybrides.....	104
Tableau XXVIII. Paramètres technologiques des fèves de cacao de neuf hybrides issus de pollinisations contrôlées.....	116
Tableau XXIX. Paramètres physico chimiques de fèves de cacaoyers issues de pollinisation manuelle	118
Tableau XXX. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres physico-chimiques.....	119
Tableau XXXI. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres physico-chimiques	120
Tableau XXXII. Profils en acides gras de neuf hybrides issus de pollinisation contrôlée ...	122
Tableau XXXIII. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les acides gras	123
Tableau XXXIV. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée en acides gras	123
Tableau XXXV. Teneur en sels minéraux de 9 hybrides issus de pollinisation manuelle ...	126
Tableau XXXVI. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité	129
Tableau XXXVII. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité.....	129

Tableau XXXVIII. Teneurs en composés phénoliques des fèves de 9 familles issues de pollinisation contrôlée	131
Tableau XXXIX. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique.....	132
Tableau XL. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique	132
Tableau XLI. Paramètres d'Antioxydant mesurés sur les fèves de 5 familles	134
Tableau XLII. Paramètres physiques des fèves de cacao entières de 9 hybrides issus de pollinisation manuelle	136
Tableau XLIII. Notes d'arômes de 9 hybrides issus de pollinisation contrôlée par un panel	139
Tableau XLIV. Saveurs particulières détectées chez 9 hybrides issus de pollinisation manuelle suivant les normes de Cocoa of Excellence	141
Tableau XLV. Interactions « zones x Familles » pour le nombre et poids des fèves	149
Tableau XLVI. Effet de zones de production sur 3 paramètres liés aux fèves.....	150
Tableau XLVII. Nombre et poids des fèves de cacao marchand de 4 familles d'hybrides dans trois zones de plantation.....	151
Tableau XLVIII. Interactions « zones x des familles » pour les paramètres physico-chimiques	152
Tableau XLIX. Comparaison de 3 régions de production pour 9 paramètres physico-chimiques	153
Tableau L. Paramètres physico chimique mesurés sur quatre familles d'hybrides issues de trois zones de plantation	156
Tableau LI. Teneurs en sucres réducteurs, cendres et taux d'humidité des fèves de cacao issues de trois zones de plantation	156
Tableau LII. Teneurs en lipides, fibres et protéines des fèves de cacao issues de trois zones de plantation.....	157
Tableau LIII . Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 4 familles d'hybrides pour les paramètres physico-chimiques.....	158
Tableau LIV. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 4 familles d'hybrides pour les paramètres physico-chimiques	159
Tableau LV. Interactions « zones x familles » à 2 facteurs sur la teneur en acides gras.....	160
Tableau LVI. Acides gras des fèves issues de trois zones de plantation	161

Tableau LVII. Teneurs en acides palmitiques, stéariques et oléiques des fèves de familles issues de trois zones de plantation.....	163
Tableau LVIII. Teneurs en acides linoléiques, linoléniques et myristiques des fèves issues de trois zones de plantation.....	163
Tableau LIX. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 4 familles d'hybrides pour les teneurs en acide gras	164
Tableau LX. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 4 familles d'hybrides pour les teneurs en acide gras.....	165
Tableau LXI. Interactions « zones x des familles » à 2 facteurs sur les teneurs en sels minéraux	166
Tableau LXII. Teneurs en sels minéraux des fèves issues de trois zones de plantation	167
Tableau LXIII. Teneurs en Zinc, cuivre et fer des fèves des familles d'hybrides issues de trois zones de plantation.....	169
Tableau LXIV. Teneurs en manganèse, sodium et magnésium des fèves des familles d'hybrides issues de trois zones de plantation	169
Tableau LXV. Teneurs en calcium, potassium et phosphore des fèves des familles d'hybrides issues de trois zones de plantation.....	170
Tableau LXVI. Valeurs propres et contribution des axes factoriels de 4 familles d'hybrides pour le profil des sels minéraux dans trois zones agroécologiques.....	172
Tableau LXVII. Interactions « zones x familles » sur la teneur en théobromine, caféine et en composés phytochimiques.....	173
Tableau LXVIII. Teneurs en théobromine, caféine, polyphénols et flavonoïdes des fèves issues de trois zones de plantation.....	174
Tableau LXIX. Teneurs en théobromine et caféine des fèves de familles issues de trois zones de plantation	175
Tableau LXX. Teneurs en polyphénols totaux et les flavonoïdes des fèves de familles issues de trois zones de plantation	176
Tableau LXXI. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité	177
Tableau LXXII. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité.....	177
Tableau LXXIII. Interactions « zones x des familles » pour la teneur en profil phénolique	179

Tableau LXXIV. Teneurs en épicatechine, catéchine, théobromine, caféine, quercétine et proanthocyanidine des fèves issues de trois zones de plantation	180
Tableau LXXV. Teneurs en épicatechine, catéchine et théobromine des fèves de familles issues de trois zones de plantation	182
Tableau LXXVI. Teneurs en caféine, quercétine et proanthocyanidine des fèves de familles issues de trois zones de plantation.....	182
Tableau LXXVII. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique	183
Tableau LXXVIII. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique.....	184
Tableau LXXIX. Antioxydante des fèves issues des quatre meilleures familles	185
Tableau LXXX. Interaction zones x familles pour les saveurs détectées sur la liqueur de cacao	190
Tableau LXXXI. Intensité des saveurs de la liqueur issue de trois zones de plantation	190
Tableau LXXXII. Notes d'arômes identifiées chez 4 familles d'hybrides pour les intensités cacao, acidité, amertume	193
Tableau LXXXIII. Notes d'arômes identifiées chez 4 familles d'hybrides pour l'astringence, la saveur fruit frais et fruit doré.....	193
Tableau LXXXIV. Notes d'arômes identifiées chez 4 familles d'hybrides pour les saveurs florales, boisé, épicé	194
Tableau LXXXV. Notes d'arômes de 4 familles d'hybrides pour les saveurs noisette et la note globale	194
Tableau LXXXVI. Valeurs propres et contribution des axes factoriels de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans trois zones agroécologiques.....	195
Tableau LXXXVII. Paramètres physico chimiques des fèves du clone IMC67 avec ajout de substances aromatiques	206
Tableau LXXXVIII. Paramètres physico chimiques des fèves du clone IFC5.....	207
Tableau LXXXIX. Notes d'arômes et d'appréciation identifiées chez le clone IMC67 avec ajout de substance additionnelle par un panel.	210
Tableau XC. Notes d'arômes et d'appréciation identifiées chez le clone IFC5 avec ajout de substance additionnelle par un panel.....	212
Tableau XCI. Saveurs particulières détectées chez le clone IMC67 avec ajout de substances aromatiques selon les normes de Cocoa of Excellence.	213

Tableau XCII. Saveurs particulières détectées chez le clone IFC5 avec ajout de substances aromatiques selon les normes de Cocoa of Excellence.....	213
Tableau XCIII. Valeurs propres et contribution des axes factoriels des clones IMC67 et IFC5 sous l'addition de substance aromatique	214

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Repartition mondiale de la production cacaoyère incluant les Zones de production	7
Figure 2: Architecture générale d'un cacaoyer	9
Figure 3: Représentation schématique du développement du système racinaire d'un semencé et d'une bouture de cacaoyer.....	10
Figure 4: Cabosses de cacao de la variété Criollo.....	11
Figure 5: Cabosse de cacao de la variété Forastero	12
Figure 6 : Cabosses de cacao de la variété Trinitario.....	12
Figure 7: Cabosse de la variété "Nacionala.....	14
Figure 8: Cabosse de la variété CCN-51 (.....	15
Figure 9: Fleurs de cacaoyer montrant le style, les anthères, les staminodes,	18
Figure 10 : Structures chimiques de la théobromine et de la caféine	27
Figure 11 : Carte de la Côte d'Ivoire montrant les sites d'études	37
Figure 12: Techniques de pollinisation manuelle contrôlée	43
Figure 13 : Clones IMC67 et IFC5 en fermentation sous addition de substances aromatiques	45
Figure 14: Fèves de grade A et de grade B	46
Figure 15 : Dispositif pour une opération de drainage.....	47
Figure 16 : Fermentation des fèves de cacaoyer suivant la méthode ANIMA	48
Figure 17 : Séchage des fèves réalisé suivant le protocole proposé par ANIMA	49
Figure 18 : Nombre de fèves fraîches d'une cabosse	50
Figure 19: Pesée de fèves fraîches d'une cabosse	51
Figure 20: Pesée d'une fève de cacao marchand à l'aide d'une balance de précision	52
Figure 21. Fèves séchées conservées dans des sacs de jutes.....	53
Figure 22: Humidimètre Mini GAC 2500 de Dickey-John avec chargeur	64
Figure 23: Fèves coupées à l'aide de guillotine	65
Figure 24 : Procédé de transformation des fèves en liqueur de cacao.....	66
Figure 25: Grille d'ajustement de la température de torréfaction des fèves de cacao	67
Figure 26: Concasseur de fèves de cacao marchand	68
Figure 27: Tri des nibs de cacao marchand	69
Figure 28: Préparation de la liqueur de cacao	69
Figure 29 : Liqueurs de cacao	70
Figure 30 : Conditionnement et conservation de la liqueur de cacao	70

Figure 31: Déroulement du ring test avant la dégustation de la liqueur de cacao.....	71
Figure 32 : Séance de dégustation des liqueurs de cacao par le panel.	72
Figure 33: Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao des clones de la parcelle E5/1.....	101
Figure 34 : Profil radar de dégustateurs des liqueurs de cacao des familles d’hybrides TO/Divo	103
Figure 35 : Répartition des liqueurs de cacao de six clones et quatre familles d’hybrides dans le plan factoriel F1 x F2 pour les paramètres sensoriels	104
Figure 36 : Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l’ACP des 9 familles d’hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres physico-chimiques	120
Figure 37 : Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l’ACP des 9 familles d’hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les acides gras	124
Figure 38: Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux de fèves de cacao par croisement.	127
Figure 39 : Teneur en théobromine et caféine de fèves de cacao par croisement.....	128
Figure 40 : Projection des variables dans le plan factoriel 1-2 de l’ACP des 9 familles d’hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité..	129
Figure 41 : Représentation graphique de la distribution des 9 familles d’hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualités dans le plan factoriel 1-2 de l’ACP.....	130
Figure 42 : Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l’ACP des 9 familles d’hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique	133
Figure 43 : Taux d’inhibition du DPPH des extraits éthanoliques des fèves de cacao dans la pollinisation contrôlée	135
Figure 44. : Pourcentage de différentes couleurs des fèves de 9 hybrides issus de pollinisation manuelle	137
Figure 45: Profil sensoriel de référence du cacao de Côte d’Ivoire selon Cocoa of Excellence	140
Figure 46 : Cercle de corrélation et regroupement des variables pour les caractères organoleptiques de 9 familles d’hybrides.....	142
Figure 47 : Classification hiérarchique ascendante de 9 familles d’hybrides pour les caractères organoleptiques	142
Figure 48 : Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l’ACP des 4 familles d’hybrides pour les paramètres physico-chimiques	159

Figure 49 : Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 4 familles d'hybrides pour les teneurs en acide gras.....	165
Figure 50: Cercle de corrélation et regroupement des variables pour le profil des sels minéraux	172
Figure 51: Classification hiérarchique ascendante de quatre familles d'hybrides pour le profil	172
Figure 52 : Projection des variables dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité..	178
Figure 53 : Représentation graphique de la distribution des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualités dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP.....	178
Figure 54 : Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique	184
Figure 55: Taux d'inhibition du DPPH des extraits éthanoliques des fèves de cacao dans trois zones.....	186
Figure 56 : Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans la zone de Soubré.....	187
Figure 57: Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans la zone de Divo	188
Figure 58 : Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans la zone de Bouaflé	189
Figure 59: Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques.....	189
Figure 60: Cercle de corrélation et regroupement des variables de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans trois zones agroécologiques.....	196
Figure 61: classification hiérarchique ascendante de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans trois zones agroécologiques.....	196
Figure 62: Evolution de la température au cours de la fermentation des fèves avec ajout de substances aromatiques	204
Figure 63: Evolution de la température au cours de la fermentation des fèves avec ajout de substances aromatiques du clone IFC5.	205
Figure 64: Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao du clone ...	208
Figure 65: Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao du clone IFC5 sous addition de substance aromatique	209

Figure 66: Cercle de corrélation et regroupement des clones IMC67 et IFC5 sous l'addition de substance aromatique.....	215
Figure 67: Classification hiérarchique ascendante des clones IMC67 et IFC5	215

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Diagramme du processus de division en quarts	xxxi
Annexe 2 : Ajustements de la température de torréfaction (°C) et de la durée (minutes) en fonction de la teneur en eau (%) et de la taille des fèves de cacao	xxxii
Annexe 3 : Formulaire d'évaluation sensorielle Cacao d'Excellence	xxxiv
Annexe 4 : Matériels ayant servi aux analyses physico-chimiques	xxxv

Introduction

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est une plante pérenne tropicale cultivée essentiellement pour ses fèves qui servent à la fabrication du chocolat, de produits cosmétiques et pharmaceutiques (Moscatto *et al.*, 2004 ; Franzen & Mulder, 2007 ; Guehi *et al.*, 2007). La Côte d'Ivoire est le premier pays producteur mondial de cacao marchand avec une production moyenne de près de 1 674 000 tonnes en 2024 (ICCO, 2025), ce qui représente environ 38 % de l'offre mondiale. Le secteur du cacao contribue à hauteur de 15 % du produit intérieur brut (PIB) et 44 % des recettes d'exportations de la Côte d'Ivoire (ICCO, 2014). Le cacao représente une importante source de revenus pour environ 6000 chefs d'exploitations vivant de façon directe ou indirecte de cette culture.

Malgré ces performances, le contexte actuel de la cacaoculture ivoirienne est marqué par de nombreuses contraintes de production parmi lesquelles figurent le faible niveau d'utilisation du matériel végétal amélioré, le non-respect des itinéraires techniques, la baisse de la fertilité des sols, le changement climatique et la forte pression parasitaire due aux insectes telles que les mirides et aux maladies comme la pourriture brune des cabosses et le swollen shoot (Guiraud, 2019). A cela, s'ajoute la faible qualité physique, aromatique, biochimique et sensorielle du cacao marchand. Cette faible qualité serait due à l'origine du matériel végétal et aux technologies post récoltes utilisées (Krähmer *et al.*, 2015). Selon un concept ancien, la qualité sensorielle des chocolats fins s'acquiert au cours de la fermentation ou est définie par l'environnement aromatique autour des cacaoyers (Eskes, 2021). Par contre, d'autres auteurs, soutiennent que les saveurs et arômes sont génétiques avec une héritabilité qualitative (Eskes *et al.*, 2012 ; Eskes *et al.*, 2018 ; Eskes, 2021).

Les performances agronomiques des variétés de cacao mises au point par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) tant au niveau de la productivité, de la précocité que de la tolérance aux maladies sont désormais reconnues à travers le monde (Guiraud *et al.*, 2021). La mise au point d'itinéraires techniques adaptés aux régions dites marginales permet d'étendre les zones de production avec une optimisation du potentiel génétique de ces derniers au fil du temps pour une meilleure productivité.

De nos jours, la commercialisation du cacao marchand est basée sur la qualité physique (grade, humidité, uniformité des fèves, niveau de fermentation des fèves). En plus de ces paramètres, la qualité sensorielle constitue un outil de décision à la commercialisation des fèves de cacao sur le marché international (Afoakwa *et al.*, 2014 ; ICCO, 2020).

Plusieurs auteurs ont tenté à travers leurs travaux de mettre en évidence les caractéristiques du cacao produit dans le monde sur la base des critères technologiques, physico-chimiques, biochimiques et sensoriels. En effet, les recherches menées par Clapperton *et al.* (1994) sur six variétés de cacaoyers cultivées en Malaisie, dans la région de Sabah, ont révélé un effet de la variété sur les caractéristiques sensorielles du cacao telles que l'astringence, l'amertume et l'intensité des saveurs. Ces études ont également établi une corrélation entre certains composés biochimiques et les attributs sensoriels du cacao. En outre, les études de Barrientos *et al.* (2012) ainsi que ceux de Kouassi *et al.* (2022) ont mis en évidence les caractéristiques sensorielles de quelques variétés de cacaoyers en présentant certains de leurs attributs tels que l'acidité, l'amertume, l'astringence et les différentes saveurs (fruité, floral, cacao, fumé et noix). Par ailleurs, selon certains auteurs, l'ajout de substances aromatiques naturelles au cours de la fermentation occasionnerait l'amélioration de la qualité organoleptique du cacao (Eskes, 2021). En effet, selon cet auteur, l'ajout de certaines substances lors de la fermentation suivant le protocole ANIMA permettrait la production d'un cacao fin caractérisé par des saveurs spécifiques généralement masquées du fait des mauvaises pratiques post récolte (Djedjero *et al.*, 2008).

Bien que certains travaux de recherche aient abordé ces thématiques, très peu d'études ont porté sur la caractérisation technologique, physico-chimique, biochimique et sensorielle de cacaoyers présentant des caractères d'intérêts agronomiques en Côte d'Ivoire. Dès lors, les investigations dans les domaines physicochimiques, biochimiques et sensorielles non encore suffisamment explorés, s'avèrent un axe de recherche important.

Le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) dispose des ressources génétiques de cacaoyers d'origine nationale et internationale (Guiraud., 2019). Ce matériel végétal (clones et familles d'hybrides) assez diversifié pourrait regorger des cacaoyers à fèves présentant un bon profil technologique, physico-chimique, biochimique et sensoriel recherché par les industrielles (cosmétiques, chocolaterie, agro-alimentaire...). En outre, le programme de longue durée de sélection variétale au CNRA a donné des résultats très significatifs au point de vue de la productivité et de la résistance à la pourriture brune (Tahi *et al.*, 2017).

C'est dans ce contexte que les travaux portant sur la caractérisation technologique, physicochimique, biochimique et sensorielle des fèves de cacaoyers ont été abordés. Le présent travail vise à améliorer la qualité du cacao produit en Côte d'Ivoire par la sélection des cacaoyers à haut rendement et présentant de bonnes caractéristiques physico chimiques, organoleptiques et sensorielles.

Il s'agira de façon spécifique de :

- identifier les génotypes les plus performants pour la qualité des fèves de cacaoyers ;
- déterminer l'influence de l'origine génétique du grain de pollen sur les qualités technologiques, physicochimiques, biochimiques et sensorielles des fèves de cacaoyers ;
- déterminer l'influence de différentes zones de plantation sur la qualité des fèves de cacaoyers ;
- évaluer l'impact de l'ajout de substances aromatiques au cours de la fermentation sur les qualités physicochimiques et sensorielles des fèves de cacao.

Les hypothèses qui découlent de ces activités de recherche sont les suivantes :

- les cacaoyers en cours de sélection présentent de bonnes caractéristiques technologiques, physicochimiques, biochimiques et sensoriels ;
- l'origine génétique du grain de pollen impacte la qualité des fèves de cacaoyers ;
- l'addition de substances aromatiques naturelles dans la masse de fèves de cacao en cours de fermentation améliore la qualité sensorielle des fèves de cacaoyers.

Outre l'introduction, la conclusion suivie de perspectives, les recommandations et les annexes, le présent mémoire qui rend compte de l'étude menée est organisé en trois parties. La première partie, comprend les généralités sur le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.), les activités post récolte, ces aspects physico-chimiques et biochimiques. La deuxième partie présente l'ensemble du matériel utilisé et les méthodes adoptées afin de mener à bien cette étude. Enfin, la troisième partie expose et discute les résultats obtenus. Les références bibliographiques mettent fin à ce mémoire.

PREMIÈRE PARTIE :
GÉNÉRALITÉS

1. Généralités sur le cacaoyer (*Theobroma cacao* Linné)

1.1. Historique et origine

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* Linné.) est un arbre qui trouve ses origines dans le bassin amazonien, sur le continent américain. L'utilisation des fèves de cacao remonte moins de 1400 ans avant notre ère (Rössner, 1997). Sa culture a débuté en Amérique Centrale et s'est progressivement étendue grâce aux civilisations Olmèques, Mayas et Aztèques (Motamayor *et al.*, 2002). Il est également rencontré dans le bassin de l'Orénoque où il croît naturellement à des altitudes comprises entre 200 et 400 mètres, au pied de la cordillère des Andes. Le cacaoyer appartient à l'ordre des Malvales (Guyot, 1992), dans la tribu des Byttneriées, et était auparavant classé parmi les Sterculiaceae (Motamayor *et al.*, 2002). Le nom de *Theobroma* a été attribué par LINNE en 1753, en référence à la traduction maya qui désigne cette plante comme la nourriture des dieux. Le cacao était largement utilisé pour préparer des boissons nutritives, particulièrement dans l'entourage du souverain Moctezma. Les Olmèques furent les premiers à exploiter le cacao. Le terme « cacao », prononcé « kakawa » à l'origine, provient d'une langue de la famille mixe-zoque, et les linguistes estiment son utilisation à environ 1000 ans avant Jésus-Christ.

Selon Emch (2003), le cacaoyer aurait vu le jour au pied des Andes, dans le cours supérieur du fleuve Amazonien, et sa culture se serait progressivement répandue à travers le continent sud-américain. Son introduction en Afrique a eu lieu plus tardivement. Ce n'est qu'au XIX^e siècle que la culture du cacao s'est implantée en Afrique de l'Ouest. En 1879, un planteur a pu acquérir et semer, grâce à des missionnaires suisses, le premier plant de cacao en Gold Coast (aujourd'hui Ghana) selon Braudeau, (1969). Ces dernières se sont hybridées avec les Amelonado locaux. La culture de cacao a débuté dans la région Est du Ghana en 1879 et a rapidement pris une ampleur commerciale, s'étendant à toute la zone forestière ghanéenne. Par la suite, cette culture s'est propagée vers la Côte d'Ivoire, puis au Togo et dans l'Ouest du Nigeria quelques années plus tard. En Côte d'Ivoire, l'introduction de la culture du cacao remonte à la fin du XIX^e siècle (Bardin, 1937). C'est le Français Arthur Verdier, établi dans le royaume de Krindjabo, qui a été le pionnier de cette culture du cacao, vers 1880 à Elima, dans la région d'Aboisso (Boni, 1985). La propagation de la cacaoculture s'est avérée lente jusqu'en 1898, époque à laquelle seulement une dizaine de petites plantations étaient comptées en Basse Côte (Bardin, 1937). Ces exploitations, étaient toutes détenues par des Européens situées à M'batto, Dabou et à Grabo.

La recherche agronomique liée à l'expansion de la cacaoculture ne commencera qu'à la fin des années 1930 au Centre de Recherche Agronomique de Bingerville (Freud *et al.*, 2000). Dans les années 1960, cette recherche sera consolidée par l'Institut Français du Café et du Cacao (IFCC). Parallèlement, la vulgarisation et l'encadrement des producteurs par la Société d'Assistance Technique pour la Modernisation Agricole de la Côte d'Ivoire (SATMACI) ont commencé également à cette période. Ainsi, l'évolution de la recherche part de l'IFCC jusqu'au CNRA aujourd'hui.

1.2. Aire de distribution géographique

Le cacaoyer se développe naturellement dans les forêts tropicales humides d'Amérique, s'étendant entre 20° de latitude Nord et 20° de latitude Sud, généralement à des altitudes inférieures à 1250 mètres. Les premières cultures de cacao, initiées par les Aztèques, se sont d'abord établies dans les Îles Caraïbes, puis au Venezuela et enfin en Equateur et en Colombie entre le XIII^e et le XVI^e siècle. Ce n'est qu'au XIX^e siècle, avec l'essor des grandes plantations au Brésil dans la région de Bahia, que le cacaoyer a véritablement commencé à se développer en Afrique de l'Ouest, où d'importantes exploitations ont vu le jour entre le XIX^e et le XX^e siècle au Cameroun, au Nigeria, au Togo, au Ghana et en Côte d'Ivoire (Oro, 2011). Par la suite, des plantations ont également été établies en Malaisie et en Indonésie pour l'Asie. Actuellement, le cacaoyer est présent sur quatre des cinq continents avec une part significative de la production en Afrique durant la campagne 2015 - 2016 où plus de 3,2 millions de tonnes de cacao marchand ont été produites (**Figure 1**).

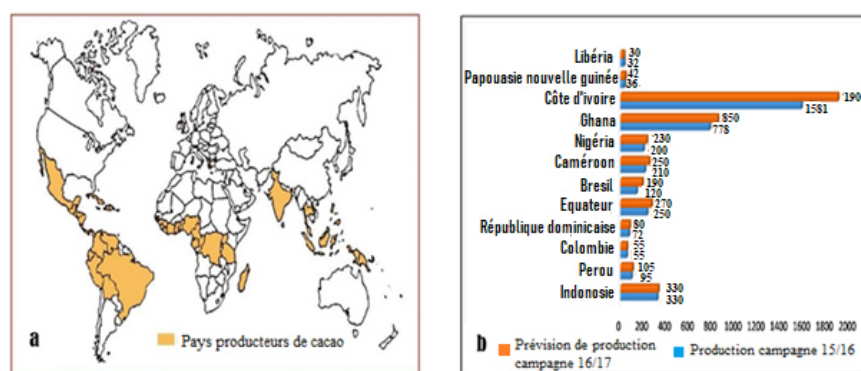


Figure 1. Répartition mondiale de la production cacaoyère incluant les Zones de production (a) et principaux pays producteurs de cacao dans le monde (b), (ICCO, 2017)

1.3. Morphologie

La morphologie du cacaoyer concerne la description des différentes parties de l'arbre : les racines, la tige, les feuilles, la fleur, le fruit et la graine. Les feuilles et les fleurs ne poussent que sur les parties ligneuses de l'arbre, le tronc ou les branches.

1.3.1. Système aérien

Le cacaoyer est un arbre de petite taille qui dépasse rarement 10 mètres de hauteur en plantation. Il se trouve dans les bas étages des forêts néo-tropicales, dont les conditions d'humidité, de pluviométrie, de température sont élevées et peu variables (Braudeau, 1969). (Figure 2).

La partie aérienne de l'arbre comprend deux types d'axes. Le premier axe concerne le tronc et les rejets orthotropes. Il a une croissance verticale. Le second axe renferme les branches et les ramifications plagiotropes à croissance sub-horizontale indéfinie et discontinue (Charrier, 1969 ; Vogel, 1978).

Les feuilles des zones d'ombrages sont entières, lancéolées, plus ou moins longuement pétiolées suivant les axes. Les feuilles d'ombre sont plus grandes, plus fines et plus riches en chlorophylle que celles de pleine lumière (Guers, 1971).

Les fruits sont des dupes coriaces appelés cabosses et apparaissent qu'au bout de la quatrième année sauf le cacao Mercedes qui donne des fruits à partir de 18 mois. Ils sont généralement de couleur verte ou rouge avant maturité et jaune, rouge ou orangé à maturité. Une cabosse mûre peut mesurer 15 à 25 cm de longueur, 10 à 15 cm de largeur et son poids moyen varie entre 400 et 500 g (Loor, 2007).

Les graines ou fèves de cacao sont plus ou moins bombées en forme d'amande, de 2 à 4 cm de long, 1 à 1,7 cm de large et 0,7 à 1,2 cm d'épaisseur. La graine est entourée d'une pulpe blanchâtre et collante qui est aigre-douce. Extérieurement, il se compose d'une coquille rose mince et dure, striée d'une fine membrane brillante translucide et de deux cotylédons (Mossu, 1990).

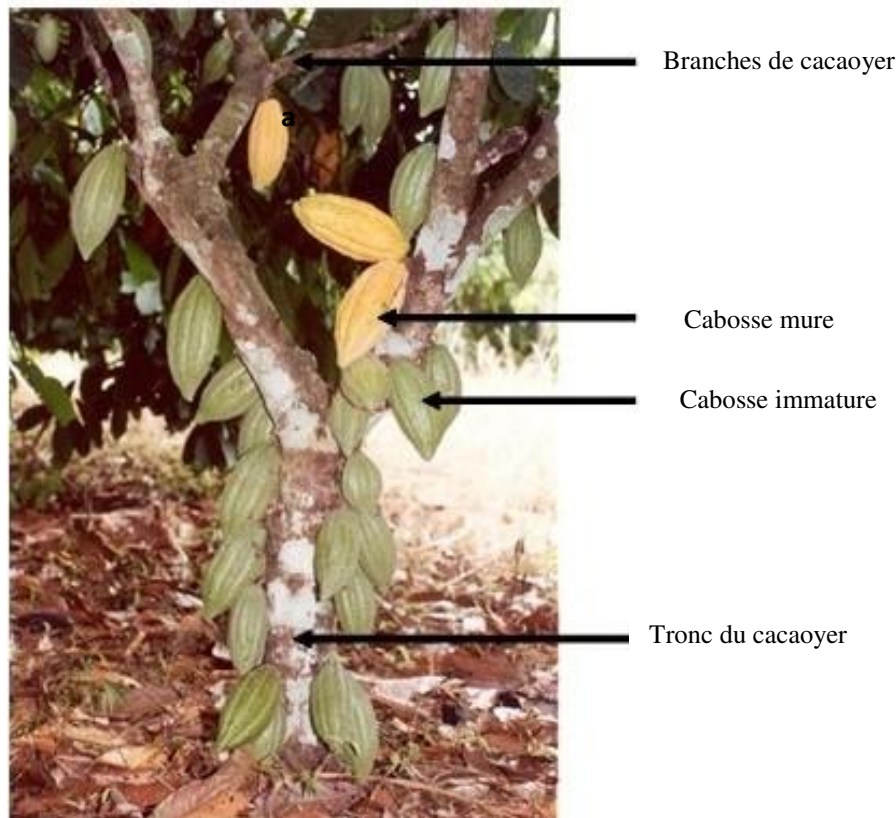


Figure 2. Architecture générale d'un cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) (Demol, 2002)

1.3.2. Système souterrain

Le système racinaire du cacaoyer comporte un pivot de longueur variable selon la nature du sous-sol (0,5 à 2 m) et des racines latérales très ramifiées exploitant la couche humifère du sol. Celles-ci peuvent se développer de façon irrégulière, jusqu'à un rayon de 5 à 6 m autour du cacaoyer (Mossu, 1990).

L'architecture du système racinaire subit des modifications en fonction des obstacles qu'il rencontre dans le sol (Mossu, 1990). En effet, pour le semenceau, après la germination, la racine connaît une croissance rapide et s'enfonce verticalement dans le sol, tandis que des racines secondaires émergent à la base de l'hypocotyle. Le pivot peut atteindre 30 à 40 cm au bout de quatre et cinq mois, et entre 70 à 80 cm après cinq à six ans (Braudeau, 1969). Sa

longueur peut varier de 0,80 à 1,50 m, voire jusqu'à 2 m autour de dix ans. Les racines latérales sont particulièrement nombreuses chez le jeune cacaoyer et se répartissent sur l'ensemble de la couche superficielle du sol. Les racines principales peuvent s'étendre jusqu'à 5 ou 6 m autour du cacaoyer. Leur croissance n'est pas toujours rectiligne et peut changer brusquement de direction en fonction des obstacles rencontrés dans le sol. (**Figure 3**).

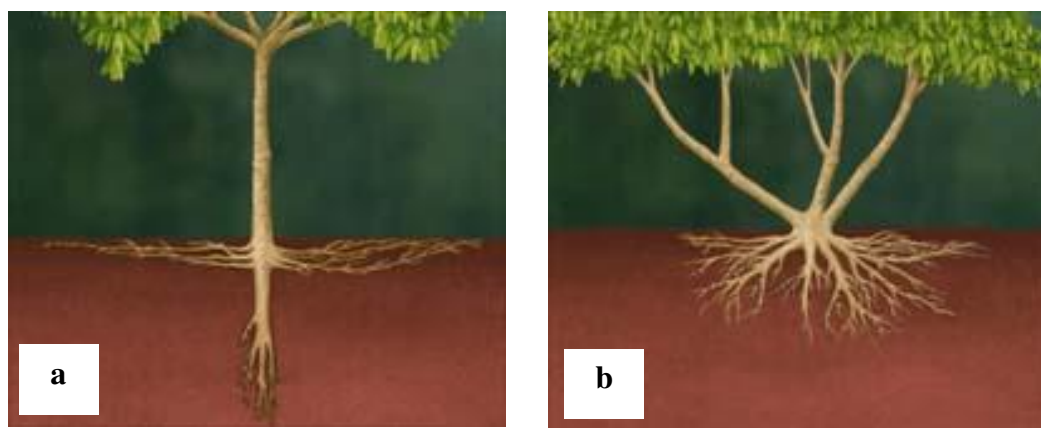


Figure 3. Représentation schématique du développement du système racinaire d'un semencé (a) et d'une bouture de cacaoyer (b), (M'BO *et al.*, 2015)

1.4. Diversité biologique des variétés cultivées

Il n'existe qu'une espèce de cacaoyer *Theobroma cacao* L., utilisée pour la production du chocolat, bien qu'elle comporte plusieurs variétés. La première classification de la diversité génétique de l'espèce *T. cacao* a été établie par Morris en 1882, en se basant sur trois groupes morpho-géographiques de cacaoyers cultivés dans le monde : Criollo, Forastero et Trinitario, qui constituent les principales variétés de cacao. Bien que ces groupes aient servi de fondement à la classification initiale du cacaoyer, ils ne reflètent plus fidèlement la véritable dimension, la structuration et la diversité génétique de cette espèce aujourd'hui. Néanmoins, cette représentation globale de la diversité génétique chez *T. cacao* demeure en usage, malgré son manque de précision et les nombreux échanges génétiques qui compliquent une classification rigoureuse (Motamayor *et al.*, 2002). La grande diversité de l'espèce *T. cacao* appelle à une réévaluation de sa classification génétique, comme l'ont montré les travaux réalisés sur les cacaoyers sauvages en Amérique Latine par Loo de la Cruz (2007).

1.4.1. Criollo

Le terme « Criollo » qui signifie indigène, a été attribué par les Espagnols au cacaoyer à cotylédons blancs cultivé à l'origine au Venezuela (**Figure 4**). Ce type de cacaoyer se caractérise par des cabosses allongées, pointues, verruqueuses et de couleur rougeâtre. Les

graines, quant à elles, sont dodues, rondes et présentent une couleur blanche ou légèrement pigmentées, avec une amertume modérée. Les Criollo se trouvent principalement en Amérique Centrale (Sud du Mexique, Belize, Honduras) ainsi que dans les pays situés au nord de l'Amérique du Sud (Pérou, Colombie, Venezuela). Cette variété produit un cacao de haute qualité, très aromatique, représentant seulement 1 à 2 % du cacao commercial. Cette variété est reconnue pour sa saveur raffinée, offrant le chocolat de la meilleure qualité. En effet, elle se distingue par des saveurs secondaires riches qui ont une longue durée en bouche (König, 2015). La variété Criollo inclut le cacao des Andes, la variété Porcellena, ainsi que le cacao provenant de régions côtières du Venezuela telles que Chuao, Ocumare et Cuyagua notamment dans l'Etat d'Aragua (Gutierrez et Pérez, 2015).



Figure 4. Cabosses de cacaoyer de la variété Criollo (Koffi, 2017)

1.4.2. Forastero

Le terme Forastero, qui signifie « étranger » en espagnol, désigne la variété de cacao introduite dans l'île de Trinité au Venezuela (**Figure 5**). Ces cacaoyers proviennent de Haute Amazonie (Adomako & Adu-Ampomah, 2003 ; Badrie *et al.*, 2015). Ils sont considérés comme plus robustes et plus productifs, représentant entre 80 à 90 % de la production mondiale. Ils se caractérisent par de bonnes caractéristiques agronomiques en termes de productivité et de résistance aux maladies (Despreaux, 1998). Cependant, leur saveur est plus amère et astringente, et leur goût en bouche est de courte durée. C'est pourquoi ils sont fréquemment mélangés à des variétés de qualité supérieure lors de la fabrication du chocolat.

Par ailleurs, la variété rencontrée dans le Nord de l'Equateur, connue sous le nom de cacao Nacional appartient également à la catégorie Forastero (Oracz *et al.*, 2015). Parmi les pays producteurs de forestario, figurent le Brésil, le Ghana, le Nigeria, la Côte d'Ivoire, la Nouvelle Guinée, le Sri Lanka, la Malaisie et l'Indonésie (Rusconi *et al.*, 2010).



Figure 5. Cabosse de cacaoyer de la variété Forastero (Kouadio, 2022)

1.4.3. Trinitario

Le cacaoyer Trinitario, originaires de l'île de Trinidad, résulte d'un croisement naturel entre les variétés Criollo et Forastero (**Figure 6**). Ils ont été introduits au XVII^e siècle par les colons espagnols (Pound, 1938 ; 1945). Ils sont cultivés sur les mêmes terres que le Criollo, et ont rapidement été adaptés dans plusieurs pays d'Amérique Centrale, ainsi que dans certaines régions du nord d'Amérique du Sud, notamment en Colombie, au Venezuela et en Equateur, sans oublier quelques pays d'Afrique et d'Asie du Sud-Est. Ces hybrides naturels très variés, présentent une bonne résistance aux maladies et constituent actuellement environ 20 à 25% de la production mondiale de cacao (Loor, 2007 ; Oro, 2011).

Botaniquement, ils affichent des caractéristiques intermédiaires entre les Criollo et les Forastero. Leurs fèves sont également de qualité intermédiaire, reconnue pour sa puissance aromatique et son goût plus raffiné, se rapprochant de celui des Criollo (König, 2015).



Figure 6. Cabosses de cacaoyer de la variété Trinitario (Koffi, 2017)

1.4.4. Autres types de variétés

Dans le cadre de la recherche approfondie de nouvelles variétés plus productives, plusieurs pays ont orienté leurs efforts agronomiques vers le développement de nouveaux hybrides adaptés aux besoins nationaux et aux politiques gouvernementales relatives à la production de masse de fèves de cacao destinées aux marchés internationaux.

1.4.4.1. Cacao Mercedes de Côte d'Ivoire

Face à l'obsolescence des anciennes variétés de cacao, le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) a développé une nouvelle variété dénommée "Mercedes", caractérisée par un rendement élevé de 2 à 3 tonnes par hectare (Guiraud, 2019). Cette variété se distingue par sa précocité, avec une entrée en production seulement 18 mois après plantation au lieu de 5 ans pour le cacao traditionnel. La variété "Mercedes" résulte de la combinaison de plusieurs familles d'hybrides, élaborées par le laboratoire de génétique du CNRA à Divo, en Côte d'Ivoire. Les fèves de la variété "Mercedes" présentent une richesse accrue en nutriments et en minéraux. La valeur calorique élevée des fèves de cacao des variétés "Mercedes" pourrait s'avérer particulièrement avantageuse pour les technologies de formulation alimentaire. Ces amandes peuvent également être recommandées en pharmacologie et en cosmétique, contribuant ainsi à un bon équilibre et au bon fonctionnement de l'organisme (Karim *et al.*, 2022)

1.4.4.2. Cacao Brésilien

La variété du cacao d'origine brésilienne est cultivée et améliorée par l'Institut de développement agricole (IRAD) du Cameroun. Cette variété a permis d'atteindre des rendements de 2 tonnes par hectare, ce qui a favorisé l'intérêt des producteurs. En comparaison, elle présente des rendements considérablement plus que ceux de la première variété dans les années 1970 et 1980, qui ne produisait qu'environ 1 tonne par hectare. De plus, elle fournit des semences de cacao de qualité supérieure, ce qui a éveillé l'intérêt de la population et à atténuer le problème de l'exode rural (Braudeau, 1969).

1.4.4.3. Cacao National d'Equateur

Le cacaoyer "Nacional" est une espèce propre à l'Equateur, se distinguant par ses cabosses de grande taille, de teinte verte et de texture très rugueuse (**Figure 7**). Cette variété est la seule cultivée dans cette région (Loor, 2007). Ses graines donnent des fèves particulièrement volumineuses (Tixier, 2013). Le cacao "Nacional" constitue une part modeste de la production mondiale de cacao. Les fèves provenant de ces cacaoyers se caractérisent par leur arôme délicat

et sont considérées comme des cacaos fins, très prisés par les chocolatiers (Counet *et al.*, 2004; Caligiani *et al.*, 2010 ; Chen-Yen-Su, 2014). Au cours des recherches, certains auteurs l'ont classé dans la catégorie Forastero (Fowler, 1952; Soria, 1996), tandis que d'autres l'ont identifié comme appartenant au type Criollo (Nosti, 1953; Enriquez, 1968). Plus récemment, des études ont montré qu'il serait étroitement lié aux Forastero qu'aux Criollo (Lerceteau *et al.*, 1997).



Figure 7. Cabosse de la variété "Nacional"(Tixier, 2013)

1.4.4.4. Cacao CCN-51- d'Equateur

La variété de cacao CCN-51, originaire de l'Equateur, est le résultat d'un croisement entre les variétés Nacional et la Trinitario (**Figure 8**). Le terme "Ariba" revêt deux significations : la première désigne la région d'où provient la production, tandis que la seconde fait référence aux caractéristiques aromatiques et gustatives qu'elle met en relief (Loor Solorzano, 2007). Ces fèves se caractérisent par un arôme sucré, présentant une faible acidité et amertume, ce qui leur confère une note floral semblable à celle de la fleur d'oranger (Chen-Yen-Su, 2014).



Figure 8. Cabosse de la variété CCN-51 (Chen-Yen-Su, 2014)

1.5. Conditions écologiques du développement du cacaoyer

Le cacaoyer est un arbuste qui se développe dans les sous-bois des forêts humides tropicales d'Amérique tropicale, se situant entre 20° de latitude Nord et 20° de latitude Sud, à des altitudes variant du niveau de la mer jusqu'à 1250 mètres (Braudeau, 1969 ; Läderach *et al.*, 2013). Le climat joue un rôle crucial dans la croissance et le développement de cette plante. Les principaux éléments climatiques influençant le cacaoyer incluent la température, l'humidité de l'air et l'ensoleillement. En effet, la température et les niveaux de pluie exercent une forte influence sur les rendements du cacaoyer (Zuidema *et al.*, 2005). Ce dernier est cultivé dans des zones où les températures oscillent généralement entre 18 et 21°C comme minimums et 30 et 32 °C comme maximums. Une pluviométrie annuelle idéale se situe entre 1500 et 2000 mm, sans descendre en dessous de 100 mm par mois (Zuidema *et al.*, 2005). Braudeau (1969) souligne que le cacaoyer nécessite une humidité relative annuelle moyenne comprise entre 70 et 100 % et un couvert végétal qui le protège des rayons directs du soleil et de l'évaporation. Ces conditions ne lui permettent cependant pas d'être considéré comme une plante d'ombrage.

Tous les types de sols ne conviennent pas à la culture du cacaoyer. Cette plante exige des sols profonds, riches en matière organique et en éléments minéraux (Kassin *et al.*, 2012). Les sols appropriés pour le cacaoyer doivent être aérés et bien drainés, avec une profondeur minimale de 1,5 m et une structure homogène qui favorise une bonne rétention d'eau, de préférence avec une structure argilo-sableuse (Koko, 2014). Dans la zone cacaoyère de la Côte

d'Ivoire, la plupart des sols sont ferralitiques présentant une somme de bases échangeables inférieure à 8 méq / 100 g de sol et un taux de saturation du complexe adsorbant en dessous de 80 %. Les sols favorables à la culture du cacaoyer doivent afficher un pH proche de la neutralité (entre 6,5 et 7), une bonne teneur en matière organique dans la couche superficielle, ainsi qu'un équilibre ionique adéquat des principaux éléments nutritifs, notamment les macronutriments (Ca, Mg, N, P, K, S) et les micronutriments tels que Fe, Mn, Zn, Cu, B, Ni (Loureiro, 2016). Les carences et les déficiences minérales entraînent des anomalies foliaires chez le cacaoyer, telles qu'une diminution de la taille des feuilles et un jaunissement du limbe (Braudeau, 1969) qui ne doivent pas être confondus avec les symptômes causés par des maladies virales et fongiques.

1.6. Pollinisation et biologie reproductive du cacaoyer

1.6.1. Floraison

Le cacaoyer commence à produire des fleurs entre la 2^e et 5^e années, et l'intensité de cette floraison est déterminée par la biologie florale de l'arbre (Mossu, 1990), ainsi que par des facteurs environnementaux tels que l'éclairement, la température et l'humidité (Boyer, 1970). L'anthèse débute généralement en fin d'après-midi et se termine tôt le matin, moment où le pollen devient immédiatement fonctionnel. Leur viabilité est limitée, ne dépasse pas 48 heures dans les conditions naturelles. L'ovaire renferme une quarantaine d'ovules. Un cacaoyer peut produire plusieurs milliers de fleurs chaque année mais moins de 1 % des fleurs arrivent à être fécondées et devenir des cabosses.

1.6.2. Pollinisation

1.6.2.1. Définition et caractéristiques générales de la pollinisation

La pollinisation est l'action de déposer des pollens sur le stigmate des fleurs. Il est possible qu'une fleur ait été pollinisée sans être fécondée, tandis qu'une fleur fécondée a nécessairement subi une pollinisation préalable.

Dans un contexte naturel, la configuration des éléments floraux ne favorise pas la pollinisation, qui est exclusivement entomophile, c'est-à-dire réalisée par des insectes. Chez le cacaoyer, les insectes du genre *Forcipomia* se révèlent particulièrement efficaces pour le transport des grains de pollens. Des études ont également montré que les fourmis du genre *Crematogaster* et les thrips visitent les fleurs du cacaoyer (Billes, 1941).

Près de 60 % des fleurs générées par le cacaoyer ne sont pas pollinisées et se détériorent après quarante-huit heures. Seules environ 5 % des fleurs qui ont été pollinisées reçoivent une quantité de grains de pollen suffisante pour assurer la fécondation de tous les ovules (Morton, 1997 ; Duarte & Paull, 2015). Cette problématique de sous-pollinisation chronique du cacaoyer a été observée et quantifiée dans divers pays d'Afrique et d'Amérique. Elle est influencée par des facteurs environnementaux et, notamment la densité et l'activité des insectes pollinisateurs. De plus, la quantité de pollen produite varie dans le temps et selon l'état de santé de l'arbre, joue également le rôle crucial.

1.6.2.2. Pollinisation croisée

La pollinisation croisée consiste à utiliser le pollen d'une fleur mâle et de le déposer sur le stigmate de la fleur femelle. Chez le cacaoyer, elle est réalisée par les insectes. En effet, les insectes participent à la fécondation des fleurs femelles de plantes (Patterson, 1990). Il est donc judicieux de planter deux arbres côte à côte pour garantir une pollinisation croisée efficace (Morton, 1987) et une bonne nouaison (Parra et Fischer, 2013).

1.6.2.3. Pollinisation manuelle

La pollinisation du cacaoyer peut se réaliser de façon naturelle (via les insectes) ou artificielle (manuelle) c'est-à-dire par l'intervention humaine. Le processus débute en fin d'après-midi avec une séparation progressive des sépales et se termine au début de la matinée suivante. La déhiscence des anthères, qui correspond à la libération des grains de pollen, coïncide avec l'ouverture du bouton floral (**Figure 9**). Les grains de pollen du cacaoyer, qui présentent une texture poudreuse, possèdent des propriétés adhésives. Ils deviennent immédiatement opérationnels dès l'ouverture de la fleur, mais leur viabilité ne dépasse pas 48 heures (De Reffye *et al.*, 1978)

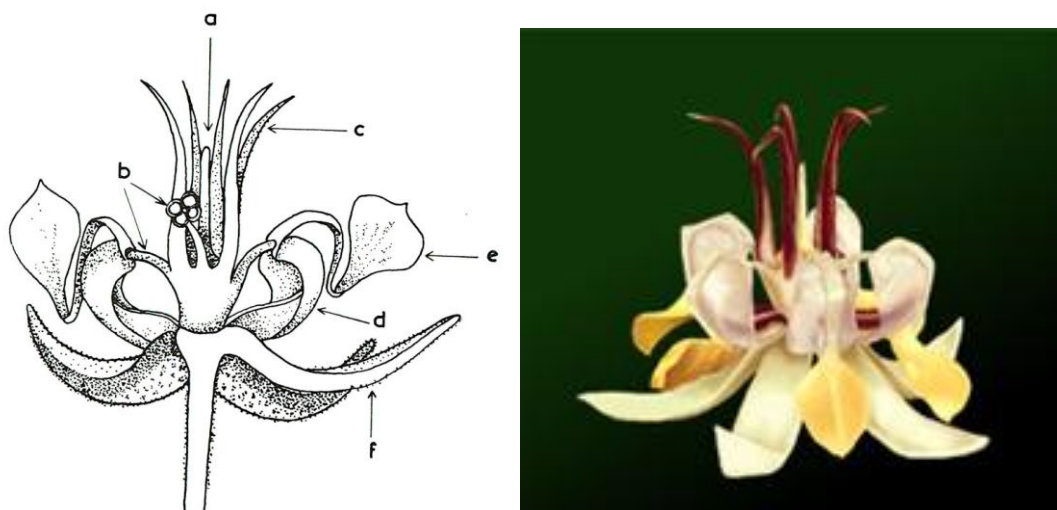


Figure 9. Fleurs de cacaoyer montrant (a) le style, (b) les anthères, (c) les staminodes, (d et e) la cuculle et la ligule (des pétales), (f) la sépale (Loor Solorzano, 2007)

Avant d'entamer les opérations des pollinisations manuelles, il est essentiel de réaliser plusieurs activités d'entretien dans les champs concernés. Ces activités incluent, le désherbage, la taille, l'égourmandage, les traitements phytosanitaires, de l'élimination des loranthus, des récoltes sanitaires et l'application d'engrais.

A l'aide d'une pince de pollinisation, les anthères sont retirées de la fleur mâle, enfermées dans la cuculle des pétales. Ces grains de pollen sont ensuite déposés sur le stigmate de la fleur femelle en tenant fermement le filet à l'aide d'une pince en frottant l'anthère contre celui-ci. Il est nécessaire d'utiliser une à deux étamines pour chaque fleur. Pour chaque fleur femelle nécessitant une pollinisation, il est possible d'utiliser une à deux étamines, car il est crucial de garantir qu'une quantité suffisante de pollen soit déposée sur le stigmate de la fleur à polliniser. Lors de la pollinisation, il faut faire preuve d'une attention particulière pour éviter de couper la fleur. Pour prévenir toute confusion entre les chérelles (jeunes fruits) résultant de la pollinisation manuelle et celles provenant de pollinisation naturelle, il est conseillé de marquer l'écorce aux emplacements où les fleurs ont été pollinisées manuellement. Une fois la pollinisation effectuée, le processus de fécondation s'ensuit. Le jeune fruit désigné sous le terme « Chérelle », évolue pour devenir une « cabosse » après environ trois mois. La maturité de la cabosse s'étend sur une période de cinq à six mois selon la variété.

1.7. Récolte et Activités post récoltes

La récolte des cabosses est suivie par des activités post-récoltes dans la préparation du cacao marchand. Il s'agit essentiellement du cabossage, de la fermentation et du séchage. Les traitements post-récolte jouent un rôle crucial dans la révélation du potentiel aromatique du

cacao (Cros *et al.*, 1997). Il est impératif que chaque phase du traitement post-récolte soit réalisée avec soin afin d'obtenir un produit marchand conforme aux normes de qualité établies (Mossu, 1990).

1.7.1. Récolte

Le développement des cabosses, depuis la pollinisation des fleurs jusqu'à la maturation des fruits, s'étend généralement sur une période de cinq à six mois. A ce stade, les cabosses subissent un changement de couleur, en passant par exemple, du vert au jaune et du rouge à l'orangé. La récolte s'effectue manuellement lorsque les cabosses atteignent leur maturité. Elle est réalisée à l'aide de machettes ou d'un sécateur pour les cabosses situées à la base du cacaoyer et à l'aide d'un émondoir pour les cabosses qui sont hors de portée. Il est essentiel de récolter à intervalles réguliers de dix à quinze jours, sans dépasser trois semaines (Mossu, 1990). Il est recommandé de ne pas endommager le coussinet floral, car celui-ci est responsable de la production des fleurs et les fruits des futures récoltes. De plus, il est important d'éviter les blessures qui pourraient permettre aux champignons parasites de pénétrer dans les tissus de l'arbre (Braudeau, 1969).

1.7.2. Cabossage

Le cabossage consiste à ouvrir les cabosses à l'aide d'un gourdin pour en retirer les fèves. Cette opération doit être effectuée dans un délai maximal de six jours après la récolte (Clapperton *et al.*, 1994). Afin d'éviter d'appauvrir le sol et de créer des sources potentielles de contamination des cabosses situées au bas du tronc des arbres, il est recommandé de creuser une fosse suffisamment large et profonde pour y déposer tous les débris de cabosses, ainsi que les cabosses pourries issues des récoltes sanitaires (Nielsen *et al.*, 2007). La technique la plus courante pour le cabossage consiste à utiliser un gourdin en bois, qui lorsqu'il est frappé sur la cabosse, provoque la séparation du fruit en deux hémisphères, facilitant ainsi l'extraction manuelle des graines attachées au placenta central. L'utilisation d'outils tranchants, tels la machette, bien que courante, doit être évitée afin de préserver l'intégralité des graines (Mossu, 1990). Pendant longtemps, il a été recommandé de procéder au cabossage immédiatement après la récolte. Cependant, plusieurs études ont démontré que le stockage des cabosses avant l'ouverture présente des avantages, notamment une réduction de l'acidité des fèves et une élévation plus rapide de la température durant la fermentation. La période optimale pour le cabossage varie, selon les auteurs et les régions de production, de 5 à 15 jours (Barel, 1997).

1.7.3. Fermentation

1.7.3.1. Caractéristiques générales

La fermentation constitue un processus permettant d'éliminer le mucilage des fèves via l'activité des micro-organismes en vue d'une meilleure qualité du cacao marchand. En effet, le processus de fermentation du cacao a un impact sur la qualité du cacao marchand (Barel, 1997 ; Pereira *et al.*, 2012). L'activité microbienne est d'autant plus améliorée lorsque la température tend vers 45 °C. En effet, l'activité des microorganismes est optimale quand la température atteint 40 °C (Papalexandratou *et al.*, 2011).

La fermentation du cacao peut être réalisée dans des caisses en bois, dans des plastiques perforés, dans des paniers ou en tas dans des feuilles de bananiers (Guéhi *et al.*, 2010 ; Lima *et al.*, 2011). Ce processus débute au plus tard 24 heures après l'écabossage et s'étend de 2 à 3 jours pour le cacao Criollo, tandis qu'il dure de 5 à 7 jours pour les variétés Forastero et Trinitario (Afoakwa *et al.*, 2008 ; Lima *et al.*, 2011). La fermentation est arrêtée lorsqu'un certain nombre de caractéristiques typiques sont réunies. Ce sont entre autres le gonflement des fèves, l'odeur de la masse des fèves, la couleur brune des cotylédons, la chute de la température.

Par ailleurs, les réactions biochimiques au sein des cotylédons sont déclenchées par l'élévation de la température de la masse en fermentation, ainsi que par la migration de l'acidité ou l'acide acétique de la pulpe vers la fève. L'action combinée de la température et de l'augmentation de l'acidité conduit non seulement à la mort de l'embryon, mais également à une lyse partielle des parois cellulaires qui conduit à la mise en contact des divers enzymes et leurs substrats respectifs (Ouattara *et al.*, 2010). Ce processus global favorise le développement des précurseurs aromatiques du chocolat, réduit l'astringence et ajuste l'amertume à un niveau agréable (Schwan & Wheals, 2004). La modification la plus importante qui intervient au niveau des cotylédons au cours de la fermentation est l'apparition des précurseurs de l'arôme chocolat. Ces substances, qui comprennent entre autres des acides aminés libres et des monosaccharides, sont capables de donner aux fèves de cacao, après torréfaction, la saveur et l'arôme caractéristiques recherchées par les industriels (Mossu, 1990). Ainsi, la fermentation est une étape essentielle pour les futurs caractères organoleptiques du chocolat. Si la fermentation n'est pas bien conduite, l'arôme typique de chaque variété de cacao ne se développera pas de manière optimale (Portillon, 2006).

1.7.3.2. Rôle de la fermentation

Un grand nombre de travaux réalisés sur la fermentation montrent, de manière générale, que cette opération est classée parmi les plus importantes de la technologie post récolte du cacao (Amin *et al.*, 1997 ; Anne, 2008). La fermentation permet aux fèves de subir un ensemble de transformations (Zak *et al.*, 1973) dont le rôle essentiel est :

- d'éliminer la majeure partie de la pulpe mucilagineuse ;
- de provoquer la mort de l'embryon par l'élévation de la température et la présence des acides lactique et acétique empêchant ainsi la germination ultérieure de celui-ci (Lagunes-Galvez *et al.*, 2007 ; Kostinek *et al.*, 2008);
- de favoriser le brunissement des fèves sous l'effet des polyphénoloxydases ;
- de modifier la composition biochimique des graines permettant la diminution de l'amertume et l'astringence (Timbie *et al.*, 1978 ; Gill *et al.*, 1984) ;
- l'augmenter le taux de précurseurs d'arôme de chocolat.

La fermentation des fèves de cacao est réalisée immédiatement après l'écabossage qui est pratiqué au champ dans la plupart des cas. Par l'écabossage, les fèves initialement stériles dans les cabosses sont exposées à l'air ambiant (Ardhana et Fleet, 2003). Le mucilage sucré, dont le pH est acidulé grâce à l'acide citrique qu'il contient, est aussitôt contaminé par les micro-organismes véhiculés soit par simple contact avec les mains des travailleurs ou avec le matériel utilisé pour le transport et le traitement des fèves, soit par les nombreux microorganismes et insectes attirés par le mucilage sucré (Koffi *et al.*, 2013). Parmi ces microorganismes figurent essentiellement les bactéries acétiques et les levures dont le développement est favorisé par le pH acide, la richesse en sucre et la faible teneur en oxygène de la masse (Breaudau, 1969 ; Barel, 1997). La fermentation est en effet, une opération très complexe qui consiste en deux catégories de réactions : des réactions fermentaires vraies qui se déroulent dans la pulpe (Afoakwa *et al.*, 2013) et des réactions biochimiques qui ont lieu au sein des cotylédons (Barel, 1985 ; 1997). Trois types de fermentations prennent place dans la pulpe : la fermentation alcoolique, la fermentation lactique et la fermentation acétique (Schwan & Wheals, 2004).

1.7.3.3. Techniques de fermentation

1.7.3.3.1. Fermentation en panier

La fermentation en panier est une pratique ancienne utilisée au Nigeria, qui consiste à réaliser la fermentation dans des paniers confectionnés avec des fibres végétales pouvant être de toutes dimensions et contenir des quantités très variables de graines, allant de 10 à 150 kg.

Les paniers remplis sont posés sur le sol ou sur des tables et recouverts de feuilles de bananiers. Le brassage s'effectue par transvasement des fèves d'un panier dans un autre (Wood & Lass, 2001 ; Afoakwa *et al.*, 2013 ; Hamdouche, 2015 ; Ogunwolu *et al.*, 2018).

1.7.3.3.2. Fermentation en tas dans les feuilles de bananiers

La fermentation en tas dans les feuilles de bananiers est pratiquée en Afrique et particulièrement en Afrique de l'Ouest. Elle consiste à déposer les graines sur un tapis de feuilles de bananiers, elles-mêmes posées sur un lit de branchages qui facilite le drainage des jus. L'avantage de cette technique est la diminution du nombre de brassage et l'assurance d'un meilleur échange gazeux entre les fèves et le milieu extérieur. La fermentation en tas ne protège pas les fèves contre la variation de température (Barel, 1985 ; Wood & Lass, 2001 ; Schwan & Wheals, 2004 ; Afoakwa *et al.*, 2014). Le tas de graines est recouvert de feuilles de bananiers.

1.7.3.3.3. Fermentation en caisse

La fermentation en caisse est pratiquée dans des caisses de dimensions variables. Les caisses en bois ayant 50 x 50 x 50 cm de dimensions intérieures et pouvant contenir 80 à 85 kg de graines, permettent d'obtenir une fermentation dans de bonnes conditions. Il faut prévoir quatre caisses de ce type pour traiter une tonne de cacao marchand, c'est-à-dire la récolte d'environ un hectare. Des bacs de fermentation en matière plastique ont été proposés notamment en Côte d'Ivoire ; ces bacs, gerbables pour faciliter le brassage, contiennent 80 kg de graines (Asiedu, 1991 ; Mossu, 1990). Dans les grandes exploitations, l'on utilise généralement des séries de caisses volumineuses pouvant contenir plus d'une tonne de graines. Les caisses de fermentation doivent obligatoirement comporter des trous de drainage et d'aération. Lorsque la caisse est remplie, le cacao est recouvert de feuilles de bananiers, afin de favoriser l'ensemencement naturel de levures et de bactéries. Les brassages sont effectués par transvasement de la masse d'un bac dans un autre (ou par gerbage lorsqu'il s'agit de bacs en plastique). Cette opération est facilitée par le retrait de cloisons amovibles et par la disposition en cascade des séries de caisses (Braudeau, 1969 ; Mossu, 1990 ; Asiedu, 1991 ; Wood & Lass, 2001 ; Schwan & Wheals, 2004 ; Afoakwa *et al.*, 2014 ;).

1.7.3.4. Facteurs intervenant dans la fermentation

Les facteurs qui interviennent lors de la fermentation sont la maturité des cabosses, l'état sanitaire des cabosses et des fèves, le type de matériel végétal, les variations de climat et saisons, la durée de fermentation (Mossu, 1990).

➤ *Maturité des cabosses*

Les graines des cabosses mûres fermentent normalement, tandis que celles des cabosses non mûres ne fermentent pas correctement. Enfin, les cabosses trop mûres peuvent contenir des graines germées qui créent des défauts de fermentation (Afoakwa *et al.*, 2013 ; Hamdouche, 2015 ; Wood & Lass, 2001).

➤ *Etat sanitaire des cabosses et des fèves*

Toutes les cabosses sont cueillies mais, seules les cabosses mûres dont les fèves ne sont pas pourries ou endoagées sont utilisées pour la préparation du cacao marchand. Les autres sont éliminées. Ce principe n'est hélas que très peu respecté dans de trop nombreux pays producteurs (Schwan & Wheals, 2004 ; Afoakwa *et al.*, 2014)

➤ *Type de matériel végétal*

La durée de fermentation est relativement courte deux à trois jours tandis que celle des Forastero et des Trinitario s'étend sur quatre à six jours et parfois plus (Wood & Lass, 2001 ; Afoakwa *et al.*, 2014 ; Schwan & Wheals, 2004)

➤ *Variations de climats et de saisons*

La quantité de mucilage et la qualité physique des fèves varient considérablement en fonction des variations climatiques. En effet, plus la période de sécheresse est longue plus la qualité des fèves est médiocre (fèves accolées et dépourvues de mucilage). Également plus la saison des pluies est trop longue, plus le taux de cabosses pourries au champ sera élevé (Afoakwa *et al.*, 2014 ; Kongor *et al.*, 2016)

➤ *Durée de la fermentation.*

La fermentation doit être réalisé suivant un protocole de temps et de température bien déterminé. Un cacao sous-fermenté présente des fèves encore violettes qui donneront un produit amer et astringent. Par contre, une fermentation trop prolongée présente de grave danger d'aboutir à un cacao de fort mauvais goût dû à un début de fermentation putride (Mossu, 1990 ; Kongor *et al.*, 2016 ; Afoakwa, 2018).

1.7.3.5. Développement des propriétés organoleptiques durant la fermentation

Le saccharose et les constituants protéiniques sont partiellement hydrogénés. Les composants phénoliques oxydés et le glucose sont convertis en alcool puis oxydés en acide

acétique et lactique durant la fermentation (Afoakwa *et al.*, 2013). Les fèves subissent alors une phase d'hydrolyse anaérobie suivie par une condensation aérobie (Misnawi *et al.*, 2020). La concentration des précurseurs de flaveur dépend du mécanisme enzymatique et le changement de couleur intervient avec l'hydrolyse des composés phénoliques par la glycosidase (Konan *et al.*, 2023).

1.7.4. Séchage et stockage des fèves

Un bon séchage est caractérisé par la qualité des graines obtenues, notamment par sa couleur brune, son goût moins astringent, moins amer et moins acide et l'absence d'autres saveurs comme le goût de cuit ou de fumé. Les méthodes utilisées pour le séchage du cacao peuvent être classées en deux types principaux, qui sont le séchage naturel ou solaire et le séchage artificiel (Braudeau, 1969).

1.7.4.1. Séchage au soleil (séchage naturel)

Le séchage au soleil (séchage naturel) est le plus simple et aussi le plus fréquemment employé dans le plus grand nombre des pays producteurs. Il dépend bien évidemment des conditions climatiques et nécessite en général huit à quinze jours d'exposition des fèves (Akmel *et al.*, 2008). Il consiste à étaler les fèves en couches de 3 à 4 cm sur des aires cimentées. L'usage de cette modalité expose à un fort risque de surchauffe qui amène les fèves à cuire au lieu de sécher. De plus, une aire cimentée non protégée des intempéries se fissure et permet aux moisissures de s'y fixer et de contaminer ensuite les produits. Le séchage peut également être réalisé sur des bâches ou des nattes. L'avantage de cette modalité par rapport au cas précédent, tient du fait que les fèves sont isolées du sol et peuvent être rapidement rassemblées en tas puis protégées en cas de pluies. Il faut donc pouvoir disposer de surfaces importantes (1m² pour 20 kg de fèves). Ce procédé permet d'avoir des périodes de repos ce qui laisse le temps à l'acide acétique de diffuser entre les couches. Le séchage permet également, durant les premiers jours, la poursuite des réactions biochimiques qui ont débuté pendant la fermentation. Un troisième type de séchage naturel, le plus recommandé est réalisé sur des claies surélevées. Le séchage est lent et dure au moins 7 jours en plein soleil, les fèves semblent développer pleinement leurs caractéristiques aromatiques. Avec le séchage solaire la bonne qualité gustative avec une faible acidité résiduelle est obtenue.

1.7.4.2. Séchage artificiel

Le séchage artificiel est une méthode généralement utilisée lorsque les conditions climatiques ne sont pas favorables au séchage solaire ou lorsque les quantités de fèves sont trop

importantes que les surfaces de séchage. Le séchage artificiel du cacao s'effectue généralement dans les régions où les conditions climatiques sont humides (Owusu-Boateng & Owusu, 2015). Dans ce cas, les exploitants du cacao utilisent alors le séchage artificiel réalisé à partir de séchoirs à gaz et/ou aux feux de bois, de systèmes électriques. Les formes les plus simples de séchoirs artificiels sont les séchoirs à convection ou de type Samoa qui se composent d'un flux simple de chaleur émanant d'une chambre de combustion et d'une plate-forme de séchage perméable au-dessus

1.7.4.3. Développement des propriétés organoleptiques durant le séchage

Le développement des précurseurs de saveur contenus dans les fèves de cacao se poursuit durant la phase de séchage avec le développement de la couleur marron. Pendant le séchage, la réaction d'oxydation est catalysée par le polyphénol oxydase qui élève la flaveur et induit le brunissement de la membrane de la graine (Afoakwa, 2010).

L'intérêt du séchage est dans un premier temps d'abaisser le taux d'humidité des graines. Les réactions de fermentation sont arrêtées et cela favorise les réactions d'oxydation des polyphénols, ce qui permet une meilleure conservation des fèves. De plus, il augmente la teneur en pyrazines et autres molécules aromatiques tels que les aldéhydes, les cétones et les furannes (Voigt *et al.*, 1994). Lorsque le séchage est trop lent, cela peut occasionner le développement de moisissures, ce qui est un défaut très grave pour le cacao marchand. Par contre, si le séchage est trop rapide, les réactions d'oxydation peuvent être empêchées et l'acide acétique peut rester emprisonné dans les cotylédons, développant ainsi un excès d'acidité (Afoakwa *et al.*, 2013). L'acidité est due à la présence d'acides volatils et non volatils, parmi lesquels les plus importants sont les acides acétique, citrique et lactique (Kongor *et al.*, 2016). L'acide acétique est, pour sa plus grande part, éliminé pendant la phase d'usinage mais l'acide lactique, non volatil, est maintenu tout au long du séchage et de l'usinage. Il est reconnu que les fèves séchées au soleil sont moins acides que celles séchées artificiellement. Au cours du séchage, il faut, dans toute la mesure du possible, éliminer les fèves défectueuses telles que les fèves plates, les fèves germées et les débris de fèves ainsi que tous les corps étrangers (ICCO, 2020).

1.7.4.4. Stockage des produits

Le producteur avant la livraison, l'exportateur avant l'expédition, l'industriel avant l'utilisation sont amenés à stocker les fèves de cacao prêt à l'emploi en chocolaterie. Les fèves de cacao qui ont été bien séchées et qui comportent très peu de défauts, ne sont pas transformées

directement. Avant leur utilisation ou leur exportation, elles sont emballées dans des sacs en jute propres et non infectés par les insectes. Les sacs sont généralement stockés dans des entrepôts propres qui les protègent des intempéries et assurent un taux d'humidité bas et stable. Il est recommandé de poser les sacs sur des palettes afin d'éviter tout contact avec les parois du local et ses murs en ciment. Par ailleurs, durant l'entreposage du cacao marchand, celui-ci ne doit pas être contaminé par des odeurs ni par des fumées. En milieu tropical humide, les conditions atmosphériques (température et hygrométrie élevées) ne sont pas propices à une bonne conservation du cacao marchand sur une longue durée (Barel, 1997).

1.8. Composition chimique et biochimique du cacao marchand

1.8.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

La majorité des bactéries prospèrent dans des environnements dont le pH se situe entre 4,5 et 9,0, avec un optimum autour de 6,5 à 7,0. Toutefois, certaines exceptions, comme les bactéries acétiques et lactiques, peuvent tolérer des pH inférieurs à 4,5. Les champignons, quant à eux, présentent une résistance à l'acidité, leur optimum se trouvant entre 4 et 6, avec des plages extrêmes de 2 à 9 pour les levures et de 2 à 11 pour les moisissures (Saïd *et al.*, 1990). La qualité de l'arôme du cacao dépend de divers facteurs, notamment les technologies post-récoltes utilisées, le type de variété et les conditions de torréfaction (Jinap *et al.*, 1995 ; Misnawi *et al.*, 2004).

1.8.2. Sucres réducteurs

Les sucres réducteurs jouent un rôle crucial dans les réactions de Maillard ainsi que dans les dégradations de Strecker, contribuant ainsi à la formation des arômes présents dans le chocolat et la liqueur. Selon les travaux de Keeny (1972), la quantité de composés aromatiques générés après le processus de torréfaction est directement liée à la concentration initiale de sucres réducteurs, tels que le glucose et le fructose. Leur teneur est influencée par la méthode de fermentation, ainsi que par la température et la durée de la torréfaction (Reineccius *et al.*, 1972 ; Bonvehi et Coll, 2000).

1.8.3. Théobromine et caféine du cacao

La théobromine (**Figure 10a**) est un alcaloïde, une substance organique produite par des organes végétaux. Connue sous le nom de 3,7-diméthylxanthine, sa formule chimique est $C_7H_8N_4O_2$, avec une masse molaire 180,164 g/mol. Ce composé amer appartient à la famille des méthylxanthines, et constitue environ 1,2 % de la matière sèche du cacao. Son effet

stimulant, bien que moins prononcé que celui de la caféine présente dans le café, lui confère une importance physiologique notable. Une tasse de cacao renferme approximativement 0,1 g de théobromine et 0,01 g de caféine (**Figure 10b**). Dans les fèves de cacao fermentées, la théobromine est souvent associée aux tanins libérés par la formation d'acide acétique durant le processus de fermentation. Une partie de cette théobromine migre ensuite vers la coque de la fève (Belitz *et al.*, 2009 ; Sotelo et Alvarez, 1991). La théobromine joue un rôle dans l'amélioration de l'humeur des consommateurs de cacao. De plus, cette substance posséderait des propriétés diurétiques, vasodilatatrices et cardiostimulantes. Elle possède également des propriétés lipolytiques, ce qui explique son utilisation dans certains produits pharmaceutiques destinés à la perte de poids.



Figure 10 : Structures chimiques de la théobromine (a) et de la caféine (b).

1.8.4. Protéine et acides aminés

Les protéines constituent environ 60 % de la teneur totale en azote des fèves de cacao fermentées, représentant 16,85 % de leur composition et formant 10 à 15 % du poids sec des fèves de cacao séchées, ce qui est en fait le deuxième composant le plus abondant après la graisse de cacao (Zak & Keeney, 1976 ; Dja *et al.*, 2000). L'azote non protéique présent dans les fèves fermentées se trouve principalement sous forme d'acides aminés libres, environ 0,3 % est sous forme d'amides et 0,02 % sous forme d'ammoniac, ce dernier étant produit lors de la fermentation des fèves, ainsi que des méthylxanthines telles que la théobromine et la caféine (Bertazzo *et al.*, 2013). La composition totale en protéines des fèves de cacao se divise en 43 % d'albumine et 52 % de globuline (Voigt *et al.*, 1993 ; Bertazzo *et al.*, 2013). L'albumine est caractérisée comme une protéine de stockage de 21 kDa possédant des propriétés inhibitrices de la trypsine (Kochhar *et al.*, 2000 ; Bertazzo *et al.*, 2013), tandis que la globuline est décrite comme une protéine de stockage globulaire similaire à la viciline, composée de trois sous-unités de poids moléculaire de 47, 31 et 15 kDa, dérivées d'un précurseur commun de 66 kDa (Spencer *et al.*, 1992 ; Bertazzo *et al.*, 2013 ; Dionlaine *et al.*, 2015).

1.8.5. Lipides

Les lipides représentent la fraction grasse des organismes vivants et sont des substances synthétisées tant par les végétaux que par les animaux. Ils possèdent une activité biologique significative et peuvent parfois engendrer des effets indésirables. Ces composés présentent une variété de fonctions, notamment en tant que réserve d'énergie, constituants des membranes cellulaires, messagers inter et intracellulaires, ainsi que substrats métaboliques, entre autres (Ivanova *et al.*, 2007 ; Subramaniam *et al.*, 2011). Les fèves de cacao revêtent une importance commerciale considérable à l'échelle mondiale, principalement en raison de leur rôle en tant qu'ingrédient essentiel dans la fabrication du chocolat. Un des critères majeurs de qualité du cacao est sa teneur lipidique (Fowler, 2008). La graisse constitue environ 50 % du poids des fèves de cacao et est exploitée pour la production de beurre de cacao, qui est l'un des produits les plus prisés issus de la fève et un facteur déterminant de sa valeur sur le marché (Fernandez, 2001)

1.8.6. Acides gras libres

Une concentration élevée en acides gras libres (AGL) de la fève de cacao entraîne un ramollissement du beurre de cacao, ce qui le rend indésirable. Dans de nombreux pays, la teneur en AGL du beurre de cacao est soumise à des réglementations. L'Union européenne fixe une limite de 1,75 %. Il est donc étonnant qu'aucune restriction similaire ne soit stipulée dans les contrats concernant les fèves de cacao. Des fèves bien préparées présentent une faible teneur en AGL. En revanche, une teneur élevée résulte de pratiques post-récolte inadéquates, telles que l'inclusion de fèves noires et pourries issues de cabosses malades, ainsi que de fèves germées provenant de cabosses trop mûres. Le niveau des fèves augmente durant la période de stockage (Guehi *et al.*, 2008). Des améliorations sont envisageables dans ce domaine, notamment en intégrant une limite maximale d'AGL dans les spécifications et les contrats relatifs aux fèves de cacao. L'industrie européenne, par le biais de son association, s'engage actuellement dans cette direction. Le beurre de cacao constitue entre 50 à 57 % du poids sec de fèves de cacao et joue un rôle crucial dans les propriétés de fusion du chocolat. Les acides gras prédominant dans sa composition sont principalement des acides gras saturés, notamment l'acide stéarique (18 : 0), représentant 35 %, et acide palmitique (16 : 0), à hauteur 25 % (Bracco, 1994). De manière générale, une consommation élevée d'acide gras saturés est associée à un risque accru de maladies coronariennes, en raison de leur capacité à élever le cholestérol total ainsi que le cholestérol-LDL (Grundey, 1994 ; Lairon, 1997). En revanche, les acides gras insaturés sont reconnus pour leur effet bénéfique en réduisant les facteurs de

risque athérogènes (Keys *et al.*, 1986 ; Ascherio *et al.*, 1996). L'acide stéarique se distingue des autres acides gras saturés par son absence d'impact sur les niveaux de cholestérol et cholestérol-LDL dans le sang (Tholstrup *et al.*, 1994 ; Bonanome *et al.*, 1998). Cette particularité pourrait s'expliquer par divers facteurs, tels que la longueur de la chaîne carbonée (Kritchevsky, 1994 ; Redgwell *et al.*, 2003).

1.8.7. Polyphénols

Depuis de nombreuses années, des études sont menées pour identifier les polyphénols présents dans le cacao. Ces composés, que l'on retrouve dans les cotylédons des plants de cacao, jouent un rôle crucial dans la physiologie du cacaoyer. D'après les recherches de Mazid *et al.* (2011), ces polyphénols sont essentiels à la croissance des jeunes plants. En outre, ils contribuent de manière significative à la production de cacao, comme le soulignent Oracz *et al.* (2015). Il convient également de mentionner que les conditions de culture varient d'une région à l'autre, chaque cacaoyer ayant des besoins spécifiques (Jalil et Ismail, 2008). Pour identifier les polyphénols permettant de distinguer les différentes variétés de cacaoyer, plusieurs éléments doivent être pris en compte, notamment les conditions climatiques et agronomiques (Rusconi et Conti, 2010). Ces deux facteurs sont essentiels pour l'accumulation des polyphénols dans les plants de cacaoyers (Oracz *et al.*, 2015). De manière similaire au cacaoyer, les fèves de cacao et les produits dérivés du cacao représentent une source importante de polyphénols alimentaires (Cooper *et al.*, 2007 ; Rimbach *et al.*, 2009 ; Rusconi et Conti, 2010 ; Badrie *et al.*, 2015), constituant une part significative du poids sec des fèves de cacao et du chocolat, notamment dans le chocolat noir (Rusconi et Conti, 2010). Le cacao est riche en monomères, oligomères et polymères de flavanols. Environ 380 composés chimiques ont été identifiés dans le cacao, dont 10 sont jugés psychoactifs. À l'état naturel, les fèves de cacao présentent une concentration élevée de polyphénols, ce qui leur confère une saveur particulièrement amère. Les polyphénols présents dans les fèves de cacao représentent environ 12 à 18 % de leur poids sec (Bravo, 1998), ce qui rend les fèves crues pratiquement immangeables en raison de leur amertume et de leur astringence (Harwood, 2013 ; Khan *et al.*, 2014). Les polyphénols présents dans le cacao, sont responsables de l'astringence et contribuent aux saveurs amères (Tixier, 2013). Selon Wollgast et Anklam (2000), les catéchines, les anthocyanes et les proanthocyanidines sont parmi les polyphénols les plus significatifs des fèves de cacao. Sur les 8000 structures phénoliques identifiées, seulement 4000 flavonoïdes ont été répertoriés (Harborne & Williams, 2000 ; De Pascual-Teresa *et al.*, 2000 ; Steinberg *et al.*, 2003 ; Cheynier, 2005).

1.9. Technologie de transformation du cacao et l'évaluation sensorielle du cacao marchand

1.9.1. Technologie de transformation

1.9.1.1. Nettoyage et calibrage du cacao marchand

Les fèves de cacao, arrivent dans les structures de transformation (industries de chocolateries) dans l'état dans lequel elles ont quitté les plantations, les coopératives et les exportateurs des pays producteurs. Les fèves subissent un nettoyage préliminaire qui permet d'éliminer par tamisage les petits cailloux et autres particules indésirables provenant des sacs (Braudeau, 1969). Elles passent ensuite sur une bande transporteuse qui les amène d'abord vers des silos, puis de là, vers les installations de nettoyage et de calibrage. Par la suite, le vannage est réalisé avec des tamis, des brosses, des soufflets, des aspirateurs et séparateurs magnétiques en vue de débarrasser le cacao de tous corps étrangers et impuretés telles que ficelles, cailloux, bois, métal, morceaux de cabosses, fèves agglomérées ou brisées, poussière, sables, débris de sac, qui s'y sont mêlés après la récolte et au cours du voyage. Le calibrage permet de classer les fèves par catégories de taille homogène (Pontillon, 1998).

Au sortir des diverses machines, les fèves font l'objet d'un examen soigneux au cours duquel sont éliminées celles qui n'ont pas le degré de maturité souhaité ou qui présentent des défauts, ainsi que toute impureté restée accrochée. Les fèves saines nettoyées et calibrées sont ensuite rassemblées dans des conteneurs ou bien directement acheminées vers les installations de torréfaction à l'aide de bandes transporteuses (Mossu, 1990).

1.9.1.2. Torréfaction

La torréfaction est une étape très importante pour la transformation du cacao. Elle consiste à passer le cacao sous une chaleur sèche (100 à 140 °C) pendant une durée bien déterminée (20 à 40 minutes). La torréfaction a plusieurs impacts sur le cacao. En premier lieu, elle permet le développement de l'arôme chocolat à partir des précurseurs ainsi que l'élimination des composés volatiles indésirables (Serra & Ventura, 2002). Dans un second temps, elle garantit l'élimination des bactéries et moisissures qui peuvent se trouver sur le cacao (Ioannine *et al.*, 2015). Elle facilite l'opération de décorticage par le détachement de la coque de l'amande sous l'effet de la chaleur et, permet d'avoir une amande plus friable. Enfin, elle abaisse le taux d'humidité des fèves à 1,5-2 %. La torréfaction est effectuée dans un cylindre métallique animé d'un mouvement rotatif en industrie et en étuve dans des laboratoires d'analyses sensorielles. La chaleur uniformément répartie pénètre la fève sans brûler la coque.

Le degré de torréfaction est extrêmement important. En effet, si la durée de torréfaction est élevée, elle détruit l'arôme naturel de la fève. Inversement, si elle est insuffisante, il est difficile d'éliminer les pellicules.

La température de torréfaction varie en fonction de la variété des fèves de cacao, de leur texture et de leur parfum. Les variétés les plus délicates (Criollo et Trinitario) sont généralement torréfiées à des températures plus basses (90°C et 120°C) que les variétés les plus corsées (120°C et 140°C) afin d'optimiser le développement des arômes (Delattre, 1995).

Par ailleurs, le taux d'humidité (inférieur à 8,5), le grainage (taille des fèves), le type de séchage et le degré de maturité sont pris en compte lors de la torréfaction. L'opération diffère selon le produit visé et il est conseillé de torréfier à une température plus élevée les fèves destinées à la fabrication du cacao en poudre.

Une fois grillées, les fèves chaudes sont déversées dans un refroidisseur (cuve hermétique, ventilée par air froid) le plus rapidement possible. Ce refroidissement brutal permet d'arrêter la torréfaction (pour éviter que le processus ne se poursuive à l'intérieur de la graine), de préserver les principes aromatiques du cacao et d'empêcher le passage d'une partie de la matière grasse dans la coque.

1.9.1.3. Concassage, décortilage et dégermage

Fraichement torréfiées, les fèves sont acheminées vers des concasseurs qui les décortiquent afin de séparer coque, tégument, amande et germe. Les coques et téguments sont enlevés par une puissante aspiration (Jannel *et al.*, 1997). Les germes sont triés des amandes sur des tamis vibrants. A ce stade, le rendement moyen d'une fève peut être estimé à 80 % d'amande.

1.9.1.4. Matériel végétal composite (mélange)

Le mélange de fèves issues de différentes variétés de cacaoyers permet de maintenir la qualité constante et la saveur propre à chaque produit en dépit de la diversité de provenance des cacaos. Le mélange des fèves consiste à utiliser les mêmes quantités de diverses variétés pour produire la masse de cacao. Il exige de la part du chocolatier un immense savoir-faire et la connaissance des arômes caractéristiques des diverses variétés.

1.9.1.5. Broyage et affinage

Les fèves concassées (nibs) sont finalement broyées à chaud à une température de 50 à 70 °C dans des moulins à cacao qui les réduisent en fines particules. Le résultat du broyage est

une pâte fluide épaisse et odorante, brune foncée, dite « pâte de cacao » ou encore « liqueur de cacao ». La pâte de cacao peut être maintenue fluide à la chaleur, ou moulée et refroidie; elle porte alors le nom de « masse de cacao ». Cette étape est suivie d'un second broyage, l'affinage, qui a pour effet de réduire la granulation des particules solides en une taille imperceptible à la langue et au palais (généralement entre 20 et 30 microns). La pâte de cacao est un produit naturel qui contient environ 50 % de beurre de cacao.

1.9.1.6. Obtention des produits dérivés du cacao

1.9.1.6.1. Beurre de cacao

La matière grasse est extraite de la pâte de cacao. Cette préparation a été réalisée dès 1695. Elle est obtenue par l'application de fortes pressions, dans des presses hydrauliques, sur la pâte de cacao portée à une température de 100 °C (Hill *et al.*, 1994). C'est une matière fluide à l'arôme prononcé qui une fois filtré est totalement limpide. Elle est ensuite éventuellement neutralisée, raffinée, décolorée et désodorisée. En cosmétique le beurre de cacao est un ingrédient important dans la formulation des produits hydratants pour sa richesse en vitamine E. Il entre aussi dans la fabrication des savons et des mixtures exotiques (Julio & Carmen, 2003). En industrie pharmaceutique, il est utilisé dans la fabrication des produits de massage.

1.9.1.6.2. Poudre de cacao

Après pressage de la pâte de cacao pour en extraire le beurre de cacao, il reste une masse solide appelée tourteau qui contient encore de 10 à 20 % de matière grasse selon l'intensité de la pression. Celle-ci est ensuite concassée, pulvérisée et tamisée pour donner le cacao en poudre (Girard, 1984). Au cours de ces opérations, la température s'élève sous l'effet de friction. Une ventilation intense permet de s'y opposer pour que la poudre conserve sa légèreté, son homogénéité et sa couleur brune (Harwich, 2008). Par contre, si un traitement par alcalinisation a eu lieu au préalable, la poudre de cacao est dite solubilisée et prend une coloration plus accentuée. Après adjonction au cacao en poudre de divers additifs : sucres, arôme, lait en poudre, on obtient toute la gamme de poudres chocolatées, cacaotées largement utilisées pour la préparation de boissons chaudes ou froides et petits déjeuners instantanés (Harwich, 2008). Elle est le point de départ de la fabrication de plusieurs autres produits tels que les bonbons, des biscuits, le chocolat. La poudre de cacao est utilisée pour la fabrication de breuvage à base de cacao au Brésil.

1.9.1.6.3. Chocolat et arôme

Le chocolat est un mélange de pâte de cacao dégraissé ou non, additionnée d'une quantité variable de beurre de cacao, de sucre et suivant les cas, de lait et d'arômes (Aprotosoia *et al.*, 2016). Tout art du chocolatier consiste à obtenir un mélange intime de pâte de cacao et du sucre (Girard, 1984 ; Braudeau, 1969). La première étape après l'obtention de la masse et du beurre est le malaxage. Cette étape a pour objectif principal de mélanger les différents ingrédients pour obtenir un pétrin, mais aussi d'homogénéiser le mélange obtenu. La deuxième étape consiste en un broyage du pétrin pour obtenir une pâte plus fine en réduisant la granulation du mélange. Cela s'effectue dans des cylindres de plus en plus resserrés. Après ce broyage, la taille des particules est comprise entre 20 et 25 μm . L'étape suivante est le conchage qui est un malaxage à chaud dans une conche correspondant à un bassin en fonte. La pâte est alors soumise à une agitation constante et soutenue durant une période qui varie entre 12 heures et 1 semaine. C'est lors de cette étape que le chocolat va acquérir ses caractéristiques intrinsèques qui vont déterminer son niveau de qualité (Chen, 2014). Le taux d'humidité du cacao tombe alors à 1 %. L'étape qui suit est le tempérage. A cet effet, le chocolat est transféré dans des cuves de tempérage où il est refroidi à une température fixée pour permettre la cristallisation du beurre de cacao. C'est l'un des points critiques de la fabrication du chocolat du fait de la diversité des acides gras constituant le beurre de cacao. En effet, ils possèdent tous leur propre point de fusion. Cette opération va permettre de donner au chocolat son aspect brillant, sa texture croquante et fondante. L'avant dernière opération est le mélange. Durant cette opération, différents ingrédients supplémentaires comme des noisettes, du riz soufflé ou encore des amandes peuvent être ajoutés pour s'adapter aux goûts des consommateurs. Enfin, le chocolat peut être utilisé pour réaliser des moulages ou enrobages. Il est coulé dans des moules ou nappé autour d'intérieurs à enrober et est refroidi à 6 °C. Ceci permet d'obtenir par exemple des plaquettes, des bonbons de chocolats ou encore des pâtes à tartiner (De Brito *et al.*, 2001 ; Kongor *et al.*, 2016).

1.9.2. Evaluation sensorielle du cacao marchand

1.9.2.1. Définition

L'évaluation sensorielle est la science qui permet d'étudier les caractéristiques sensorielles des produits en faisant intervenir l'homme comme instrument de mesure à partir de ses cinq sens : l'odorat, le goût, la vue, l'audition et le toucher (Depledge & Sauvageot, 2002). Elle permet d'étudier différents problèmes ou de répondre à diverses questions posées par le fabricant et est utilisée dans de nombreux domaines.

1.9.2.2. Différentes méthodes d'analyse sensorielle

L'analyse sensorielle permet la mesure des propriétés sensorielles des aliments. Cette mesure est réalisée par un panel de sujets experts sensoriels, préalablement sélectionnés et entraînés, qui vont évaluer les produits de façon objective et répétable (Bauer *et al.*, 2010). Elle peut être effectuée également par des sujets naïfs.

1.9.2.1. Tests discriminatifs

Les tests de discrimination permettent de comparer des produits proches d'aspect et de déterminer une perception statistique de différence. Les méthodes de ces tests comprennent les tests triangulaires, duo-trio, par paire, de classement. Les avantages de ces tests sont qu'ils sont faciles à mettre en œuvre et leur dépouillement statistique est aisé. Ils présentent des inconvénients comme l'indication uniquement en termes de différence, obligation d'un échantillonnage précis, obtenu dans les mêmes conditions et d'une préparation à la dégustation identique.

1.9.2.2. Test descriptifs

Les tests descriptifs s'apparient sur des grilles de critères qui permettent de caractériser plus finement un produit suivant ces différentes composantes sensorielles (aspect extérieur, odeur, goût, texture). Ils sont très utilisés par les jurys de dégustation de produits labellisés ou dans des concours (Dairou & Sieffermann, 2002).

1.9.2.3. Tests hédoniques

Les méthodes hédoniques portent sur les préférences des consommateurs et ont pour but de comparer l'appréciation hédonique globale de différents produits en se focalisant sur les ressentis individuels liés au plaisir ou déplaisir provoqué par l'aliment. Contrairement à l'analyse sensorielle descriptive, ces méthodes font appel à des sujets naïfs n'ayant eu aucune pratique de l'analyse sensorielle (Stone & Sidel, 2004). De plus, le recrutement de ces derniers est généralement ciblé sur un groupe spécifique de consommateurs de l'univers produit des échantillons testés. Le nombre de sujets recommandé par les normes AFNOR (NF V09-500, 2012) pour ce type de test est de 60 consommateurs en raison de trente individus par sexe. Dans les méthodes hédoniques, il y a deux grandes familles. Les tests de préférence regroupant l'épreuve de classement et l'épreuve par paire. Par simplification l'épreuve par paire peut être définie comme une épreuve simplifiée de classement avec uniquement deux échantillons. Lors d'une épreuve de classement, il est demandé aux sujets de hiérarchiser les produits en fonction de leur caractère agréable selon différents critères (goût, texture, visuel...). Un test de Friedman

est généralement appliqué afin d'analyser les données issues de cette épreuve. Ces techniques ne renseignent aucunement sur le niveau d'acceptabilité des produits et de leurs écarts d'appréciation. Les tests de notation visent à capturer le statut hédonique d'un ou plusieurs produits dans le but de les comparer. Pour cela il est demandé aux sujets de noter les produits présentés généralement successivement, sur une échelle dite d'intervalle pouvant être numérique, sémantique ou encore visuelle.

DEUXIÈME PARTIE :
MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Sites d'étude

L'étude a été réalisée sur quatre années consécutives (2021, 2022, 2023 et 2024) au sein des stations de recherche du CNRA situées à Divo, à Bingerville, à Soubré et en milieu paysan, à Bouaflé (**Figure 11**).



Figure 11 : Carte de la Côte d'Ivoire montrant les sites d'études

2.1.1. Station de recherche CNRA de Divo

La Station de Recherche de Divo se trouve à environ 200 km de la ville d'Abidjan, précisément à 17 km de celle de Divo, sur la route menant à Guitry. Ses coordonnées géographiques sont de 5° 48' de latitude nord 5° 18' de longitude ouest. Cette zone présente un climat tropical humide, avec une végétation dominée par des forêts denses et humides. Les sols affichent un pH acide variant entre 5,2 et 6 sur une profondeur d'un mètre, et sont caractérisés par la présence de Ferralsol (Kassin *et al.*, 2012). En moyenne, la station reçoit environ 1200 mm de précipitations annuelles, accompagnées d'une hygrométrie élevée (Konaté *et al.*, 2016). Les activités de recherche matérialisées par la collecte de données sur les fèves de cacao et la création de descendances par la pollinisation contrôlée ont été réalisées au sein de sept parcelles

dans cette station. Il s'agit des parcelles E5/1, Test Orientatif, jardin clonal, WCF, ICRAF, AI4 et Di9.

2.1.2. Station de recherche CNRA-SRT de Bingerville

La Station de Recherche Technologique (SRT) du CNRA à Bingerville a servi à la réalisation des analyses physico-chimiques et sensorielles. Le site de recherche est situé au sud de la Côte d'Ivoire, dans la région d'Abidjan entre 5°17 et 5°31 de latitude Nord et entre 3°45 et 4°31 de longitude Ouest. Il s'agit d'un laboratoire moderne équipé et spécialisé dans les analyses sensorielles et physico-chimiques. La quasi-totalité des analyses physico-chimiques et organoleptiques des échantillons de fèves de cacao de ce travail ont été réalisés au sein de ce laboratoire.

2.1.3. Station de recherche annexe CNRA de Soubré

La Station de Recherche de Soubré, se trouve à 368 km d'Abidjan et à 12 km de la ville de Soubré, sur la route menant à Méagui. Elle est localisée dans la région de la Nawa, au sud-ouest de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 5° 35'32'' et 5° 58'44'' Nord et les longitudes 6° 34'24'' et 6° 36'00'' Ouest. Elle couvre une superficie de 9 643 km² (INS, 2015). Cette région bénéficie d'un climat subéquatorial marqué par deux saisons de pluies (d'avril à juin et de septembre à novembre) et deux saisons sèches (de juillet à août et de décembre à mars). La pluviométrie annuelle est relativement élevée, oscillant entre 1 203 mm et 1 392 mm, avec une température moyenne mensuelle de 25,8 °C (Evi *et al.*, 2007). La végétation y est dominée par des forêts denses et humides sempervirentes. Dans le cadre de cette étude, les activités de collecte de données agronomiques de recherche ont été menées au sein de la parcelle Test Orientatif (TO).

2.1.4. Parcelle d'essai en milieu paysan à Bouaflé

La ville de Bouaflé constitue un point de jonction entre la zone forestière et la savane. Le climat de cette région présente une pluviométrie annuelle moyenne oscillant entre 800 et 900 mm, une hygrométrie variant de 68 à 85 %, ainsi qu'une température moyenne annuelle comprise entre 25 et 30 °C (INS, 2015). La végétation de Bouaflé se distingue par la présence d'une forêt au sud et à l'ouest, tandis que le Nord et l'Est sont dominés par une savane arborée (Assemian *et al.*, 2018). Le relief de la région est relativement plat, constitué de bas plateaux, de quelques bas-fonds et de collines dont l'altitude moyenne atteint 260 mètres. Les sols y sont de type ferrallitique et hydromorphe, notamment le long des rivières Bandama et Marahoué (INS, 2015). En prélude à l'évaluation multilocale des performances d'hybrides issus du

programme d'amélioration variétale, un essai a été mis en place en stations de recherche (Divo et Soubré) et en milieu paysan (Bouaflé). Dans le cadre de cette étude, les activités de recherche ont été réalisées en milieu paysan à Bouaflé au sein de la parcelle Test Orientatif (TO) de Bouaflé.

2.2. Matériel

2.2.1. Matériel végétal

2.2.1.1. Matériel végétal utilisé pour la caractérisation technologique, physico chimique, phyto-chimique, biochimique et sensorielle des clones et familles d'hybrides en cours de sélection

Le matériel végétal utilisé pour cette étude est constitué de fèves de cacaoyers potentiellement hauts producteurs et résistants au champ à la pourriture brune des cabosses. Il s'agit de clones et de familles d'hybrides en cours de sélection.

○ Clones du CNRA

Le matériel végétal clonal est composé des fèves de six clones (**Tableau I**) à la fois hauts producteurs et résistants au champ à la pourriture brune des cabosses d'un essai clonal (E5/1). Ces clones ont été plantés à la station de recherche de Divo dans un essai d'observation clonale.

Tableau I. Liste des 6 clones étudiés et leurs généalogies

Clones	Parcelles	Codes	Généalogies
C5	E5/1 Divo	D15/2L98A4	T79/501 x IFC1
C9	E5/1 Divo	C2/1L109A2	PA121 x IMC 67
C21	E5/1 Divo	C2/1L333A11	PA150 x C4
C24	E5/1 Divo	A21IFC1040	IFC 1040
C26	E5/1 Divo	D15/2L37A3	NA32 x IFC5
C131	E5/1 Divo	E4/3L217A9	SCA6 x PA150

○ Familles d'hybrides du CNRA

Le matériel végétal est composé des fèves de quatre familles d'hybrides de l'essai Test Orientatif de Divo plantées en station de recherche du CNRA (Divo et Soubré) et en milieu paysan (Bouaflé). Les quatre familles d'hybrides utilisées dans cette étude ont été sélectionnées

au champ à la station de recherche de Divo pour leur bonne productivité et résistance à la pourriture brune des cabosses (**Tableau II**).

Tableau II. Liste des 4 familles d'hybrides de l'essai du test Orientatif de Divo

Familles	Généalogies
F22	[(MO81 x T60/887) x (SCA6 x T60/887)] X [(UF676 x IFC303) x IFC18]
F28	(SCA6 x PA150) X [(UF676 x IFC303) x IFC18]
F26	UPA 409 X POR
F41	GU 139 A X (E4/3-2 x C2/1-1)

F= Famille d'hybride

2.2.1.2. Matériel végétal utilisé pour l'étude de l'effet de l'origine génétique du grain de pollen sur la qualité des fèves de cacao

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est composé des fèves de 9 familles d'hybrides issues d'un factoriel 3 x 3 (**Tableau III**). Il s'agit d'un croisement factoriel composé de trois géniteurs femelles (C20, T79/501 et UPA 409) et trois géniteurs mâles (POR, C151-61 et IMC67), tous inter-compatibles entre eux. Les géniteurs femelles sont localisés à la station de Divo dans le jardin clonal WCF pour C20, le jardin clonal ICRAF pour T79/501 et dans le champ semencier AI4 pour UPA409.

Tableau III. Plan de croisement factoriel 3 x 3 pour la création de 9 familles d'hybrides

		Géniteurs mâles		
		POR	C151-61	IMC67
Géniteurs femelles	C20	C20 X POR	C20 X C151-61	C20 X IMC67
	T79/501	T79 /501 X POR	T79 /501 X C151-61	T79 /501 X IMC67
	UPA409	UPA409 X POR	UPA409 X C151-61	UPA409 X IMC67

Géniteurs femelles = C20, T79/501 et UPA 409

Géniteurs mâles = POR, C151-61 et IMC67

2.2.1.3. Matériel végétal utilisé pour l'évaluation multilocale des hybrides pour la qualité technologique physico chimique, biochimique et sensorielle des fèves de cacao en zones à pluviométries contrastées

Le matériel végétal est composé des fèves de familles d'hybrides du Test Orientatif plantés en essai multilocale. Il s'agit de quatre familles d'hybrides du Test Orientatif installé en 2014 à la fois en zones de pluviométrie déficitaire dans la localité de Benou à Bouaflé et en zones de pluviométrie normale sur les sites de la Station du CNRA à Divo et à Soubré (**Tableau IV**).

Tableau IV. Liste des 4 familles d'hybrides et leurs généalogies

Familles	Généalogies
F22	[(MO81 x T60/887) x (SCA6 x T60/887)] X [(UF676 x IFC303) x IFC18]
F28	(SCA6 x PA150) X [(UF676 x IFC303) x IFC18]
F26	UPA 409 X POR
F41	GU 139 A X (E4/3-2 x C2/1-1)

2.2.1.4. Matériel végétal utilisé pour l'évaluation de l'effet d'ajout de substances aromatiques sur les caractéristiques chimique et sensorielle des fèves de cacao

Le matériel végétal est composé de fèves de cacao de deux clones du CNRA. Il s'agit du clone IMC67 (Forastero Haut Amazonien) connu pour une qualité sensorielle élevée de la pulpe et du clone IFC5 (Amelonado), connu pour sa qualité sensorielle médiocre de la pulpe. Ces deux clones ont été représentés chacun par au moins une trentaine d'arbres adultes plantés dans les jardins clonaux et parcs à bois de la Station du CNRA à Divo.

2.2.2. Matériel chimique utilisé pour l'analyse de la qualité des fèves

Les standards d'acides organiques utilisés (acide citrique, acide oxalique, acide ascorbique, acide succinique, acide malique, acide fumarique, acide shikimique, acide tartrique, acide benzoïque, acide propionique et acide butyrique), l'acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique (ABTS), la vitamine C et le Folin-Ciocalteu proviennent de chez Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany). Quant aux standards de composés phénoliques (acide gallique, acide caféique, acide vanillique, acide vératrique, acide férulique, acide coumarique, quercétine, catéchine et rutine) et l'acétonitrile, ils sont des produits de Merck (Darmstadt, Germany). Le chlorure d'aluminium est de chez Sigma Chemical Co (St. Louis, MO, USA). Le chlorure de fer (III) a été acheté chez Merk (KGaA, Darmstadt, Germany). Le méthanol vient du Prolabo (Paris, France). Tous les autres produits chimiques sont de qualité analytique.

2.3. Méthodes

2.3.1. Obtention des fèves de cacao marchand pour chaque population analysée

2.3.1.1. Fèves de cacaoyers en cours de sélection

➤ Dispositif expérimental

○ Parcelle clonale E5/1 de Divo

La caractérisation technologique a été réalisée sur six clones issus de l'essai clonal E5/1 de la station de recherche de Divo. Il s'agit d'une parcelle d'observation clonale composée d'un bloc de 38 lignes de 5 pieds suivant un écartement de 3 m x 2,5 m pour une superficie de 0,29 ha. Cette parcelle renferme 27 clones parmi lesquels, six utilisés pour cette étude, en raison de leur bonne productivité et résistance au champ à la pourriture brune des cabosses.

○ Parcelle d'hybride Test Orientatif de Divo

La caractérisation technologique a été réalisée sur quatre familles d'hybrides issues du Test Orientatif (TO) implanté à la station de recherche de Divo. Il s'agit d'une parcelle comportant un bloc de 36 lignes de 24 arbres plantés suivant un écartement de 3 m x 2,5 m pour une superficie de 0,62 ha. Cette parcelle renferme 44 familles parmi lesquelles, quatre identifiées pour leur bonne productivité et résistance au champ à la pourriture brune des cabosses, ont été utilisées pour cette étude.

2.3.1.2. Création de descendance issues de pollinisations manuelles utilisées pour la détermination de l'influence du grain de pollen sur la qualité des fèves

Pour l'évaluation de l'origine du grain de pollen sur la qualité technologique des fèves, un plan de croisements (factoriel 3x3) impliquant trois géniteurs femelles (C20, T79/501 et UPA409) et trois géniteurs mâles (POR, C151-61, IMC67) a été élaboré en vue de la création de neuf descendance issues de pollinisations manuelles contrôlées.

➤ Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental pour la création de neuf descendance a été composé de trois géniteurs femelles regroupant 225 cacaoyers issus de trois parcelles clonales (Ai4, Di9 et Jardin clonal) de la station de recherche de Divo. Ces cacaoyers ont été identifiés sur la base de leur bonne vigueur et de leur phénologie. Ainsi, pour la création des neuf familles hybrides, 25 cacaoyers ont été utilisés pour chaque géniteur femelle. Les géniteurs mâles constitués de trois

clones (POR, C151-61 et IMC67) sont localisés au sein des parcelles clonale (WCF et Jardin clonal ICRAF).

➤ Pollinisation contrôlée

La pollinisation manuelle a été réalisée de façon contrôlée en vue d'éviter les risques éventuels de contamination du pollen. Elle a consisté au dépôt du grain de pollen de la fleur mâle sur le stigmate de la fleur femelle. Elle a été préférentiellement réalisée très tôt le matin.

En prélude à la pollinisation manuelle, un isolement des boutons floraux est réalisé. Le processus a démarré par l'isolement des boutons floraux des pieds mâles et femelles via l'utilisation de manchons fixés à l'arbre à l'aide de la pâte à modeler. Cet isolement se fait préférentiellement la veille de l'ouverture des boutons floraux. Les manchons sont constitués de tubes en matière plastique d'environ 5 cm de long dont l'une des extrémités est fixée à l'arbre et l'autre fermée avec un tissu. Trois jours après la pollinisation, les manchons ont été retirés et les fleurs nouées, restent accrocher à l'arbre pollinisé. Les cabosses issues de la pollinisation ont été récoltées cinq mois plus tard (**Figure 12**).

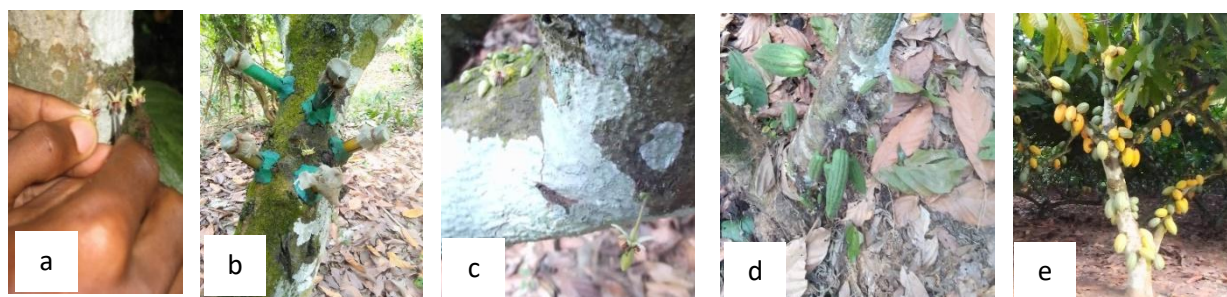


Figure 12. Techniques de pollinisation manuelle contrôlée (Assi, 2022)

a : Dépôt du pollen sur le stigmate de la fleur ; **b :** Isolement des fleurs pollinisées avec des manchons ; **c :** Marquage des fleurs pollinisées ; **d :** Cherelles issues de pollinisation manuelle ; **e :** Cabosses issues de pollinisation manuelle

2.3.1.3. Fèves de cacaoyers utilisées pour l'évaluation multilocale des familles hybrides

➤ Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental pour l'évaluation multilocale d'hybrides sur la qualité technologique des fèves est un essai (Test Orientatif) en split plot à deux facteurs dont le premier facteur est la zone de production avec trois niveaux. Il s'agit de la localité de Divo (zone à pluviométrie normale), la localité de Bouaflé (zone à pluviométrie déficitaire) et la localité de Soubré (zone à pluviométrie normale). Le second facteur est la variété avec quatre niveaux. Il s'agit des familles d'hybrides F22, F28, F26 et F41. Dans chacune des trois localités, les parcelles ont été installées suivant le même dispositif expérimental. Chaque parcelle est

constituée d'un bloc de 36 lignes de 24 arbres suivant un écartement de 3 m x 2,5 m et une superficie de 0,62 ha.

2.3.1.4. Fèves de cacaoyers utilisées pour l'étude de l'effet d'ajout de substances aromatiques

➤ Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental pour l'étude de l'effet d'ajout de substances naturelles sur la qualité sensorielle du cacao a été un bloc de Fisher de cinq traitements aromatiques de 3 répétitions par clone. Pour chaque répétition, 500 cabosses ont été utilisées, à raison de 100 cabosses par clone et par traitement (**Figure 13**).

Dans le premier traitement, une quantité de 450 g de la pulpe de banane douce qui équivaut à 5 % de la masse de cacao en fermentation a été ajoutée comme ingrédient aromatique à la masse des fèves des deux clones. Cet ajout a été réalisé 24 h après la fermentation dans les caisses de 9 litres.

Dans le deuxième traitement, une quantité de 450 g de la pulpe de banane plantain qui équivaut à 5 % de la masse de cacao en fermentation a été ajoutée comme ingrédient aromatique à la masse des fèves des deux clones 24 h après la fermentation dans les caisses de 9 litres.

Au niveau du troisième traitement, une quantité de 360 g de jus de mandarine qui équivaut à 4 % de la masse de cacao en fermentation a été ajoutée comme ingrédient aromatique à la masse des fèves des deux clones après 24 h de fermentation dans les caisses de 9 litres.

Dans le quatrième traitement, une quantité de 36 g d'une solution d'Akpi qui équivaut à 0,4 % de la masse de cacao en fermentation a été ajoutée comme ingrédient aromatique à la masse des fèves des deux clones après 24 h de fermentation dans les caisses de 9 litres.

Le cinquième traitement a été le témoin. Aucun ingrédient n'a été ajouté à la masse de fèves en fermentation dans les caisses.



Figure 13. Fèves de clones IMC67 et IFC5 en fermentation dans des caisses sous ajout de substance aromatiques

2.3.1.4.1. Production de cacao marchand par la méthode de fermentation ANIMA

○ Récolte et mise en repos des cabosses

Dans le cadre de cette étude, 250 cabosses saines et mûres par clone (IMC67 et IFC5) ont été récoltées très tôt le matin, étiquetées et transférées à la plateforme de fermentation où elles ont été entreposées pour la mise en repos pendant 24 h afin d'améliorer le drainage.

○ Cabossage suivi du tri des fèves

Vingt quatre (24) heures après la récolte, le cabossage a été réalisé sur les cabosses des deux clones (IFC5 et IMC67). Il a consisté en l'ouverture des cabosses à l'aide de gourdins pour éviter d'endommager les fèves. Après l'ouverture de chaque cabosse, les fèves résultantes sont séparées en deux catégories déterminant chacune, un grade donné (grade A ou grade B) en fonction de leur qualité. Ainsi, pour chaque type de matériel végétal :

- le grade A a regroupé toutes les fèves en bon état, les fèves caractérisées par un mucilage abondant et blanchâtre. Ces fèves ont été placées dans des sceaux bien identifiés ;
- le grade B a regroupé toutes les autres fèves de la cabosse, les fèves germées, endommagées, brisées, plates avec peu ou dépourvues de mucilage blanchâtre. Ces dernières ont été également placées dans des sceaux bien identifiés.

La **figure 14** présente pour le même type de matériel végétal, les fèves du grade A face à celles du grade B



Figure 14. Fèves de grade A et de grade B

○ Drainage

Le drainage a pour but de réduire la quantité de jus de fèves fraîches de cacao obtenu après le cabossage. Pour chaque clone mis à l'épreuve, les fèves, séparées en grade A et grade B, sont placées dans des sacs en plastique, eux-mêmes disposés sur des bambous en dessous desquels, est dressée une bâche plastique noire permettant de recueillir le jus s'écoulant des sacs (**Figure 15**). Cette opération est réalisée grâce à un dispositif en pente. Le drainage a été réalisé pendant 24 h avant le début de la fermentation. L'importance du drainage est de développée des arômes à travers les réactions biochimiques qui se produisent pendant la fermentation sont favorisées par ce drainage. Ces processus modifient les cotylédons des fèves, leur donnant leur couleur brune caractéristique et développant les arômes du cacao.



Figure 15. Dispositif pour une opération de drainage

○ **Fermentation ANIMA**

La fermentation ANIMA a consisté en la conservation des fèves de cacao des clones IMC67 et IFC5 dans un dispositif permettant l'augmentation de la température et des activités des microorganismes en vue de débarrasser les fèves de leur mucilage. Le processus de fermentation ANIMA regroupe les différentes étapes ci-après :

▪ **Préparation et remplissage des caisses pour fermentation ANIMA**

La méthode ANIMA utilise la micro fermentation (**Figure 16**). Il s'agit d'une fermentation en mini caisses en bois perforées. Les caisses de fermentation ont été remplies avec les fèves de grade A présentant des perforations verticales de 1,5 à 2,0 cm de diamètre au sein de la masse de fèves. Le bâton utilisé pour la perforation peut mesurer de 1,5 à 2,0 cm de diamètre et doit avoir une pointe arrondie pour ne pas abîmer les fèves. Après remplissage, les mini caisses de fermentations ont été fermées à l'aide de sacs en jute pour permettre au processus de fermentation de démarrer.



Figure 16. Fermentation des fèves de cacaoyer suivant la méthode ANIMA

- **Brassage**

Pendant le processus de fermentation, des brassages ont été réalisés chaque jour après la mise en fermentation. Le brassage a consisté à mélanger les fèves en les renversant dans une autre mini caisse du même type. Après brassage, de nouvelles perforations ont été réalisées dans la masse en fermentation et les mini caisses ont été aussitôt refermées pour éviter de provoquer une importante chute de température.

- **Suivi de la température et durée de fermentation**

Au cours de la fermentation, une sonde thermique a été utilisée pour mesurer la température de façon journalière à l'intérieur de la masse en fermentation. La température a été enregistrée chaque matin avant le brassage de la masse de cacao et également chaque soir. Elle a été mesurée au milieu de la masse de cacao et à mi-hauteur de la caisse.

La durée de fermentation ANIMA peut varier normalement entre 2,5 et 4 jours en fonction de l'amertume et la quantité de pulpes des fèves fraîches dans les variétés. Le protocole ANIMA, indique qu'il faut arrêter la fermentation lorsque le thermomètre enregistre une faible température après avoir atteint les 45 °C.

- **Séchage des fèves**

Le séchage des fèves a été réalisé suivant le protocole proposé par ANIMA (**Figure 17**). Il a été réalisé sur des claies en hauteur. Les fèves ont été exposées à l'ombre dans un endroit ventilé pendant 24 h pour éliminer toute amertume ou astringence résiduelle des fèves fermentées. Au cours de cette étape, la masse de cacao a été recouverte de feuilles de bananiers. Par la suite, les fèves ont été exposées au soleil les jours suivants pendant 3 heures (entre 9 h et 12 h) puis sous un hangar à l'ombre pendant 3 heures de temps avant de les refermer avec une toile moustiquaire. A partir du 3^{ème} jour de séchage, les fèves sont restées en plein soleil jusqu'en fin d'après-midi à 16 h. Tout au long du séchage, la qualité physique et l'arôme des fèves ont été évalués.



Figure 17. Séchage à l'ombre des fèves réalisé suivant le protocole ANIMA

2.3.2. Détermination des paramètres technologiques

Les données technologiques ont été collectées au laboratoire sur les cabosses et les fèves de cacao marchand obtenues pour chacune des études. Trente (30) cabosses ont été récoltées par clone ou par famille d'hybrides au cours des principales campagnes. Elles ont par la suite été étiquetées et transférées au laboratoire pour la collecte de données portant sur les fèves. Les paramètres technologiques mesurés ont porté sur le nombre de fèves fraîches normales (NFFN), le poids de fèves fraîches normales (PFFN) et le poids d'une fève sèche (PF1S) (**Tableau VI**).

Tableau V. Paramètres technologiques mesurés sur des fèves de cacao

Paramètres	Codes (unités)	Description et type d'observation
Nombre de fèves fraîches normales par cabosse	NFFN	Paramètre mesuré sur un échantillon de 30 cabosses par famille d'hybrides et de clone
Poids de fèves fraîches normales par cabosse	PFFN	Paramètre mesuré sur un échantillon de 30 cabosses par famille d'hybrides et de clone
Poids moyen d'une fève sèche	PF1S(g)	Paramètre mesuré sur 100 fèves par famille d'hybrides et de clone

○ *Nombre de fèves fraîches normales (NFFN) d'une cabosse*

Chaque cabosse a été ouverte et les fèves normales ont été dénombrées (**Figure 18**).



Figure 18. Nombre de fèves fraîches d'une cabosse

○ *Poids des fèves fraîches normales (PFFN) d'une cabosse*

Le poids de fèves fraîches d'une cabosse a été déterminé sur le même échantillon de 30 cabosses par arbre, en pesant les fèves fraîches de chaque cabosse à l'aide d'une balance électrique de précision (Sartorius 0,01) (**Figure 19**).



Figure 19. Pesée de fèves fraîches d'une cabosse

○ *Poids d'une fève de cacao marchand (P1FS)*

Une préparation des fèves de cacao marchand a été nécessaire avant de déterminer ce paramètre. L'opération a consisté en utilisation un échantillon des fèves fraîches issues des cabosses saines et mûres de chaque clone et famille et à les placer dans des tissus ajourés soigneusement étiquetés avant leur mise en fermentation dans des bacs conçus à cet effet. La fermentation a duré six jours. Durant les six jours, les fèves ont été retournées chaque 2 jour et au 7^e jour, le processus de fermentation a été arrêté. Les fèves fermentées de chaque échantillon représentant chaque famille ont été placées au soleil sur des claies pour le séchage. Cette dernière étape a duré environ sept à huit jours selon le degré d'ensoleillement. Après le séchage, les fèves de cacao marchand ont été transportées au laboratoire où un échantillon de 100 fèves

de cacao marchand par famille et clone a été pesé individuellement à l'aide d'une balance électrique de précision (**Figure 20**).



Figure 20. Pesée d'une fève de cacao marchand à l'aide d'une balance de précision

2.3.3. Détermination des propriétés physico-chimiques

Les analyses physico chimiques ont porté sur la détermination de plusieurs paramètres tels que le pH, l'acidité titrable, les sucres totaux, les sucres réducteurs, le taux de cendres, le taux d'humidité et le taux de matière sèche. Les analyses ont été réalisées sur la poudre de cacao marchand.

2.3.3.1. Echantillonnage et conditionnement des fèves pour les analyses physico chimiques, biochimiques et sensorielles

L'échantillonnage des fèves de cacao marchand a été réalisé suivant la méthode de quartage. Cette méthode permet d'obtenir un échantillon de fèves représentatif de l'ensemble du cacao marchand disponible par matériel végétal. La méthode consiste à renverser l'ensemble des fèves sèche obtenues par matériel végétal sur une bâche noire. Les fèves sont séparées en quatre parties suivant les diagonales. Les lots de fèves opposés sont mélangés et le processus est repris jusqu'à l'obtention d'un échantillon de 2 kg de cacao marchand par matériel végétal (**Figure 21**).



Figure 21. Fèves séchées conservées dans des sacs de jutes

2.3.3.2. Préparation de la poudre de cacao pour les analyses

La poudre de cacao est préparée selon la méthode décrite par Asiedu (1991). Les fèves de cacao sont broyées dans un mixeur, après séchage solaire pendant quelques jours. Le broyat obtenu est ensuite tamisé avec un tamis de maille 125 μm et la poudre produite est conservée au dessiccateur pour les différentes manipulations.

2.3.3.3. Paramètres physico chimiques mesurés

Sept paramètres physico-chimiques ont été déterminés sur le cacao marchand obtenu après fermentation et séchage des fèves des différentes populations analysées.

➤ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est déterminé selon la méthode AOAC (2005). Dix grammes de poudre de cacao sont préparés dans 90 mL d'eau distillée bouillante ; homogénéisé puis refroidie jusqu'à 25°C. Un pH-mètre (HANNA) étalonné à l'aide de solution tampon (pH 4 et 7) permet de lire le pH de la solution placée sous agitateur magnétique.

➤ Acidité titrable

Dix (10) g de poudre de cacao ont été dissouts dans 100 mL d'eau distillée. La suspension a été homogénéisée par agitation mécanique pendant 15 min et centrifugée à 3000 tr/min pendant 15 min dans une centrifugeuse de paillasse (MSE, ANGLETERRE). Une partie aliquote de 10 mL du surnageant récupéré a été titrée avec une solution de soude (0,1 N) après ajout de 3 gouttes de phénolphtaléine (1 % m/v) comme indicateur coloré.

L'acidité a été calculée en milliéquivalent/100 g de matière sèche selon la relation suivante :

$$\text{Acidité titrable (meq/100g)} = [(N \times V_{\text{eq}} \times 10^4) / (m_e \times V_o)] \quad (1)$$

Avec :

V_o : Volume (mL) de la prise d'essai ;

V_{eq} : Volume (mL) de soude (0,1 N) versé à l'équivalence ;

m_e : Masse de l'échantillon (g) ;

N : Normalité de la solution de soude (0,1 N).

➤ Extraction des sucres éthanosolubles

Les sucres éthanosolubles des différents échantillons de broyat sec de cacao ont été extraits selon la technique décrite par Martinez-Herrera *et al.* (2006). Un gramme (1 g) de chaque échantillon est mis dans un tube à centrifuger de 50mL et 10 mL d'éthanol (80 %, v/v) y ont été ajoutés. Le mélange a été homogénéisé vigoureusement et ensuite centrifugé (centrifugeuse Jouan multifonction B4i-BR4i, Germany) pendant 30 min à 3000 tours/min. Le surnageant obtenu a été conservé dans un erlenmeyer de 50 ml. Le culot a été repris dans 10 mL d'éthanol (80 %, v/v). Le mélange a été homogénéisé et centrifugé dans les mêmes conditions que précédemment. Le nouveau surnageant a été ajouté au premier contenu dans l'erlenmeyer de 50 mL. L'éthanol contenu dans ce mélange a été évaporé au bain de sable pendant 10 min. Le surnageant total obtenu a servi aux dosages des sucres éthanosolubles.

➤ Dosage des sucres réducteurs

La quantification des sucres réducteurs a été réalisée suivant la méthode de Bernfeld (1955). En utilisant l'acide 3,5 dinitrosalicylique (DNS). L'extrait de sucres éthanosolubles (150 μ L) a été prélevé et mis dans un tube à essai. A ce volume, ont été ajoutés 300 μ L de la solution de DNS. Le mélange a été porté au bain marie bouillant pendant 5 min. Après refroidissement sur la paillasse pendant 5 min, deux (2) mL d'eau distillée ont été ajoutés au milieu réactionnel. La lecture de l'absorbance a été réalisée à 540 nm au spectrophotomètre (JASCO V530) contre un témoin contenant tous les produits excepté l'extrait de sucres éthanosolubles. L'absorbance a été convertie en quantité de sucres réducteurs grâce à une droite d'étalonnage obtenue à partir d'une solution de glucose (2 mg/mL).

➤ Dosage des sucres totaux

Les sucres totaux ont été déterminés selon la méthode décrite par Dubois *et al.* (1956) utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré. L'extrait de sucres éthanosolubles (150 µL) a été prélevé et mis dans un tube à essai. A ce volume, ont été ajoutés respectivement 1 mL de phénol (5 %, m/v) et 1 mL d'acide sulfurique concentré (97 %). Le milieu réactionnel a été homogénéisé et laissé refroidi pendant 5 min. La lecture de la densité optique a été réalisée à 490 nm au spectrophotomètre (JASCO V530) contre un témoin contenant tous les produits excepté l'extrait de sucres éthanosolubles. La densité optique a été convertie en quantité de sucres totaux grâce à une droite d'étalonnage obtenue à partir d'une solution de glucose (2 mg/mL).

➤ Taux de cendres

Les taux de cendres ont été déterminés selon la méthode AOAC (1990). La détermination des cendres a consisté en incinération un échantillon de poudre de fèves de cacao jusqu'à l'obtention d'une cendre blanche. Dans une capsule en porcelaine de masse connue (**m₀**) sont placés 5 g de poudre de cacao des différentes variétés de cacao. L'ensemble (**m₁**) est porté à la température de $550 \pm 15^\circ\text{C}$ dans un four à moufle pendant 12 h. Après ce temps, la capsule contenant l'échantillon est retirée du four à moufle et placée au dessiccateur pour être refroidie. L'ensemble (échantillon + capsule) est pesé (**m₂**). La teneur en cendres, exprimée en pourcentage de masse d'échantillon sec, c'est-à-dire de la matière sèche, est obtenue par la formule (2) :

$$\text{Cendre (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100 \quad (2)$$

- **m₀** : masse (g) du creuset vide.
- **m₁** : masse (g) de l'ensemble (creuset + échantillon) avant incinération.
- **m₂** : masse (g) de l'ensemble (creuset + cendres) après incinération.

➤ Taux d'humidité et matière sèche

L'humidité et la matière sèche ont été déterminées suivant la méthode AOAC (1990). Une masse de 5 g de poudres de cacao des variétés évaluées (clones et familles d'hybrides) a été pesée dans un creuset en verre de masse connue (**m₀**). Le creuset contenant l'échantillon (masse totale **m₁**) est placée à l'étuve (Memmert, Allemagne) réglée à $105 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à l'obtention

d'une masse constante (pendant 24 h). La capsule a été retirée de l'étuve et placée au dessiccateur pour être refroidie. L'ensemble (échantillon + creuset) a été ensuite pesé (m_2). Le taux d'humidité exprimée en pourcentage est déterminé par la relation (3) suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100 \quad (3)$$

m_1 : masse (g) de l'ensemble (creuset + échantillon de la poudre de cacao) avant étuvage

m_2 : masse (g) de l'ensemble (creuset + échantillon de la poudre de cacao) après étuvage.

La teneur en matière sèche (MS), exprimée en pourcentage de masse d'échantillon humide est déterminée par la relation (4) :

$$\text{Matière sèche (\%)} = 100 - \text{humidité (\%)} \quad (4)$$

2.3.4. Détermination des paramètres biochimiques des fèves de cacao

Les analyses biochimiques ont été réalisées sur tout le matériel végétal de notre étude. Il a été question de déterminer les teneurs en composés biochimiques des fèves de chacune des populations analysées.

2.3.4.1. Dosage des taux de matière grasse

La matière grasse a été extraite au Soxhlet selon la méthode AOAC (1990). Dix grammes (PE) d'échantillon ont été introduits dans une cartouche. La cartouche a été bouchée avec un coton pour éviter que l'échantillon ne soit entraîné au cours de l'extraction. Dans un ballon vide de masse (M_1), 300 mL d'hexane y sont versés. L'ensemble ballon cartouche a été positionné sur un dispositif d'extraction. L'extraction a été faite par le système de flux et reflux pendant 8h. La matière grasse de l'échantillon est extraite du matériel végétal en continu par l'hexane en ébullition (point d'ébullition 35 °C) qui la dissout graduellement. Le solvant contenant la matière grasse retourne dans le ballon par déversements successifs causés par un effet de siphon dans le coude latéral. Une fois l'extraction terminée, l'hexane a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif, puis à l'étuve à 105 °C pendant 20 min. ensuite le ballon

contenant la matière grasse a été refroidie au dessiccateur pendant 5 min et pesé (**M2**). Le pourcentage de matière grasse a été calculé selon la formule suivante :

$$TMG = \frac{M2 - M1}{PE} \times 100 \quad (5)$$

Avec :

TMG : Taux de matière grasse

M1 : masse de ballon vide

M2 : masse de l'ensemble ballon et matière grasse après étuvage

PE : poids de l'échantillon

2.3.4.2. Dosage de la théobromine

La méthode d'extraction et de dosage de la théobromine s'est faite selon la méthode AOAC (2019). Un échantillon de 50 g de poudre de cacao a été mis dans un bécher de 250 mL contenant 100 mL d'eau distillée rendue basique (pH 9) par ajout de soude NaOH (1 M). Le mélange obtenu a été transvasé dans une fiole à vide connectée ensuite à un dispositif de chauffage à reflux. Le chauffage a été effectué à 78 °C pendant 20 min. Le mélange obtenu après chauffage a été filtré à l'aide d'un papier Whatman. Le filtrat obtenu a été refroidi pendant quelques minutes puis lavé dans une ampoule à décanter avec 20 mL d'éther de pétrole. Ce processus de filtration suivi de lavage a été répété 3 fois. Le produit recueilli a été mis dans un erlenmeyer et refroidi à 5 °C dans de l'eau glacée. De l'acide chlorhydrique a été ajoutée progressivement au produit jusqu'à atteindre la neutralité du milieu (pH 7). La lecture de l'absorbance de la solution a été faite au spectrophotomètre à 272 nm contre un blanc ne contenant pas d'échantillon (témoin). Enfin, une courbe d'étalonnage a été réalisée à l'aide d'une gamme de théobromine pur de concentrations allant de 0 à 10 mg/mL.

2.3.4.3. Dosage de la caféine

La méthode d'extraction et de dosage de la caféine s'est faite selon la méthode AOAC (2019). Un échantillon de 0,02 g de poudre de cacao a été pesé à l'aide d'une balance analytique et dissout dans 15 mL d'eau distillée. La solution ainsi obtenue a été portée à ébullition puis agitée pendant 30 min à l'aide d'un agitateur magnétique. Une quantité de 10 mL de dichlorométhane ont été ajoutée au filtrat et le mélange, agité pendant 10 min. Cette opération a été répétée 4 fois et les extraits ainsi obtenus ont été mélangés puis homogénéisés. Les phases organique et aqueuse ont été séparées à l'aide d'une ampoule à décanter. La lecture de

l'absorbance du produit a été faite au spectrophotomètre à 272 nm contre un blanc ne contenant pas d'échantillon (témoin). Enfin, une courbe d'étalonnage a été réalisée à l'aide d'une gamme de caféine pour de concentrations allant de 0 à 10 mg/mL

2.3.4.4. Détermination des teneurs en composés polyphénols et flavonoïdes totaux

➤ Extraits d'éthanoliques

Dix gramme de poudre ont été incubés à 25 °C pendant 24 heures dans 50 mL d'éthanol 80 % (v/v). Les mélanges obtenus après incubation ont été centrifugés séparément à 6000 trs/min pendant 15 min avec une centrifugeuse réfrigérée de marque ORTO ALRESA. Les surnageants ont été récupérés et les culots de chaque échantillon ont été extraits une nouvelle fois dans les mêmes conditions. Les différents surnageants des extraits éthanoliques ont été évaporés à 35 °C jusqu'à obtenir 50 mL de solution, à l'aide d'un évaporateur (rotary evaporator HEILDOLPH Laborata 4003 Control, Schwabach, Germany). Les différentes solutions ont été ensuite transférées dans des tubes et conservées à -20 °C.

➤ Dosage des polyphénols totaux

Les polyphénols totaux ont été déterminés selon la méthode utilisée par Singleton et al. (1999). Le principe est basé sur l'oxydation des composés phénoliques par le réactif de Folin Ciocalteu qui est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. L'oxydation des phénols réduit ce réactif en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la teneur en composés phénoliques oxydés. Un volume de 1 mL de chaque extrait éthanolique précédemment préparé a été ajouté à 1 mL de réactif de Folin-ciocalteu dans un tube à essai. Le mélange a été homogénéisé par agitation manuelle pendant 2 min à la température ambiante, puis laissé reposer sur la paillasse pendant 3 min. Un mL d'une solution aqueuse de carbonate de sodium (NaCO_3 20 %, m/v) y a été ajouté et le volume a été ajusté à 10 mL avec de l'eau distillée. Ensuite, le tube contenant le mélange a été placé à l'obscurité pendant 30 min. La lecture de l'absorbance a été réalisée au spectrophotomètre à 725 nm contre le blanc (extrait éthanolique + eau distillé). Enfin, une gamme de concentration en acide gallique allant de $5 \cdot 10^{-2}$ à $5 \cdot 10^{-3}$ mg / mL a été réalisée pour la courbe d'étalonnage. Les résultats ont été exprimés en mg équivalent d'acide gallique EAG/100 g de matière sèche (MS). La gamme d'étalon a permis la détermination de la quantité de polyphénols totaux dans l'échantillon.

➤ Dosage des flavonoïdes totaux

Les flavonoïdes totaux ont été déterminés selon la méthode utilisée par Meda et al. (2005). Le principe est basé sur la réaction des flavonoïdes avec le chlorure d'aluminium en présence d'acétate de sodium pour donner un complexe de couleur jaune dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présente dans le milieu. A un volume de 0,5 mL de chaque extrait éthanolique, ont été ajoutés successivement 0,5 mL d'eau distillée, 0,5 mL de chlorure d'aluminium (10 % p/v), 0,5 mL d'acétate de sodium (1 M) et 2 mL d'eau distillée. Ensuite, les tubes ont été laissés au repos pendant 30 min à température ambiante. La lecture de l'absorbance a été faite au spectrophotomètre à 415 nm contre le blanc (extrait éthanolique + eau distillée). Enfin, une gamme d'étalon de concentration en quercétine allant de 0 à 0,1 mg/mL a été réalisée pour la détermination de la quantité de flavonoïdes de l'échantillon. Les résultats ont été exprimés en mg équivalent de quercétine EQ/100 g de matière sèche (MS).

○ Séparation et identification des composés phénoliques individuels

Les extraits éthanoliques de composés phénoliques des différents échantillons de la poudre de cacao préparés précédemment (50 mL) ont été dilués dans 100 mL d'eau distillée et 20 µL de chaque échantillon ont été analysées à l'aide d'une unité de HPLC analytique (Shimadzu Corporation, Japon) équipée d'une pompe binaire (LC-6A) couplée à un détecteur UV-VIS (SPD-6A). Les composés phénoliques ont été séparés sur une colonne ICsep ICE ORH- 801 (longueur 25 cm) à une température fixée à 30 °C. La phase mobile est constituée d'une solution de $\text{NaH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ à 50 mM de pH 2,6 (éluant A), une solution d'acétonitrile / $\text{NaH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (80 :20, v/v) (éluant B) et de l'acide o-phosphorique à 200 mM de pH 1,5 (éluant C). Le temps de fonctionnement a été de 70 min avec un débit de 1 mL/min. La longueur d'onde de détection a été fixée à 280 nm. Les composés phénoliques de l'extrait éthanolique des échantillons ont été identifiés par comparaison de leurs temps de rétention avec ceux obtenus par l'injection de la solution d'étalon comportant les composés phénoliques standards dans les mêmes conditions. Les composés phénoliques standards ou de référence utilisée sont l'acide gallique, le tanin H_2O , le Cinamate de Na, la Caféine, l'acide Coumarine et la Quercétine.

➤ Quantification des composés phénoliques individuels

Les composés phénoliques individuels des différents échantillons de cacao ont été quantifiés par estimation de leurs concentrations exprimées en mg/kg de matière sèche à partir de la moyenne des aires des pics de chacun des composés phénoliques standards. Ainsi, la

concentration d'un composé phénolique individuel CEx identifié dans un échantillon a été calculée en utilisant l'équation suivante :

$$CE_x = \frac{\text{Aire } E_x \times CT_x}{\text{Aire } T} \quad (6)$$

CE_x: Concentration du composé phénolique x identifié dans l'échantillon

Aire T: Moyenne des aires des pics des composés phénoliques standards

Aire E_x: Aire du pic du composé phénolique x identifié dans l'échantillon

CT_x: Concentration du composé phénolique standard correspondant au composé phénolique x

2.3.4.5. Détermination de la composition en acides gras de l'huile

Le profil chromatographique des acides gras a été obtenu suivant deux étapes majeure: la préparation de l'échantillon et le dosage proprement dit par chromatographie en phase gazeuse.

➤ Préparation des esters méthyliques

La préparation de l'échantillon a été réalisée selon deux étapes : la saponification et l'estérification. Cinq g d'huile ont été dispersés dans 2,5 g de soude liquide (1 N) contenu dans un ballon à fond plat. Quelques pierres ponce ont été ajoutées dans cette solution lipidique pour empêcher le crépitement excessif. L'ensemble a été chauffé sur un système (chauffe ballon et réfrigérant) à reflux, à feu doux jusqu'à la formation d'une croûte. Vingt mL d'acide sulfurique (20 %, v/v) y ont été ajoutés lentement et l'ensemble a été chauffé à feu doux jusqu'à l'apparition d'une solution translucide. Ensuite, quatre-vingt mL du mélange méthanol-acide sulfurique (1/9, v/v) y ont été ajoutés. La solution a été portée à ébullition pendant 2 h. Après ce traitement thermique, la matière grasse estérifiée a été décantée dans une ampoule. Un volume de 0,5 mL de cette solution a été dispersé dans 2,5 mL d'hexane, puis homogénéisé afin de réaliser une autre décantation.

➤ Analyse par chromatographie en phase gazeuse

L'analyse des esters méthyliques des acides gras libres et totaux a été réalisée sur un chromatographe en phase gazeuse de marque HP 6890 séries GC system. Cet appareil est équipé d'un détecteur à ionisation de flamme et d'une colonne capillaire HP-5 (Cross-linked 5 % PH ME Siloxane) de 30 m de long avec une épaisseur du film de 0,25 µm, un diamètre interne de 0,32 mm, 5 % de diphenyl ; 95 % dimethyl polysiloxane ; non polaire, avec une

programmation de température du four croissante de -60 à 325 °C à raison de 1 °C / minute. La température de l'injecteur a été réglée à 275 °C et celle du détecteur à 325 °C. La pression de l'azote à l'entrée utilisé comme gaz vecteur a varié de 6,90 à 47,6 kPa. Le débit a été maintenu à 1 cm / min et le temps mort était de 1 min 15 s (hydrogène 40 cm / sec). L'identification des pics représentatifs des esters méthyliques a été réalisée en utilisant des substances de références (esters méthyliques) et ceci par comparaison des temps de rétention de chaque pic du chromatogramme, avec ceux obtenus pour les étalons. Le volume de l'échantillon estérifié injecté était d'un microlitre (1 µL).

2.3.4.6. Dosage des fibres

Le dosage des fibres a été réalisé suivant la méthode AOAC (1990). Un volume de 50 mL d'acide sulfurique (0,25 N) a été ajouté à 1 g de poudre de cacao (m_e). Le mélange a été porté à ébullition pendant 30 min sous réfrigérant à reflux. Un volume de 50 mL de soude 0,31 N a été ajouté au mélange et porté encore à ébullition pendant 30 min sous réfrigérant à reflux. L'extrait obtenu a été filtré sur papier filtre (Whatman de diamètre 0,45 µm) et le résidu, lavé plusieurs fois à l'eau chaude jusqu'à élimination complète des alcalis. Le résidu contenu dans le papier filtre a été ensuite séché à l'étuve à 105 °C pendant 8 heures, refroidi au dessiccateur puis pesé (m_1). Après séchage, le résidu est incinéré au four à moufle à 550 °C pendant 3 h puis refroidi au dessiccateur et pesé (m_2). La teneur en fibres brutes en pourcentage de masse d'échantillon sec (matière sèche) a été déterminée par la relation suivante :

$$\text{Fibres brutes (\%)} = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_e} \quad (7)$$

2.3.4.7. Dosage des protéines

La teneur en protéines brutes a été déterminée à partir du dosage de l'azote total selon la méthode de Kjeldhal. Elle comprend une phase de minéralisation suivie d'une phase de distillation et d'une phase de titrage par l'acide sulfurique (Bertazzo *et al.*, 2011).

➤ Minéralisation

Une masse de 1 g de poudre de cacao (m_e) a été prélevée et mise dans un matras de minéralisation, auquel ont été ajoutés successivement une pincée de catalyseur (sélénium + sulfate de potassium) et 20 mL d'acide sulfurique concentré. La minéralisation a été effectuée à 400°C pendant 2 h dans un digesteur (de marque Buchi). Après refroidissement du tube à la

température ambiante, le minéralisât a été transvasé dans une fiole jaugée de 100 mL et complété au trait de jauge avec de l'eau distillée.

➤ Distillation

Dix millilitres de NaOH 40 % (p/v) ont été ajoutés à 10 mL de minéralisât et le mélange a été placé dans le réservoir du distillateur. L'allonge du réfrigérant du distillateur a été ensuite plongée dans un bêcher contenant 20 mL d'acide borique additionné d'un indicateur mixte (rouge de méthyle + vert de bromocrésol). La distillation a été effectuée pendant 10 min.

➤ Titrage

Le distillat a été ensuite dosé avec une solution d'acide sulfurique 0,1 N jusqu'au virage du vert à l'orangé. Un blanc a été réalisé dans les mêmes conditions que l'essai. La teneur en azote total en pourcentage a été déterminée par l'expression suivante :

$$\text{Azote total (\%)} = \frac{(V_1 - V_0) \times MN2}{100 \times m_e} \quad (8)$$

MN2 : Masse moléculaire de l'azote soit 14 g/mole,

V1 : Volume de H₂SO₄ en mL nécessaire à la titration de l'échantillon,

V0 : Volume de H₂SO₄ en mL nécessaire à la titration du blanc,

m_e : Masse de l'échantillon (g).

La teneur en protéines totales en pourcentage de masse d'échantillon sec (matière sèche) a été déterminée par l'expression suivante :

$$\text{Protéines totales (\%)} = 6,25 \times \text{Azote total (\%)} \quad (9)$$

6,25 : Facteur de conversion de l'azote en protéines

2.3.4.8. Détermination de l'activité antioxydante par le piégeage du radical DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

L'activité antioxydante par la capacité de piégeage de radical DPPH a été déterminée selon la méthode utilisée par Shimada *et al.* (1992). Dans ce test, les antioxydants réduisent le diphenyle picryl-hydrazyl ayant une couleur violette en un composé jaune, dont l'intensité de la couleur est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons (Sanchez-Moreno, 2002). Plusieurs concentrations (0 à 1 mg/mL)

d'extraits éthanoliques de l'échantillon (2,5 mL) ont été ajoutés à 1 mL d'une solution éthanolique de DPPH (3 mM). Le mélange a été secoué vigoureusement et laissé au repos pendant 30 minutes dans l'obscurité. La réduction du DPPH a été déterminée en mesurant l'absorbance à 517 nm. Un contrôle a été fait en mesurant également l'absorbance de la solution de DPPH (3 mM). L'activité oxydante d'extrait de chacun des échantillons de poudre de cacao traduite par la décoloration de la solution de DPPH, a été calculée en pourcentage d'inhibition en utilisant l'équation (10) suivante :

$$A.A. (\%) = \frac{A_{\text{initial}} - A_{\text{essai}}}{A_{\text{initial}}} \times 100 \quad (10)$$

A.A. (%) : Pourcentage de l'activité antioxydante

A_{initial} : Absorbance du contrôle

A_{essai} : Absorbance de l'essai

Un composé antioxydant de référence, la vitamine E (Trolox) a été utilisé comme contrôle positif afin d'exprimer les activités antioxydantes des différents échantillons en équivalent vitamine E. En outre, une courbe d'étalonnage de la vitamine E (Trolox) obtenue à partir des concentrations (0,00 ; 42,05 ; 66,19 ; 84,77 ; 88,06 ; 94,43 ; 98,7 mg/mL) a été élaborée et préparées dans les mêmes conditions que l'extrait d'échantillon. La concentration d'extrait d'échantillon fournissant une inhibition de 50 % de la concentration de DPPH (IC₅₀) a été calculée à partir du graphique du pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations d'extrait.

2.3.4. Analyses sensorielles des fèves de cacao

Les analyses sensorielles ont été réalisées sur tout le matériel végétal de notre étude. Ces analyses ont été subdivisées en analyses physiques, aromatiques et organoleptiques.

2.3.4.1. Evaluation physique des fèves de cacao marchand

La qualité physique des fèves de cacaoyers a été analysée sur un échantillon de 2 kg de cacao marchand par matériel végétal. Cet échantillon a été scindé en quatre sous-échantillons suivant la méthode du quartage pour l'évaluation.

2.3.4.2. Détermination du taux d'humidité

Le taux d'humidité a été déterminé avec un échantillon de 500 g de cacao marchand à l'aide d'un humidimètre (**Figure 22**). Les fèves ont été déposées dans l'humidimètre à l'aide

de spatule de laboratoire. Une fois le seuil de remplissage atteint, la teneur en humidité a été déterminée par l'appareil.



Figure 22: Humidimètre Mini GAC 2500 de Dickey-John avec chargeur

2.3.4.3. Evaluation de la qualité des fèves entières

Une fraction de l'échantillon d'essai préliminaire de 500 g a été utilisée pour l'évaluation des fèves entières. Cette étape a consisté à réduire la masse de l'échantillon en éliminant les fèves entières défectueuses (matières étrangères, placenta, fèves plates, crabots, fèves cassées, coques et grues de fèves et les fèves infestées). Après le nettoyage, la masse restante de l'échantillon est placée dans un bol ou assiette, afin de sentir les fèves pour en déterminer l'intensité de l'arôme et identifier les fèves qui peuvent indiquer des défauts. Pour une bonne lecture, l'examen des fèves a été effectué à la lumière du jour ou sous une lumière artificielle équivalente avec une intensité d'éclairage de 800 à 1000 lux.

2.3.4.4. Evaluation de la qualité des fèves coupées (Test de coupe)

La réalisation des tests de coupes permet d'apprécier le niveau de fissuration et la coloration des fèves qui constituent des indicateurs du bon déroulement du processus de fermentation et de séchage. Le test de coupe a été réalisé à l'aide d'un appareil appelé guillotine (**Figure 23**). Il a permis de couper les fèves en deux parties égales de façon longitudinale en vue d'apprécier l'intérieur. L'analyse a porté sur 300 fèves de cacao prélevées au hasard dans chaque échantillon, conformément à la norme ISO 1114 (1977). Les échantillons de fèves de cacao ont

été classés en différentes catégories marchandes selon leur proportion en fèves moisies, ardoisées ou défectueuses (germées, mitées, pourries, noires, endommagées, brisées, avec brisures ou coques, plates, à odeur de fumée, à goûts étrangers).



Figure 23. Fèves coupées à l'aide de guillotine

2.3.4.5. Production de la liqueur (masse) de cacao

La **figure 24** présente le procédé de transformation des fèves en chocolat noir (liqueur de cacao). Le processus débute par une étape de torréfaction suivie du concassage et de la séparation des fèves et, enfin l'étape du broyage qui permet l'obtention de la liqueur.

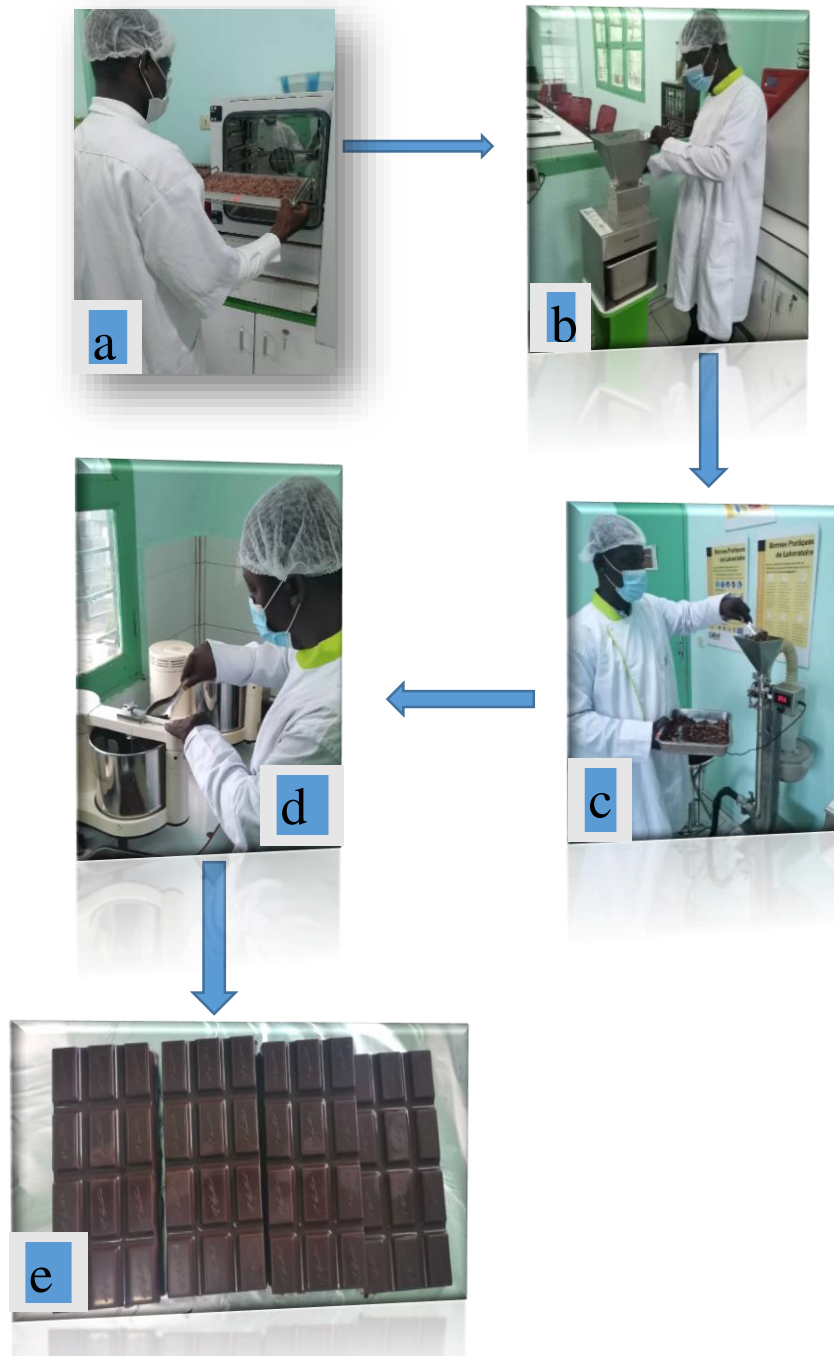


Figure 24. Procédé de transformation des fèves en liqueur de cacao : a) torréfaction ; b) concassage ; c) séparation ; d) broyage ; e) Liqueur de cacao (chocolat noir)

Chaque échantillon de fèves de cacao marchand a été torréfié (à une température et un temps précis 130°/25 min) et broyé pour produire une liqueur onctueuse suivant le protocole établi et proposé par CAOISCO/ECA/FCC (2015).

2.3.4.5.1. Torréfaction

La torréfaction des fèves de cacao représente une étape importante dans le processus de transformation des fèves en chocolat. Cette opération se réalise au sein d'un torréfacteur ou d'une étuve. Trois paramètres fondamentaux doivent être rigoureusement contrôlés durant la torréfaction. Ce sont, la température, la durée et l'arôme des fèves.

Le temps de torréfaction est déterminé en fonction de deux paramètres. Ce sont le nombre de fèves pour 100 g de cacao marchand et le taux d'humidité. Les valeurs de ces deux paramètres ont été projetées dans le tableau des ajustements (**Figure 25**) en vue de déterminer la durée et la température de torréfaction pour chaque échantillon à analyser. Il est important de souligner que le temps de torréfaction varie en fonction des échantillons. Les fèves de cacao ont été torréfiées dans une étuve ventilée de la marque GALLENKAMP, à des températures adaptées à chaque type.

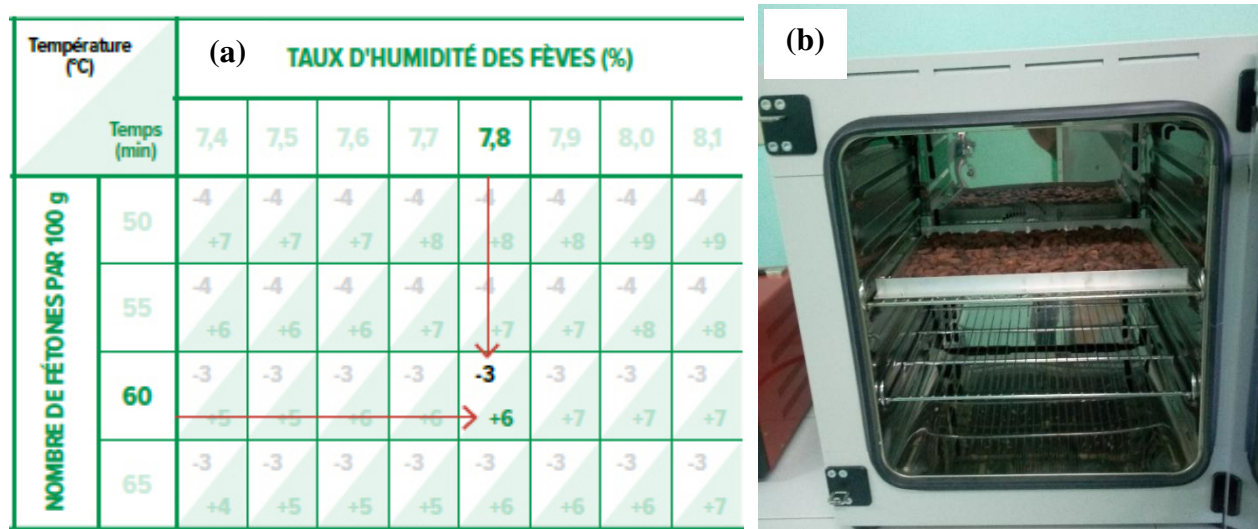


Figure 25. Grille d'ajustement de la température de torréfaction des fèves de cacao

(a) Tableau des ajustements de la durée et la température de torréfaction pour des fèves de cacao à 7,8 % d'humidité et un nombre de 60 fèves/100g

(b) (b) Fèves torréfiées dans une étuve

○ Réglage à l'étuve et torréfaction

Après avoir déterminé la température et la durée de torréfaction des fèves en se référant au tableau d'ajustements, il convient dans un premier temps de régler l'étuve à la température déterminée. Une fois que cette température est atteinte, les fèves sont placées à l'intérieur de l'étuve. Cela entraîne une baisse temporaire de la température, et il est nécessaire d'attendre

qu'elle remonte jusqu'à la valeur spécifiée avant de démarrer le chronomètre pour la durée indiquée de torréfaction.

2.3.4.5.2. Concassage

Après torréfaction et refroidissement, les fèves subissent un concassage à l'aide d'un concasseur (**Figure 26**). Cet appareil se compose d'un réceptacle, qui sert à recueillir et à concasser les fèves torréfiées, pour l'obtention des nibs (fèves fragmentées) et un bac destiné à recueillir les fèves fragmentées ainsi que les coques. Le fonctionnement de cet appareil repose sur un processus manuel, activé par une manivelle.



Figure 26. Conasseur de fèves de cacao marchand (Laboratoire analyse sensorielle de Bingerville)

2.3.4.5.3. Vannage et triage

Les fèves brisées et les coques sont dissociées grâce à un vanneur. Il s'agit d'un appareil appelé vanneur (**Figure 27a**) conçu pour séparer les nibs des coques. Cet appareil se compose d'un réceptacle, d'un système d'aspiration et d'un séparateur. Les coques sont éliminées par un processus de ventilation, ne conservant que les cotylédons concassés. Il est crucial d'effectuer cette séparation de manière optimale, car une présence excessive de coques dans les grains compliquera l'étape de broyage. Pour garantir une séparation efficace, la vitesse de séparation a été ajustée à 56.

Après le vannage, un tri manuel est réalisé pour enlever les coques restantes. Il permet d'assurer que les nibs ne contiennent aucune impureté (**Figure 27b**).



Figure 27. Tri des nibs de cacao marchand

(a) : Vanneur (Laboratoire analyse sensoriel de Bingerville) ; (b) Tri des nibs de cacao

2.3.4.5.4. Liquéfaction des grués (nibs) en liqueur de cacao (chocolat noir)

Les fèves de cacao concassées ont été placées dans un mortier électrique équipé d'un pilon, puis soumises à un broyage sous chauffage électrique. Cette méthode permet de conserver la pâte à une consistance fluide tout en réduisant les particules de cacao à une taille de 20 μm ou moins. Ce processus peut durer entre 10 et 20 heures, en veillant à ce que la température de la masse de cacao ne dépasse pas 55 °C (131°F). Un micromètre a été employé pour contrôler la finesse. Après le broyage et le contrôle de la finesse, la liqueur obtenue est renversée dans le moule en vue de lui donner la forme désirée après refroidissement (**Figure 28**).

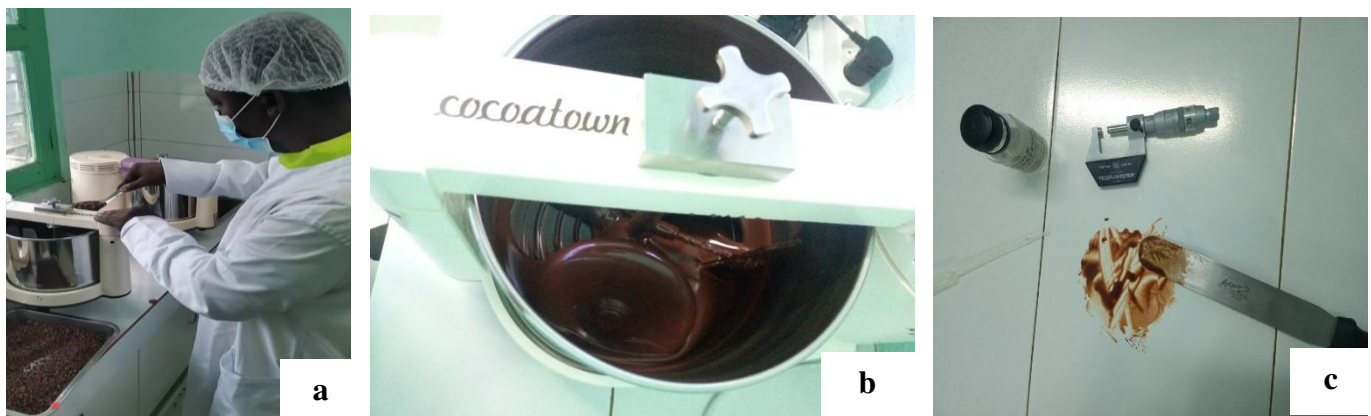


Figure 28. Préparation de la liqueur de cacao

(a) : Séance de broyage des nibs (b) : nibs liquéfiés (c) : Vérification de la finesse

Après le broyage et le contrôle de la finesse, la liqueur obtenue est renversée dans le moule et dans les boîtes (**Figure 29**).



Figure 29. Liqueurs de cacao

- (a) Liqueur de cacao en forme de plaquettes ;
- (b) Liqueur de cacao sous forme liquide

2.3.4.5.5. Conditionnement de la liqueur de cacao

La liqueur obtenue a été soigneusement enveloppée dans du papier d'emballage et identifiée par le code initial attribué à l'échantillon dès son arrivée au laboratoire, avant d'être placée au réfrigérateur en vue de son évaluation (**Figure 30**).



Figure 30. Conditionnement et conservation de la liqueur de cacao

2.3.4.6. Evaluation des caractères organoleptiques de la liqueur de cacao

L'évaluation sensorielle a d'abord impliqué l'examen des caractéristiques essentielles qui mettent en lumière l'arôme attendu dans chaque échantillon (Lombardo *et al.*, 2011). Ces caractéristiques incluent principalement l'intensité de l'arôme de cacao ou de chocolat, l'acidité résiduelle, l'amertume, l'astringence et le niveau de torréfaction. Ensuite, l'analyse a porté sur les intensités qui peuvent être perçus ou non dans les échantillons de cacao.

2.3.4.6.1. Panel de dégustation

Le panel est constitué de 12 personnes dont des experts, des participants expérimentés et des novices. Il constitue un outil d'évaluation pour l'élaboration de la grille d'analyse organoleptique (descripteurs). Un expert se définit comme un individu hautement qualifié, possédant une acuité organoleptique remarquable, formé aux techniques d'analyse sensorielle et capable de réaliser de manière fiable l'évaluation sensorielle de différents produits. Le participant expérimenté est sélectionné en raison de sa compétence à mener des tests organoleptiques. Quant au novice, il s'agit d'une personne ayant déjà pris part à un test sensoriel.

2.3.4.6.2. Type de test

L'évaluation organoleptique suivant une analyse hédonique basée sur un ring test (**Figure 31**). Ces évaluations visent à actualiser les connaissances des panélistes issus de divers laboratoires. Elles consistent à analyser des échantillons standardisés par ces panélistes, dont les résultats sont ensuite confrontés, débattus et interprétés. Des actions correctives sont mises en œuvre si cela s'avère nécessaire. Les résultats fournis par les spécialistes du Cocoa of Excellence constituent des références pour les évaluations.



Figure 31. Déroulement du ring test avant la dégustation de la liqueur de cacao

2.3.4.6.3. Evaluation des attributs des liqueurs de cacao

Les liqueurs ont été soumises à une évaluation par un panel du CNRA/Bingerville, en collaboration avec le Laboratoire d'Analyse Sensorielle, conformément au protocole établi par CAOBISCO/ECA/FCC en 2015. Ces liqueurs ont été placées dans des flacons en verre (Pyrex, France) et identifiées par un code. Les flacons ont été immergés dans des bains à une température de 48 °C, considérée comme optimale pour la perception des arômes, pendant une durée de 45 minutes avant la séance de dégustation. Chaque liqueur codée a été goûtée à trois reprises par chaque membre du panel dans un ordre aléatoire, afin de réduire les effets de transfert et les biais liés à la position. A l'aide d'une fiche d'analyse sensorielle (Annexe 4), les panélistes ont noté les produits dégustés sur une échelle de 0 à 10 (note entière et unique) pour chaque descripteur et chaque échantillon. Les profils sensoriels ont été enregistrés pour neuf attributs de saveur à l'aide d'une échelle de ligne continue de 0 (absent) à 10 (fort) (**Figure 32**). Il s'agit de l'intensité en cacao, l'acidité, l'amertume, l'astringence, les saveurs fruit frais, fruit doré, floral, boisé, épicé et noisette. Une note globale est par la suite attribuée en fonction des différentes perceptions obtenues sur un échantillon.



Figure 32. Séance de dégustation des liqueurs de cacao par le panel.

2.3.5. Analyses statistiques des données

Les données technologiques, physicochimiques, biochimiques et sensorielles des fèves de cacao issues des clones et des familles d'hybrides mis à l'épreuve dans le cadre de cette étude, ont été analysées avec les logiciels SAS 9.4 et XLSTAT. Ces logiciels ont permis de déterminer les statistiques descriptives, de réaliser des analyses de variance (ANOVA) et des analyses multivariées, et de concevoir différents types de graphiques.

2.3.5.1. Analyses de variance

Les données enregistrées ont été analysées avec le logiciel SAS 9.4. La normalité des données quantitatives a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk (Shapiro et Wilk, 1965) au seuil de 5 %. Une transformation racine carrée a été appliquée sur les données, par la formule $X_i = \sqrt{X_i + 0,5}$ dans le logiciel SAS 9.4, où X_i est une valeur de la variable X pour l'individu i . Cette transformation a été réalisée en vue de réduire significativement les écart-types des clones pour chacun des paramètres analysés. Les données brutes ont ensuite été soumises à une analyse descriptive (moyennes et écarts types). L'analyse statistique des données collectées a consisté en une étude comparative entre les clones afin de mettre en évidence d'éventuelles différences. A cet effet, l'analyse de la variance (ANOVA) a été préalablement utilisée. Une fois que la significativité de l'effet clone est vérifiée, les caractères spécifiques ayant contribué à la différence entre les clones ont été identifiés. Toute ANOVA significative ($P < 0,05$) est suivie du test de la plus petite différence significative (ppds) afin de classer les différents clones pour le caractère considéré.

2.3.5.2. Analyses multi variées

2.3.5.2.1. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est fondée sur le principe de double analyse d'un nuage de points, de recherche des axes d'inertie de ce nuage et de double projection sur les axes factoriels (Lagarde, 1986 ; Volle, 1989). Dans cette étude, l'analyse en composantes Principales (ACP) a été effectuée sur des clones et des familles d'hybrides de cacaoyers, avec l'ensemble des paramètres technologiques, physico-chimiques, biochimiques et sensoriels étudiés. L'objectif est de visualiser les différents individus sur un plan à deux dimensions appelé axes à composantes principales. L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de déterminer la statistique descriptive des données, la matrice de corrélation des paramètres utilisés, la contribution et le cosinus carré des paramètres des clones et familles d'hybrides au

niveau des composantes principales. L'ACP a été appuyée par la détermination du KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) qui permet d'apprécier la pertinence de l'analyse réalisée.

2.3.5.2.2. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

Dans cette étude, la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été effectuée pour regrouper les clones et les familles d'hybrides dans des groupes homogènes en fonction de leurs similarités en tenant compte des paramètres mesurés. Elle a été réalisée avec les données technologiques, biochimiques et sensorielles. Les résultats ont été présentés sous forme de dendrogramme. La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisé avec le logiciel XLSTAT 2014.

TROISIEME PARTIE :
RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Chapitre 1 : Evaluation des caractères physico-chimique, technologique et sensoriel des fèves de cacaoyers en cours de sélection

3.1.1. RESULTATS

3.1.1.1. Caractéristiques technologiques des fèves des variétés de cacaoyers en cours de sélection

3.1.1.1.1. Nombre et poids des fèves des clones

Le **tableau VII** présente le nombre de fèves fraîches normales (NFFN), et le poids de fèves fraîches normales (PFFN) et le poids d'une fève sèche (P1FS) des fèves de six clones de cacaoyers de la parcelle clonale E5/1. L'analyse de variance a montré une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les clones pour le PFFN et le P1FS. Les clones C24 (144,94 g) et C5 (141,19 g) ont eu les fèves fraîches normales par cabosse les plus lourdes contrairement aux clones C9 (121,46 g), C26 (119,39 g), C131 (107,70 g) et C21 (104,54 g). S'agissant du poids d'une fève sèche (P1FS), la moyenne a été de 1,29 g avec un coefficient de variation (CV) de 4,19 %. Le clone C9 avec 1,39 g a présenté en moyenne la plus grande valeur de poids d'une fève sèche contrairement aux clones C131 (0,93 g) et C21 (0,94 g) qui ont obtenu les plus faibles poids d'une fève sèche.

Tableau VI. Nombre et poids de fèves de cacao analysés chez 6 clones de la parcelle E5/1.

Clones	Généalogies	Paramètres évalués		
		NFFN (Nombre)	PFFN (g)	P1FS (g)
C24	IFC1040	41,83 ± 1,35 ^a	144,94 ± 5,86 ^a	1,28 ± 0,01 ^b
C5	T79/501 x IFC1	43,37 ± 0,90 ^a	141,19 ± 3,83 ^a	1,27 ± 0,01 ^b
C9	PA121 x IMC67	39,45 ± 1,42 ^a	121,46 ± 6,18 ^b	1,39 ± 0,01 ^a
C26	NA32 x IFC5	41,50 ± 0,84 ^a	119,39 ± 3,14 ^b	1,19 ± 0,01 ^c
C131	SCA6 x PA150	39,93 ± 1,46 ^a	107,70 ± 4,10 ^b	0,93 ± 0,01 ^d
C21	PA150 x C4	40,20 ± 0,70 ^a	104,54 ± 5,67 ^b	0,94 ± 0,01 ^d
Moyenne		41,08	121,66	1,29
CV (%)		13,90	19,89	4,19
P		< 0,1234	< 0,0001	< 0,0001

NFFN : nombre de fèves fraîches normales ; **PFFN** : poids de fèves fraîches normales ; **P1FS** : poids d'une fève sèche ; **CV** : Coefficient de variation ; **P** : probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %.

3.1.1.1.2. Nombre et poids des fèves des familles d'hybrides

Le **tableau VIII** présente le nombre de fèves fraîches normales (NFFN), le poids de fèves fraîches normales (PFFN) et le poids d'une fève sèche (P1FS) des fèves de quatre (4) familles d'hybrides de cacaoyers de la parcelle Test Orientatif de Divo (TO/Divo). L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les familles d'hybrides pour le PFFN et le P1FS.

Concernant le PFFN, les valeurs ont varié de 171,62 g à 99,56 g pour une moyenne de 133,81 g et un CV de 27,61 %. La famille F26 (171,62 g) a présenté les fèves fraîches normales par cabosse les plus lourdes contrairement à F41 (99,56 g) qui a obtenu la plus faible valeur en moyenne. S'agissant du poids d'une fève sèche (P1FS), la moyenne a été de 1,30 g avec un coefficient de variation de 12,23 %. La famille F26 avec 1,69 g a été en tête de classement pour ce caractère.

Tableau VII. Nombre et poids de fèves de cacao analysés chez 4 familles d'hybrides du Test Orientatif à Divo

Familles	Généalogies	Paramètres évalués		
		NFFN (Nombre)	PFFN (g)	P1FS (g)
F26	UPA 409 x POR	37,13 ± 2,75 ^a	171,62 ± 14,07 ^a	1,69 ± 0,02 ^a
F28	E5/1 L71 A7 à 11 x E6/4 L27 A8	44,40 ± 1,24 ^a	143,38 ± 10,29 ^b	1,33 ± 0,02 ^b
F22	E6/1 L22 A18 x E6/4 L27 A8	41,93 ± 1,24 ^a	120,68 ± 3,73 ^{bc}	1,14 ± 0,01 ^c
F41	GU 139 A x E6/1 L11 A23	37,20 ± 3,29 ^a	99,56 ± 6,79 ^c	1,07 ± 0,02 ^d
Moyennes		40,16	133,81	1,30
CV (%)		22,37	27,61	12,23
P		< 0,0758	< 0,0001	< 0,0001

NFFN : nombre de fèves fraîches normales ; **PFFN** : poids de fèves fraîches normales ; **P1FS** : poids d'une fève sèche ; **CV** : Coefficient de variation ; **P** : probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %.

3.1.1.2. Paramètres physico-chimiques des fèves des clones et des familles d'hybrides

3.1.1.2.1. Paramètres physico-chimiques des fèves des clones

Le **tableau IX** présente les propriétés physico-chimiques des six clones de cacaoyers de la parcelle clonale E5/1. L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les six clones pour le caractère pH, sucres totaux, sucres réducteurs, taux de cendres, teneur en lipides, teneur en fibres, teneur en protéines et une homogénéité entre eux pour le caractère acidité titrable, teneur en matière sèche.

Pour le pH, la moyenne a été de 5,44 avec un coefficient de variation de 0,31 %. Le clone C26 avec 5,74 a eu la plus grande valeur de pH. Par contre, le clone C21 avec 5,04 a eu la plus petite valeur de pH.

Concernant l'acidité titrable, la moyenne a été de 0,33 meq/100g avec un coefficient de variation de 22,05 %. Les moyennes ont varié de 0,40 à 0,23 meq/100g. En ce qui concerne les sucres totaux, la moyenne a été de 2,77 g% avec un coefficient de variation de 8,81 %. Le clone C21 avec 4,60 % a eu la plus grande teneur en sucre totaux contrairement aux clones C9 (1,84 %) et C5 (1,69 %) qui ont présenté les plus petites teneurs en sucre totaux.

S'agissant des sucres réducteurs, la moyenne a été de 1,20 % avec un coefficient de variation de 3,86 %. Le clone C131, avec 2,09 % a eu la plus grande teneur en sucre réducteur. Par contre, le clone C26 avec 0,47 % a eu la plus petite teneur en sucre réducteur.

En ce qui concerne le taux de cendres, la moyenne a été de 2,40 avec un coefficient de variation de 7,08 %. Les clones C9 (3,33 %), C5 (3,03 %) et C131 (3,00 %) ont eu les plus grands taux de cendre contrairement aux C21 et C26 avec respectivement 1,38 % et 1,20 %.

Concernant la teneur en matière sèche, la moyenne a été de 94,46 avec un coefficient de variation de 4,98 %. Les données ont varié de 99,73 % à 91,60 %.

Pour le taux de lipides, la moyenne a été de 45,59 % avec un coefficient de variation de 8,73 %. Les clones C21(73,24 %) et C131 (72,01 %) ont eu les plus grands taux de lipides. Par contre, les clones C26 (26,33 %), C24 (18,97 %) et C5 (18,44 %) ont eu les plus petits taux de lipides.

En ce qui concerne la teneur en fibres, la moyenne a été de 30,44 mg/100g avec un coefficient de variation de 0,02 %. Le clone C24 avec 36,47 mg/100g a eu la plus grande teneur en fibres. Par contre, le clone C26 avec 23,44 mg/100g a eu la plus petite teneur en fibres.

Quant à la teneur en protéines, la moyenne a été de 16,33 mg/100g avec un coefficient de variation de 0,03 %. Le clone C24 avec 21,56 mg/100g a eu la plus grande teneur en protéines. Par contre, le clone C26 avec 10,23 mg/100g a eu la plus petite teneur en protéines.

Tableau VIII. Composition physico chimique des fèves des clones de cacaoyers de la parcelle clonale E5/1 de Divo

Clones	pH	Acidité titrable (meq/100g)	Sucre totaux (%)	Sucre réducteur (%)	Taux cendre (%)	Teneur matière sèche (%)	Taux lipides (%)	Fibres (mg/100g)	Protéines (mg/100g)
C26	5,74 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,06 ^a	3,01 ± 0,02 ^b	0,47 ± 0,04 ^c	1,20 ± 0,01 ^c	91,60 ± 0,23 ^a	26,33 ± 0,67 ^c	23,44 ± 0,00 ^f	10,23 ± 0,00 ^f
C5	5,54 ± 0,00 ^b	0,31 ± 0,01 ^a	1,69 ± 0,04 ^d	1,04 ± 0,02 ^c	3,03 ± 0,09 ^a	93,60 ± 0,23 ^a	18,44 ± 0,53 ^c	36,15 ± 0,00 ^b	21,04 ± 0,00 ^b
C9	5,51 ± 0,01 ^b	0,30 ± 0,00 ^a	1,84 ± 0,14 ^d	1,73 ± 0,01 ^b	3,33 ± 0,09 ^a	94,27 ± 0,29 ^a	64,53 ± 0,50 ^b	28,64 ± 0,00 ^d	15,11 ± 0,00 ^d
C24	5,46 ± 0,00 ^c	0,23 ± 0,03 ^a	3,16 ± 0,05 ^b	0,83 ± 0,01 ^d	2,43 ± 0,02 ^b	93,53 ± 0,17 ^a	18,97 ± 0,67 ^c	36,47 ± 0,00 ^a	21,56 ± 0,00 ^a
C131	5,35 ± 0,01 ^d	0,36 ± 0,06 ^a	2,34 ± 0,28 ^c	2,09 ± 0,02 ^a	3,00 ± 0,06 ^a	99,73 ± 6,63 ^a	72,01 ± 2,20 ^a	31,47 ± 0,00 ^c	17,66 ± 0,00 ^c
C21	5,04 ± 0,01 ^e	0,33 ± 0,03 ^a	4,60 ± 0,11 ^a	1,04 ± 0,03 ^c	1,38 ± 0,18 ^c	94,00 ± 0,11 ^a	73,24 ± 4,84 ^a	26,45 ± 0,00 ^e	12,36 ± 0,00 ^e
Moyenne	5,44	0,33	2,77	1,20	2,40	94,46	45,59	30,44	16,33
CV (%)	0,31	22,05	8,81	3,86	7,08	4,98	8,73	0,02	0,03
P	< 0,0001	< 0,1628	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4453	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

CV : Coefficient de variation ; **P** : probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.1.1.2.2. Paramètres physico-chimiques des fèves de cacao des familles d'hybrides

L'analyse de la variance a montré qu'à l'exception du taux de cendres, une différence significative ($P < 0,05$) a été mise en évidence entre les quatre familles d'hybrides pour le pH, l'acidité titrable, les sucres totaux, les sucres réducteurs, la teneur en matière sèche, la teneur en lipides, la teneur en fibres et la teneur en protéines (**Tableau X**).

Pour le pH, la moyenne a été de 4,62 avec un coefficient de variation de 0,33 %. La famille F26 avec 5,71 a eu la plus grande valeur de pH contrairement à la famille F41 (4,26) qui a obtenu la plus petite valeur. S'agissant de l'acidité titrable, la moyenne a été de 1,00 meq/100g avec un coefficient de variation de 5,00 %. Les familles F26 (1,03 meq/100g), F28 (1,03 meq/100g) et F22 (1,10 meq/100g) ont eu les plus grandes valeurs d'acidité titrable.

En ce qui concerne les sucres totaux, la moyenne a été de 0,69 % avec un coefficient de variation de 2,30 %. Les familles F26 (0,70 %) et F22 (0,72 %) ont eu les plus grandes teneurs en sucre totaux. Par contre, les familles F28 (0,66 %) et F41 (0,65 %) ont eu les plus petites teneurs en sucre totaux.

La moyenne des sucres réducteurs a été de 0,97 % avec un coefficient de variation de 12,57 %. La famille F26 avec 1,33 % a eu la plus grande teneur en sucre réducteur. Par contre, les familles F28 (0,76 %), F41 (0,87 %) et F22 (0,91 %) ont eu les plus faibles teneurs.

Pour le taux de cendres, la moyenne a été de 3,66 % avec un coefficient de variation de 9,82 %. Les données ont varié de 3,25 % à 4,15 %. S'agissant du taux de matière sèche, la moyenne a été de 95,12 % avec un coefficient de variation de 0,30 %. Les familles F28 avec 95,53 a eu la plus grande teneur en matière sèche. Par contre, la famille F41 avec 94,73 % a eu la plus petite teneur en taux de matière sèche.

Concernant le taux de lipides, la moyenne a été de 22,76 avec un coefficient de variation de 8,37 %. Les familles F26 (24,99 %) et F22 (24,49 %) ont eu les plus grands taux de lipides. Par contre, les familles F28 (19,20 %) et F41 (20,34 %) ont présenté les plus faibles valeurs.

En ce qui concerne la teneur en fibres, la moyenne a été de 17,55 mg/100g avec un coefficient de variation de 0,05%. La famille F28 avec 19,83 mg/100g a eu la plus grande teneur en fibres. Par contre, la famille F26 avec 15,65 mg/100g a présenté la plus faible teneur.

Pour la teneur en protéines, la moyenne a été de 13,41 mg/100g avec un coefficient de variation de 0,06 %. La famille F41 avec 18,74 mg/100g a eu la plus grande teneur en protéines. Par contre, la famille F26 avec 9,22 mg/100g a eu la plus petite teneur en protéines.

Tableau IX. Composition physico chimique des fèves des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) de Divo

Familles	pH	Acidité titrable (meq/100g)	Sucre totaux (%)	Sucre réducteur (%)	Taux cendre (%)	Teneur matière sèche (%)	Taux lipides (%)	Fibres (mg/100g)	Protéines (mg/100g)
F26	5,71 ± 0,01 ^a	1,03 ± 0,03 ^a	0,70 ± 0,01 ^a	1,33 ± 0,05 ^a	3,25 ± 0,05 ^a	95,33 ± 0,18 ^{ab}	24,99 ± 0,00 ^a	15,65 ± 0,01 ^d	9,22 ± 0,01 ^d
F28	4,29 ± 0,01 ^b	1,03 ± 0,03 ^a	0,66 ± 0,00 ^b	0,76 ± 0,12 ^b	3,39 ± 0,27 ^a	95,53 ± 0,06 ^a	19,20 ± 0,00 ^b	19,83 ± 0,00 ^a	13,54 ± 0,00 ^b
F41	4,26 ± 0,00 ^c	0,83 ± 0,03 ^b	0,65 ± 0,01 ^b	0,87 ± 0,03 ^b	4,15 ± 0,26 ^a	94,73 ± 0,06 ^b	20,34 ± 2,19 ^b	16,97 ± 0,00 ^c	18,74 ± 0,00 ^a
F22	4,23 ± 0,01 ^d	1,10 ± 0,00 ^a	0,72 ± 0,01 ^a	0,91 ± 0,04 ^b	3,84 ± 0,17 ^a	94,87 ± 0,27 ^{ab}	24,49 ± 0,00 ^a	17,74 ± 0,00 ^b	12,12 ± 0,00 ^c
Moyenne	4,62	1,00	0,69	0,97	3,66	95,12	22,76	17,55	13,41
CV	0,33	5,00	2,30	12,57	9,82	0,30	8,37	0,05	0,06
P	< 0,0001	< 0,0010	< 0,0012	< 0,0022	< 0,0515	< 0,0283	< 0,0040	< 0,0001	< 0,0001

CV : Coefficient de variation ; *P* : probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.1.1.3. Caractéristiques phytochimiques des clones et familles d'hybrides en cours de sélection

3.1.1.3.1. Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves issues de clones

L'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les six clones de la parcelle d'observation clonale (E5/1) pour la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes (**Tableau XI**).

Pour la teneur en polyphénols, la moyenne a été de 1311,25 mg EAG/100g avec un coefficient de variation de 0,24 %. Le clone C5 avec 1538,68 mg EAG/100g a eu la teneur la plus élevée contrairement au clone C24 avec 1044,87 mg EAG/100g.

En ce qui concerne la teneur en flavonoïdes totaux, la moyenne a été de 540,87 mg EQ/100g avec un coefficient de variation de 0,34%. Le clone C5, avec 586,64 mg EQ/100g a eu la teneur la plus élevée alors que le clone C9 avec 491,60 mg EQ/100g a présenté les plus faibles teneurs en flavonoïdes totaux

Tableau X. Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves de 6 clones de cacaoyers de la parcelle E5/1

Clones	Polyphénols (mg EAG/100 g)	Flavonoïdes totaux (mg EQ/100 g)
C26	1439,09 ± 1,96 ^b	558,07 ± 0,93 ^c
C21	1359,4 ± 3,06 ^c	495,69 ± 0,78 ^e
C5	1538,68 ± 2,07 ^a	586,64 ± 1,39 ^a
C131	1232,60 ± 1,17 ^e	541,71 ± 0,86 ^d
C9	1252,86 ± 1,23 ^d	491,60 ± 0,87 ^f
C24	1044,87 ± 0,87 ^f	571,51 ± 1,30 ^{ab}
Moyenne	1311,25	540,87
CV (%)	0,24	0,34
P	< 0,0001	< 0,0001

CV : Coefficient de variation ; P : probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.1.1.3.2. Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves issues des familles d'hybrides

L'analyse de la variance a montré une différence significative ($P < 0,0001$) entre les quatre familles d'hybrides issues de l'essai d'observation Test Orientatif de Divo (TO/Divo) pour les teneurs en polyphénols et en flavonoïdes totaux (**Tableau XII**).

Concernant la teneur en polyphénols totaux, la moyenne a été de 1451,58 mg EAG/100 g avec un coefficient de variation de 0,13 %. La famille F26 avec 1555,01 mg EAG/100 g a obtenu la teneur la plus élevée contrairement à la famille F41 avec 1269,60 mg EAG/100 g.

En ce qui concerne la teneur en flavonoïdes totaux, la moyenne a été de 601,22 mg EQ/100 g avec un coefficient de variation de 0,35 %. La famille F22 avec 659,16 mg EQ/100 g a enregistré la teneur en flavonoïdes totaux de fèves de cacao la plus élevée alors que la famille F41 avec 543,70 mg EQ/100 g a eu la plus faible valeur en flavonoïde totaux.

Tableau XI. Teneurs en polyphénols totaux et flavonoïdes de quatre familles d'hybrides du Test Orientatif de Divo

Familles	Polyphénols (mg EAG/100 g)	Flavonoïdes totaux (mg EQ/100 g)
F26	1555,01 ± 0,93 ^a	581,18 ± 1,15 ^c
F41	1269,60 ± 1,41 ^d	543,70 ± 1,18 ^d
F28	1503,53 ± 0,89 ^b	620,85 ± 1,43 ^b
F22	1478,17 ± 1,19 ^c	659,16 ± 1,10 ^a
Moyenne	1451,58	601,22
CV (%)	0,13	0,35
<i>P</i>	< 0,0001	< 0,0001

F : familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; *P* : probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.1.1.4. Profil des composés phénoliques des clones et familles d'hybrides en cours de sélection

3.1.1.4.1. Profil des composés phénoliques des fèves de cacao issues de clones

L'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les six clones de l'essai E5/1 pour le profil des composés phénoliques (épicatéchine, catéchine, théobromine, caféine, quercétine et proanthocyanidine) (**Tableau XIII**).

Pour la teneur en épicatéchine, la moyenne a été de 52,25 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,01 %. Le clone C131 avec 73,22 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée contrairement au clone C21 avec 27,75 mg/100 g.

Concernant la teneur en catéchine, la moyenne a été de 16,39 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,01 %. Le clone C131 avec 22,79 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que le clone C21 avec 8,10mg/100 g a eu la teneur la plus faible.

S'agissant de la teneur en théobromine, la moyenne a été de 158,29 mg/100 g. Le clone C26 avec 193,23 mg/100 g a présenté la valeur la plus élevée et le clone C24 avec 124,60 mg/100 g a obtenu la plus faible valeur.

En ce qui concerne la teneur en caféine, la moyenne a été de 17,24 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,47 %. Le clone C21 avec 35,04 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que les clones C9 avec 6,86 mg/100 g a eu la teneur la plus faible.

Au niveau de la teneur en quercétine, la moyenne a été de 2,84mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,09 %. Le clone C26 avec 4,25 mg/100 g a présenté la plus forte teneur contrairement au clone C131 avec 2,09 mg/100 g.

Quant à la teneur en proanthocyanidine, la moyenne a été de 93,23 mg/100 g. Le clone C9 avec 118,42 mg/100 g a obtenu la plus forte teneur alors que le clone C21 avec 75,70 mg/100 g a présenté en moyenne la plus faible valeur.

Tableau XII. Teneurs en composés phénoliques de 6 clones de cacaoyers de la parcelle E5/1

Clones	Epicatechine (mg/100 g)	Catéchine (mg/100 g)	Théobromine (mg/100 g)	Caféine (mg/100 g)	Quercétine (mg/100 g)	Proanthocyanidine (mg/100 g)
C131	73,22 ± 0,00 ^a	22,79 ± 0,00 ^a	148,28 ± 0,00 ^e	19,61 ± 0,00 ^b	2,09 ± 0,00 ^f	77,24 ± 0,00 ^e
C9	72,37 ± 0,00 ^b	14,45 ± 0,00 ^d	148,80 ± 0,00 ^d	6,89 ± 0,00 ^f	2,93 ± 0,00 ^c	118,42 ± 0,00 ^a
C26	56,62 ± 0,00 ^c	21,75 ± 0,00 ^b	193,23 ± 0,00 ^a	18,83 ± 0,00 ^c	4,25 ± 0,00 ^a	99,76 ± 0,00 ^b
C24	42,92 ± 0,00 ^d	19,35 ± 0,00 ^c	124,60 ± 0,00 ^f	7,04 ± 0,00 ^e	2,36 ± 0,00 ^d	92,80 ± 0,00 ^d
C5	40,60 ± 0,00 ^e	11,91 ± 0,00 ^e	164,61 ± 0,00 ^c	16,0 ± 0,00 ^d	3,16 ± 0,00 ^b	95,4 ± 20,00 ^c
C21	27,75 ± 0,00 ^f	8,10 ± 0,00 ^f	170,23 ± 0,00 ^b	35,04 ± 0,00 ^a	2,27 ± 0,00 ^e	75,70 ± 0,00 ^f
Moyenne	52,25	16,39	158,29	17,24	2,84	93,23
CV (%)	0,01	0,01	0,00	0,47	0,09	0,00
P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

C : Clones ; CV : Coefficient de variation ; P : probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.1.1.4.2. Profil des composés phénoliques des fèves de cacao issues de familles d'hybrides

L'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les quatre familles d'hybrides du Test Orientatif (TO/Divo) pour le profil des

composés phénoliques (épicatéchine, catéchine, théobromine, caféine, quercétine et proanthocyanidine) (**Tableau XIV**).

Pour la teneur en épicatéchine, la moyenne a été de 60,28 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,01 %. La famille F22 avec 86,18 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que la famille F41 (35,54 mg/100 g) a présenté en moyenne la valeur la plus faible.

Concernant la teneur en catéchine, la moyenne a été de 17,89 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,02 %. La famille F28 avec 25,92 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée contrairement à la famille F22 avec 9,92 mg/100 g.

S'agissant de la teneur en théobromine, la moyenne a été de 151,01 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,01%. La famille F22 avec 184,37 mg/100 g a eu la plus forte teneur contrairement à la famille F28 avec 120,12 mg/100 g.

En ce qui concerne la teneur en caféine, la moyenne a été de 22,77 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,03 %. La famille F28 avec 34,27 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée alors que la famille F41 avec 9,78 mg/100 g a eu la teneur la plus faible.

Au niveau de la teneur en quercétine, la moyenne a été de 4,37 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,12 %. La famille F26 avec 9,95 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que la famille F41 avec 4,56 mg/100 g a obtenu la plus faible valeur.

Quant à la teneur en proanthocyanidine, la moyenne a été de 77,26 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,09 %. La famille F26 avec 94,44 mg/100 g a obtenu la plus forte valeur contrairement à F28 avec 66,35 mg/100 g.

Tableau XIII. Teneurs en composés phénoliques de quatre familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) de Divo

Familles	Epicatéchine (mg/100 g)	Catéchine (mg/100 g)	Théobromine (mg/100 g)	Caféine (mg/100 g)	Quercétine (mg/100 g)	Proanthocyanidine (mg/100 g)
F22	86,18 ± 0,00 ^a	9,92 ± 0,00 ^d	184,37 ± 0,00 ^a	22,81 ± 0,00 ^c	5,07 ± 0,00 ^a	70,22 ± 0,00 ^c
F28	73,02 ± 0,00 ^b	25,92 ± 0,00 ^a	120,12 ± 0,00 ^d	34,27 ± 0,00 ^a	4,88 ± 0,00 ^b	66,35 ± 0,00 ^d
F26	46,38 ± 0,00 ^c	20,52 ± 0,00 ^b	159,21 ± 0,00 ^b	24,21 ± 0,00 ^b	2,95 ± 0,00 ^d	94,44 ± 0,00 ^a
F41	35,54 ± 0,00 ^d	15,23 ± 0,00 ^c	140,36 ± 0,00 ^c	9,78 ± 0,00 ^d	4,56 ± 0,00 ^c	78,00 ± 0,08 ^b
Moyenne	60,28	17,89	151,01	22,77	4,37	77,26
CV (%)	0,01	0,02	0,01	0,03	0,12	0,09
P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; P : probabilité

3.1.1.5. Teneur en théobromine et en caféine des clones et familles d'hybrides en cours de sélection

3.1.1.5.1. Teneur en théobromine et en caféine des fèves issues de clones

L'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les six clones de l'essai E5/1 pour les teneurs en théobromine et en caféine (Tableau XV)

Concernant la teneur en théobromine, la moyenne a été de 2140,99 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,07 %. Le clone C26 avec 2810,27 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée contrairement au clone C131 avec 0,037 mg/100 g.

Quant à la teneur en caféine, la moyenne a été de 234,28mg/100 g avec un coefficient de variation de 3,17%. Le clone C21 avec 474,47 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée alors que les clones C9 (94,47 mg/100 g) et C24 (90,70 mg/100 g) ont présenté les plus faibles valeurs.

Tableau XIV. Teneurs en théobromines et caféines de 6 clones de cacaoyers de la parcelle E5/1

Clones	Théobromine (mg/100g)	Caféine (mg/100g)
C26	2810,27 $\pm$ 0,02 ^a	262,18 $\pm$ 4,81 ^b
C21	2281,78 $\pm$ 0,00 ^b	474,47 $\pm$ 2,40 ^a
C5	2228,66 $\pm$ 1,02 ^c	220,44 $\pm$ 4,95 ^c
C131	1979,70 $\pm$ 1,01 ^d	263,43 $\pm$ 6,03 ^b
C9	1977,16 $\pm$ 1,54 ^d	94,47 $\pm$ 2,47 ^d
C24	1568,39 $\pm$ 0,00 ^e	90,70 $\pm$ 3,61 ^d
Moyenne	2140,99	234,28
CV (%)	0,07	3,17
P	< 0,0001	< 0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

C : Clones

3.1.1.5.2. Teneurs en théobromine et caféine des fèves issues de familles d'hybrides

Relativement à la teneur en théobromine, la moyenne a été de 3521,22 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,06 %. La famille F26 avec 3761,38 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que la famille F22 avec 2900,14 mg/100 g a obtenu la plus faible teneur.

Concernant la teneur en caféine, la moyenne a été de 603,97 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,39 %. La famille F28 avec 841,84 mg/100 g a présenté en moyenne la plus forte valeur contrairement à la famille F26 avec 471,21 mg/100 g (**Tableau XVI**).

Tableau XV. Teneurs en théobromine et caféine des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) dans la région de Divo

Familles	Théobromine (mg/100 g)	Caféine (mg/100 g)
F26	3761,38 ± 1,66 ^a	471,21 ± 1,36 ^c
F41	3715,53 ± 1,67 ^b	552,63 ± 1,36 ^b
F28	3707,86 ± 0,00 ^c	841,84 ± 1,34 ^a
F22	2900,14 ± 0,00 ^d	550,19 ± 1,34 ^b
Moyenne	3521,22	603,97
CV	0,06	0,39
<i>P</i>	< 0,0001	< 0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : coefficient de variation ; *P* : probabilité

3.1.1.6. Profil en acide gras et en sels minéraux des clones et familles d'hybrides en cours de sélection

3.1.1.6.1. Teneur en acides gras des fèves de cacao issues de clones

Le **tableau XVII** présente la teneur en acides gras des fèves des clones obtenue par chromatographie en phase gazeuse. L'analyse du tableau a montré une différence hautement significative entre les six clones de l'essai E5/1 pour la teneur en acide palmitique, acide stéarique, acide oléique, acide linoléique, acide linolénique et en acide myristique des fèves.

Concernant l'acide palmitique, la moyenne a été de 7,46g/100 g avec un coefficient de variation de 0,04 %. Le clone C5 avec 8,66 g/100 g a eu la plus forte teneur en acide palmitique contrairement au C24 avec 6,78 g/100 g.

Pour ce qui est de la concentration en acide stéarique, la moyenne a été de 8,53 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,03 %. Le clone C24 avec 8,70g/100 g a présenté la plus forte valeur contrairement au C26 avec 8,24 g/100 g.

S'agissant de l'acide oléique, la moyenne a été de 4,89 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,07 %. Le clone C26 avec 5,20 g/100 g a eu la moyenne la plus élevée alors que le clone C24 avec 4,71 g/100 g a obtenu la moyenne la plus faible.

En ce qui concerne l'acide linoléique, la moyenne a été de 0,78g/100 g avec un coefficient de variation de 0,27 %. Le clone C9 avec 0,94 g/100 g a obtenu la moyenne en acide linoléique la plus élevée alors que le clone C21 avec 0,65 g/100 g a obtenu la moyenne la plus faible.

S'agissant de l'acide linolénique, la moyenne a été de 0,05 g/100g avec un coefficient de variation de 1,67 %. Le clone C5 (0,06 g/100 g) a présenté la plus forte teneur contrairement au C9 avec 0,02 g/100 g.

Pour l'acide myristique, la moyenne a été de 0,04g/100 g avec un coefficient de variation de 5,32 %. Les clones C5 (0,043g/100g) et C131 (0,042 g/100 g) ont obtenu les valeurs les plus élevées alors que les clones C21 (0,040 g/100 g), C131 (0,042 g/100 g), C26 (0,039 g/100 g), C24 (0,039 g/100 g) et C9 (0,035 g/100 g) a présenté de faibles teneurs en acide myristique.

Tableau XVI: Teneurs en acides gras des clones de cacaoyers de la parcelle E5/1

Clones	Acide palmitique (g/100 g)	Acide stéarique (g/100 g)	Acide oléique (g/100 g)	Acide linoléique (g/100 g)	Acide linolénique (g/100 g)	Acide myristique (g/100 g)
C5	8,66 ± 0,00 ^a	8,41 ± 0,00 ^d	4,77 ± 0,00 ^e	0,83 ± 0,00 ^b	0,06 ± 0,00 ^a	0,043 ± 0,00 ^a
C131	7,58 ± 0,00 ^b	8,69 ± 0,00 ^c	4,89 ± 0,00 ^c	0,68 ± 0,00 ^e	0,05 ± 0,00 ^c	0,042 ± 0,00 ^a
C21	7,52 ± 0,00 ^c	8,69 ± 0,00 ^b	4,98 ± 0,00 ^b	0,65 ± 0,00 ^f	0,06 ± 0,00 ^c	0,040 ± 0,00 ^{ab}
C9	7,34 ± 0,00 ^d	8,41 ± 0,00 ^d	4,81 ± 0,00 ^d	0,94 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^f	0,035 ± 0,00 ^b
C26	7,07 ± 0,00 ^e	8,27 ± 0,00 ^e	5,20 ± 0,00 ^a	0,78 ± 0,00 ^d	0,06 ± 0,00 ^b	0,039 ± 0,00 ^{ab}
C24	6,78 ± 0,00 ^f	8,70 ± 0,00 ^a	4,71 ± 0,00 ^f	0,79 ± 0,00 ^c	0,05 ± 0,00 ^d	0,039 ± 0,00 ^{ab}
Moyenne	7,46	8,53	4,89	0,78	0,05	0,04
CV	0,04	0,03	0,07	0,27	1,67	5,32
P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	<0,0001	<0,0078

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

C : Clones ; CV : coefficient de variation ; P : probabilité

3.1.1.6.2. Teneur en acides gras des fèves issues de familles d'hybrides

L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les quatre familles d'hybrides de la parcelle Test Orientatif (TO-Divo) pour les moyennes en acide palmitique,

acide stéarique, acide oléique, l'acide linoléique, acide linolénique et de l'acide myristique (**Tableau XVIII**).

Concernant l'acide palmitique, la moyenne a été de 6,41 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,02 %. La famille F28 avec 7,48g /100 g a eu la moyenne de l'acide palmitique la plus élevée alors que la famille F41 avec 5,51 g/100 g a eu la moyenne de l'acide palmitique la plus faible.

Au niveau de l'acide stéarique, la moyenne a été de 8,42 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,44 %. La famille F22 avec 8,68 g/100 g a eu la moyenne de l'acide stéarique la plus élevée alors la famille F28 avec 7,96 g/100 g a eu la moyenne de l'acide stéarique la plus faible.

S'agissant de l'acide oléique, la moyenne a été de 4,69 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,08 %. La famille F22 avec 5,21 g/100 g a eu la moyenne de l'acide oléique la plus élevée alors que la famille F26 avec 4,04 g/100 g a eu la moyenne de l'acide oléique la plus faible.

En ce qui concerne l'acide linoléique, la moyenne a été de 0,78 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,26 %. La famille F28 avec 0,87 g/100 g a eu la moyenne de l'acide linoléique la plus élevée alors que la famille F22 avec 0,66 g/100 g a eu la moyenne de l'acide linoléique la plus faible.

S'agissant de l'acide linolénique, la moyenne a été de 0,03g/100 g avec un coefficient de variation de 4,91 %. La famille F26 avec 0,04 g/100 g a eu la moyenne de l'acide linolénique la plus élevée alors que la famille F22 avec 0,01 g/100 g a eu la moyenne de l'acide linolénique la plus faible.

Pour l'acide myristique, la moyenne a été de 0,026 g/100 g avec un coefficient de variation de 7,31 %. La famille F22 avec 0,033 g/100 g a eu la moyenne en acide myristique la plus élevée contrairement à la famille F26 avec 0,019 g/100 g a eu la moyenne de l'acide myristique la plus faible.

Tableau XVII. Teneur en acides gras des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif de Divo

Hybrides	Acide palmitique (g/100 g)	Acide stéarique (g/100 g)	Acide oléique (g/100 g)	Acide linoléique (g/100 g)	Acide linolénique (g/100 g)	Acide myristique (g/100 g)
F28	7,48 ± 0,00 ^a	7,96 ± 0,00 ^d	4,65 ± 0,00 ^c	0,87 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^c	0,025 ± 0,00 ^b
F26	7,03 ± 0,00 ^b	8,44 ± 0,00 ^c	4,04 ± 0,00 ^d	0,72 ± 0,00 ^c	0,04 ± 0,00 ^a	0,019 ± 0,00 ^c
F22	5,62 ± 0,00 ^c	8,68 ± 0,00 ^a	5,21 ± 0,00 ^a	0,66 ± 0,00 ^d	0,01 ± 0,00 ^d	0,033 ± 0,00 ^a
F41	5,51 ± 0,00 ^d	8,57 ± 0,00 ^b	4,85 ± 0,00 ^b	0,84 ± 0,00 ^b	0,03 ± 0,00 ^b	0,027 ± 0,00 ^b
Moyenne	6,41	8,42	4,69	0,78	0,03	0,026
CV	0,02	0,44	0,08	0,26	4,91	7,31
P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0002

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : coefficient de variation ; P : probabilité

3.1.1.6.3. Profil en sels minéraux des fèves issues de clones

L'analyse de la variance a montré une différence significative ($P < 0,0001$) entre les six clones de l'essai clonal E5/1 pour la teneur en zinc (Zn), en cuivre (Cu), en fer (Fe), en manganèse (Mn), en sodium (Na), en magnésium (Mg), en calcium (Ca), en potassium (K), et en phosphore (P) (**Tableau XIX**).

Pour la teneur en zinc (Zn), la moyenne a été de 2,734 mg/100g avec un coefficient de variation de 0,095 %. Le clone C26 avec 6,611 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée contrairement au clone C131 avec 0,037 mg/100g.

Concernant la teneur cuivre (Cu), la moyenne a été de 0,928 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,188 %. Le clone C26 avec 3,035 mg/100 g a obtenu la plus forte teneur alors que le clone C131 avec 0,024 mg/100 g a eu la teneur la plus faible en cuivre. S'agissant de la teneur en fer (Fe), la moyenne a été de 25,699 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,007 %. Le clone C26 avec 61,152 mg/100 g a présenté la plus forte teneur contrairement au clone C131 avec 0,536 mg/100 g.

En ce qui concerne la teneur en magnésium (Mn), la moyenne a été de 0,970 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,206 %. Le clone C26 avec 3,570 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que les clones C21 et C131 avec 0,024 mg/100 g respectivement ont obtenu les teneurs les plus faibles.

Pour la teneur en sodium (Na), la moyenne a été de 103,53 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,002%. Le clone C26 avec 165,84 mg/100 g a obtenu la plus forte moyenne alors que le clone C21 avec 39,84 mg/100 g a eu la teneur la plus faible.

Concernant la teneur magnésium (Mg), la moyenne a été de 245,98 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,001 %. Le clone C26 avec 295,67 mg/100 g a présenté la teneur la plus élevée alors que le clone C21 avec 192,35 mg/100 g a eu la teneur la plus faible.

S'agissant de la teneur en calcium (Ca), la moyenne a été de 76,91 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,002 %. Le clone C26 avec 134,93 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée alors que le clone C5 avec 24,78 mg/100 g a eu la plus faible teneur.

En ce qui concerne la teneur en potassium (K), la moyenne a été de 598,31 mg/100 g. Le clone C21 avec 719,36 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée alors que le clone C26 avec 402,15 mg/100 g a eu la teneur la plus faible.

Quant à la teneur en phosphore (P), la moyenne a été de 302,92 mg/100 g. Le clone C24, avec 414,65 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que le clone C26 avec 208,96 mg/100 g, a eu la teneur la plus faible.

Tableau XVIII: Teneurs en sels minéraux des clones de cacaoyers de la parcelle E5/1

Clones	Zn (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	Ca (mg/100 g)	k (mg/100 g)	P (mg/100 g)
C26	6,611±0,00 ^a	3,035±0,00 ^a	61,152±0,00 ^a	3,570±0,00 ^a	165,84±0,00 ^a	295,67±0,00 ^a	134,93±0,00 ^a	402,15±0,00 ^f	208,96±0,00 ^f
C5	6,540±0,00 ^b	1,357±0,00 ^b	40,416±0,00 ^b	1,847±0,00 ^b	112,57±0,00 ^b	232,54±0,00 ^d	24,78±0,00 ^f	684,84±0,00 ^b	325,46±0,00 ^c
C9	2,104±0,00 ^c	0,959±0,00 ^c	20,804±0,00 ^d	0,222±0,00 ^c	104,57±0,00 ^c	195,23±0,00 ^e	85,16±0,00 ^b	619,29±0,00 ^d	368,59±0,00 ^b
C24	1,063±0,00 ^d	0,129±0,00 ^d	0,757±0,00 ^e	0,132±0,00 ^d	98,96±0,00 ^e	283,24±0,00 ^b	72,38±0,00 ^c	629,90±0,00 ^c	414,65±0,00 ^a
C21	0,047±0,00 ^e	0,062±0,00 ^e	30,53±0,00 ^c	0,02±0,00 ^e	39,84±0,00 ^f	192,35±0,00 ^f	72,14±0,00 ^d	719,36±0,00 ^a	244,57±0,00 ^e
C131	0,037±0,00 ^f	0,024±0,00 ^f	0,54±0,00 ^f	0,02±0,00 ^e	99,36±0,00 ^d	276,84±0,00 ^c	72,12±0,00 ^e	534,35±0,00 ^e	255,26±0,00 ^d
Moyenne	2,734	0,928	25,699	0,970	103,53	245,98	76,91	598,31	302,92
CV	0,095	0,188	0,007	0,206	0,002	0,001	0,002	0,000	0,000
P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

Zn : Zinc ; **Cu** : Cuivre ; **Fe** : Fer ; **Mn** : Manganèse ; **Na** : Sodium ; **Mg** : Magnésium ; **Ca** : Calcium ; **K** : Potassium ; **P** : Phosphore

C : Clones ; CV : coefficient de variation ; P : probabilité

3.1.1.6.4. Profil en sels minéraux des fèves de cacao issues de familles d'hybrides

L'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les familles d'hybrides de l'essai Test Orientatif pour l'ensemble des sels minéraux analysés (**Tableau XX**).

Concernant la teneur en zinc (Zn), la moyenne a été de 0,11 mg/100 g avec un coefficient de variation de 1,85 %. La famille F22 avec 0,25 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée alors que la famille F28 avec 0,04 mg/100 g a eu la teneur la plus faible.

Concernant la teneur cuivre (Cu), la moyenne a été de 0,25 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,70 %. La famille F41 avec 0,54 mg/100 g a obtenu la plus forte valeur contrairement à la famille F26 avec 0,08 mg/100 g.

S'agissant de la teneur en fer (Fe), la moyenne a été de 7,09 mg/100 g avec un coefficient de variation de 16,28 %. La famille F28 avec 17,69 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée alors que les familles F26 (1,87 mg/100 g) et F41 (0,37 mg/100 g) ont présenté les teneurs les plus faibles.

En ce qui concerne la teneur en magnésium (Mn), la moyenne a été de 0,26 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,86 %. La famille F22 avec 0,56 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée contrairement à la famille F26 avec 0,08 mg/100 g.

Pour la teneur en sodium (Na), la moyenne a été de 115,16 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,00 %. La famille F26 avec 190,78 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée pendant que la famille F22 avec 30,48 mg/100 g a enregistré la teneur la plus faible.

Concernant la teneur magnésium (Mg), la moyenne a été de 255,88 mg/100 g. La famille F26 avec 430,29 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée contrairement à la famille F41 avec 181,83 mg/100 g.

S'agissant de la teneur en calcium, la moyenne a été de 72,95 mg/100 g. La famille F41 avec 167,28 mg/100 g a présenté la teneur la plus élevée alors que la famille F22 avec 28,06 mg/100 g a eu la teneur la plus faible.

En ce qui concerne la teneur en potassium, la moyenne a été de 375,99 mg/100 g. La famille F41 avec 630,76 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée alors que la famille F26 avec 247,21 mg/100 g a eu la teneur la plus faible.

Quant à la teneur en phosphore, la moyenne a été de 140,82 mg/100 g. La famille F28 avec 170,92 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée et la famille F22 avec 112,08 mg/100 g a présenté la teneur la plus faible.

Tableau XIX. Teneurs en sels minéraux des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) dans la localité de Divo

Familles	Zn (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	Ca (mg/100 g)	K (mg/100 g)	P (mg/100 g)
F22	0,25±0,00 ^a	0,16±0,00 ^c	8,26±1,33 ^b	0,56±0,00 ^a	30,48±0,00 ^d	200,79±0,00 ^c	28,06±0,00 ^d	270,25±0,00 ^c	112,08±0,00 ^d
F26	0,09±0,00 ^b	0,08±0,00 ^d	1,87±0,00 ^c	0,08±0,00 ^d	190,78±0,00 ^a	430,29±0,00 ^a	35,28±0,00 ^c	247,21±0,00 ^d	161,21±0,00 ^b
F41	0,08±0,00 ^c	0,54±0,00 ^a	0,37±0,00 ^c	0,28±0,00 ^b	67,85±0,00 ^c	181,83±0,00 ^d	167,28±0,00 ^a	630,76±0,00 ^a	119,06±0,00 ^c
F28	0,04±0,00 ^d	0,22±0,00 ^b	17,69±0,00 ^a	0,11±0,00 ^c	171,53±0,00 ^b	210,62±0,00 ^b	61,18±0,00 ^b	355,76±0,00 ^b	170,92±0,00 ^a
Moyenne	0,11	0,25	7,09	0,26	115,16	255,88	72,95	375,99	140,82
CV	1,85	0,70	16,28	0,86	0	0	0	0	0
<i>P</i>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

Zn : Zinc ; **Cu** : Cuivre ; **Fe** : Fer ; **Mn** : Manganèse ; **Na** : Sodium ; **Mg** : Magnésium ; **Ca** : Calcium ; **K** : Potassium ; **P** : Phosphore

F : Familles d'hybrides ; CV : coefficient de variation ; *P* : probabilité

3.1.1.7. Caractéristiques physiques des fèves des variétés de cacaoyers en cours de sélection

3.1.1.7.1. Caractéristiques physiques des fèves de cacao de six clones

3.1.1.7.1.1. Aspects des fèves entières de cacao de six clones

L'analyse de la variance a montré une différence significative ($P < 0,001$) entre les six clones pour le caractère nombre de fèves pour 100 g. Le clone C5 (87 fèves pour 100 g) a été le meilleur pour ce paramètre contrairement au C131 avec 106 fèves pour 100 g. Par contre, aucun défaut n'a été mis en évidence sur les fèves des six clones. Concernant le taux d'humidité des fèves, l'analyse du tableau n'a révélé également aucune différence significative entre les clones (Tableau **XXI**).

Tableau XX. Caractéristiques des fèves entières de cacao analysées chez 6 clones de cacaoyers de la parcelle E5/1

Clones	Nombre de fèves /100 g	Catégories des défauts			Humidité
		Moisie %	Ardoisé %	Infecté %	
C131	106,00 ± 0,58 ^a	0,00	0,00	0,00	8,00 ± 0,00 ^a
C26	105,00 ± 0,58 ^{ab}	0,00	0,00	0,00	7,00 ± 0,57 ^a
C21	103,00 ± 1,00 ^b	0,00	0,00	0,00	8,00 ± 0,00 ^a
C24	99,00 ± 0,58 ^c	0,00	0,00	0,00	8,00 ± 0,58 ^a
C9	98,00 ± 0,58 ^c	0,00	0,00	0,00	7,00 ± 0,00 ^a
C5	87,00 ± 0,58 ^d	0,00	0,00	0,00	8,00 ± 0,58 ^a
Moyenne	99,67				7,67
CV (%)	1,16				9,22
<i>P</i>	< 0,0001				<0,2336

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

C : Clones ; CV : coefficient de variation ; *P* : probabilité

3.1.1.7.1.2. Caractéristiques des fèves des cacao coupées issues de six clones

L'analyse de la variance a montré une différence significative ($P < 0,001$) entre les six clones pour le caractère description des fèves de cacao coupées (**Tableau XXII**).

Le nombre de fèves par clone présentant la couleur marron (bonne fermentation) a varié de 77,34 (C21) à 69 fèves (C24) pour une moyenne de 71,78 fèves et un CV de 6,71 %. Concernant la couleur violette (fermentation insuffisante), les clones C131 et C26 avec 28 fèves a enregistré les valeurs les plus élevées pour ce caractère. Par ailleurs, le nombre de fèves par clone

présentant une couleur ardoisée (absence de fermentation) a varié de 5 (C24 ; C9 et C5) à 0,67 (C26) pour une moyenne de 3,28 et un CV de 27,70.%.

Tableau XXI. Nombre de fèves par couleur à la suite du test de coupe chez les six meilleurs clones de cacaoyers de la parcelle E5/1

Clones	Description de fèves coupées		
	Marrons	Violettes	Ardoisés
C21	77,34 ± 1,20 ^a	20,00 ± 1,15 ^b	2,66 ± 0,88 ^{ab}
C26	71,34 ± 0,88 ^{ab}	28,00 ± 2,66 ^a	0,67 ± 0,33 ^b
C5	72,00 ± 1,15 ^{ab}	23,00 ± 0,58 ^b	5,00 ± 1,00 ^a
C131	70,34 ± 1,45 ^{ab}	28,33 ± 2,02 ^a	1,33 ± 0,00 ^{ab}
C9	70,66 ± 2,02 ^{ab}	24,34 ± 1,86 ^b	5,00 ± 1,15 ^a
C24	69,00 ± 1,00 ^b	26,00 ± 1,00 ^{ab}	5,00 ± 1,00 ^a
Moyenne	71,78	24,95	3,28
CV (%)	6,71	19,63	27,70
<i>p</i>	< 0,0434	< 0,0033	< 0,0068

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

C : Clones ; CV : coefficient de variation ; *P* : probabilité

3.1.1.7.2. Comparaison de quatre familles d'hybrides pour leurs caractéristiques physiques de fèves de cacao

3.1.1.7.2.1. Caractéristiques physiques des fèves entières de cacao des familles d'hybrides

L'analyse de la variance a montré une différence significative ($P < 0,001$) entre les quatre familles d'hybrides pour le caractère nombre de fèves pour 100 g. Pour ce paramètre, la moyenne a été de 101,50 fèves avec un coefficient de variation de 1,61 %. La famille F41 avec 105,67 fèves a eu le nombre de fèves pour 100 g le plus élevé tandis que la famille F26 avec 98 fèves a eu le nombre de fèves pour 100 g le plus faible. S'agissant de taux d'humidité des fèves, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les familles étudiées. En outre, l'analyse du tableau indique qu'aucun défaut au niveau des fèves (**Tableau XXIII**).

Tableau XXII. Caractéristiques physiques des fèves entières de cacao analysées de 4 familles d'hybrides du Test Orientatif (TO) de Divo

Familles	Nombre de fèves /100g	Catégories des défauts			Humidité
		Moisie %	Ardoisé %	Infecté %	
F41	105,67 ± 033 ^a	0,00	0,00	0,00	7,66 ± 0,33 ^a
F22	102,00 ± 0,58 ^b	0,00	0,00	0,00	8,00 ± 0,00 ^a
F28	100,33 ± 0,00 ^{bc}	0,00	0,00	0,00	8,00 ± 0,00 ^a
F26	98,00 ± 1,53 ^c	0,00	0,00	0,00	7,66 ± 0,33 ^a
Moyenne	101,50				7,83
CV (%)	1,61				5,21
P	< 0,0014				< 0,5957

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : coefficient de variation ; P : probabilité

3.1.1.7.2.2. Caractéristiques physiques des fèves de cacao coupées issues des familles d'hybrides

L'analyse du **tableau XXIV** indique qu'aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les familles d'hybrides pour l'ensemble des trois descripteurs de couleurs évalués via le test coupe des fèves.

Tableau XXIII. Couleurs des fèves coupées de quatre familles d'hybrides du Test Orientatif (TO) de Divo

Familles	Description de fèves coupées		
	Marrons	Violettes	Ardoisées
F26	82,66 ± 0,66 ^a	15,32 ± 0,88 ^a	2,00 ± 0,58 ^a
F28	80,00 ± 1,55 ^a	16,66 ± 1,76 ^a	3,32 ± 0,66 ^a
F41	76,66 ± 0,88 ^a	20,00 ± 0,57 ^a	3,32 ± 0,33 ^a
F22	81,14 ± 0,58 ^a	15,32 ± 1,45 ^a	3,32 ± 1,33 ^a
Moyenne	80,11	16,83	2,99
CV	3,73	25,89	25,37
P	< 0,0776	< 0,5443	< 0,0729

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : coefficient de variation ; P : probabilité

3.1.1.8. Caractéristiques organoleptiques des liqueurs de cacao issues des variétés de cacaoyers en cours de sélection

3.1.1.8.1. Profil sensoriel de la liqueur de cacao de six clones

L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les six clones pour le descripteur " Amertume " et la "Note globale". En outre, une homogénéité a été observée entre eux pour les descripteurs "cacao, acidité, astringence, fruit frais, fruit doré, floral, boisé, épicé et noix (**Tableau XXV**).

Concernant l'amertume, la moyenne a été de 4,80 avec un coefficient de variation de 13,44 %. Le clone C9 avec 5,14 a eu en moyenne la plus forte amertume alors que le clone C131 avec 4,14 a eu la plus faible. Quant à la note globale, la moyenne a été de 6,51 avec un coefficient de variation de 8,94 %. Le clone C24 avec 7,21 a eu la note la plus élevée alors que les clones C9 (6,07) et C26 (6,07) ont eu les plus faibles notes.

Tableau XXIV. Arômes et note d'appréciation des clones de cacaoyers de la parcelle E5/1

Clones	Cacao	Acidité	Amertume	Astringence	Fruit frais	Fruit doré	Floral	Boisé	Épicé	Noix	Note globale
C24	6,21±0,48 ^a	0,57±0,20 ^a	4,57±0,27 ^{ab}	4,74±0,25 ^a	0,82±0,24 ^a	1,23±0,14 ^a	2,41±0,22 ^a	1,88±0,27 ^a	0,83±0,24 ^a	1,57±0,20 ^a	7,21±0,26 ^a
C5	6,25±0,26 ^a	0,64±0,28 ^a	4,58±0,22 ^{ab}	4,41±0,16 ^a	0,57±0,20 ^a	1,28±0,14 ^a	1,71±0,23 ^a	1,77±0,13 ^a	0,86±0,14 ^a	0,83±0,24 ^a	6,75±0,14 ^{ab}
C9	5,50±0,32 ^a	1,43±0,36 ^a	5,14±0,18 ^a	4,85±0,26 ^a	1,40±0,27 ^a	0,97±0,19 ^a	2,36±0,22 ^a	1,83±0,32 ^a	0,68±0,26 ^a	1,26±0,27 ^a	6,07±0,22 ^b
C26	6,07±0,31 ^a	1,14±0,34 ^a	4,85±0,28 ^{ab}	4,78±0,26 ^a	0,71±0,18 ^a	1,22±0,14 ^a	1,81±0,31 ^a	0,97±0,29 ^a	0,82±0,24 ^a	1,25±0,33 ^a	6,07±0,20 ^b
C131	6,35±0,23 ^a	1,57±0,29 ^a	4,14±0,23 ^b	4,50±0,28 ^a	0,97±0,35 ^a	1,57±0,26 ^a	1,93±0,23 ^a	1,77±0,30 ^a	1,22±0,26 ^a	1,08±0,23 ^a	6,50±0,24 ^{ab}
C21	5,43±0,97 ^a	1,42±0,52 ^a	5,50±0,24 ^a	4,21±0,14 ^a	0,85±0,34 ^a	1,25±0,17 ^a	1,88±0,28 ^a	2,00±0,30 ^a	0,78±0,21 ^a	1,25±0,17 ^a	6,50±0,21 ^{ab}
Moyenne	5,97	1,13	4,80	4,58	0,89	1,26	2,01	1,70	0,89	1,20	6,51
CV	15,18	30,10	13,44	13,65	27,60	38,47	33,06	43,77	25,32	21,16	8,94
$P \leq 0.05$	< 0,2510	< 0,2153	< 0,0069	< 0,3678	< 0,3860	< 0,3804	< 0,2642	< 0,1563	< 0,6663	< 0,4496	< 0,0065

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

C : Clones ; CV : coefficient de variation ; P : probabilité

La **figure 33** présente le profil radar des variables pour les six clones évalués. L'analyse de la figure indique bien une différenciation entre les clones pour l'amertume et la note globale contrairement aux autres descripteurs évalués.

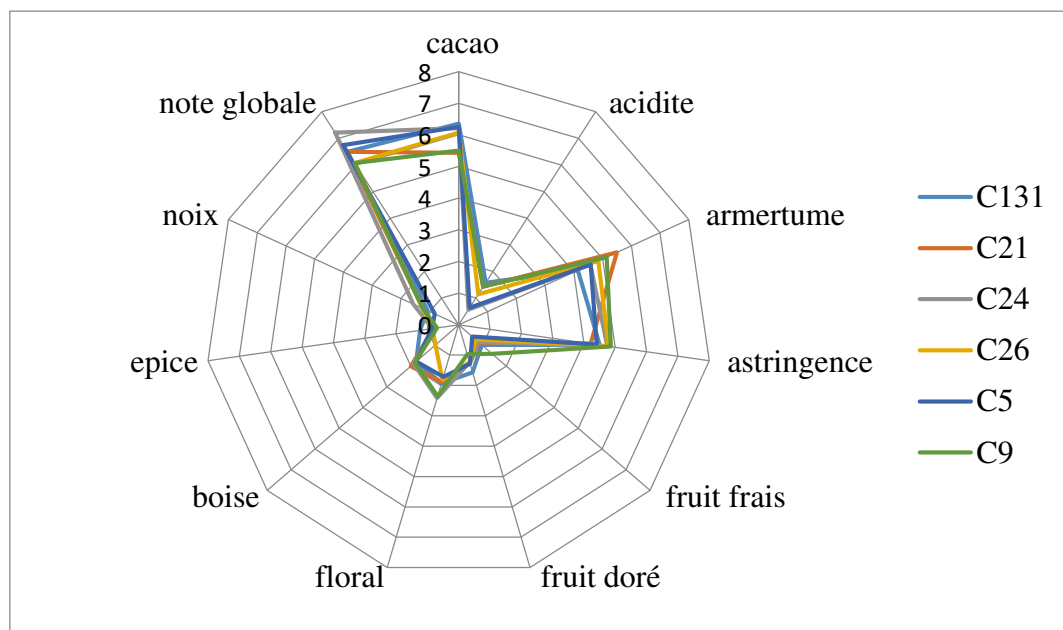


Figure 33. Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao des clones de la parcelle E5/1

C : Clones

3.1.1.8.2. Profil sensoriel de la liqueur de cacao de quatre familles d'hybrides

L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les quatre familles d'hybrides pour les descripteurs "Acidité"; "Floral" et la "Note globale". En addition, une homogénéité a été notée entre elles pour les descripteurs "cacao, amertume, astringence, fruit frais, fruit doré, boisé, épice et noix (**Tableau XXVI**).

S'agissant de l'acidité, la moyenne a été de 1,50 avec un coefficient de variation de 23,43 %. La famille F28 avec 2,43 a eu la note la plus élevée alors que les familles F41 (0,98) et F22 (1,14) ont présenté les plus faibles notes.

Pour le goût floral, la moyenne a été de 2,21 avec un coefficient de variation de 43,96 %. La famille F41 avec 3,04 a eu la note la plus grande alors que la famille F22 avec 1,37 enregistre la plus faible.

Quant à la note globale, la moyenne a été de 7,02 avec un coefficient de variation de 8,57 %. La famille F41 avec 7,58 a eu la plus forte note contrairement à F26 avec 6,58.

TableauXXV: Arômes et d'appréciation des familles d'hybrides de cacaoyers du Test Orientatif (TO) dans la région de Divo

Clones	Cacao	Acidité	Amertume	Astringence	Fruit frais	Fruit doré	Floral	Boisé	Épicé	Noix	Note globale
F41	6,32±0,30 ^a	0,98±0,09 ^b	4,08±0,22 ^a	4,25±0,14 ^a	1,68±0,36 ^a	1,30±0,16 ^a	3,04±0,38 ^a	1,73±0,13 ^a	0,97±0,19 ^a	1,30±0,25 ^a	7,58±0,25 ^a
F22	6,64±0,18 ^a	1,14±0,14 ^b	4,85±0,34 ^a	4,35±0,28 ^a	0,68±0,27 ^a	1,37±0,28 ^a	1,37±0,17 ^b	1,65±0,26 ^a	1,08±0,23 ^a	1,42±0,20 ^a	7,14±0,21 ^{ab}
F28	5,85±0,35 ^a	2,43±0,52 ^a	5,00±0,37 ^a	4,71±0,14 ^a	1,24±0,39 ^a	1,37±0,17 ^a	2,21±0,49 ^{ab}	1,94±0,03 ^a	0,97±0,19 ^a	1,22±0,26 ^a	6,78±0,18 ^{ab}
F26	5,75±0,53 ^a	1,47±0,36 ^{ab}	5,17±0,17 ^a	4,82±0,28 ^a	1,17±0,33 ^a	1,10±0,22 ^a	2,24±0,26 ^{ab}	1,63±0,25 ^a	0,80±0,23 ^a	1,42±0,25 ^a	6,58±0,25 ^b
Moyenne	6,14	1,50	4,78	4,54	1,19	1,28	2,21	1,74	0,95	1,34	7,02
CV	15,73	23,43	16,20	13,11	28,44	38,72	43,96	29,78	22,26	17,72	8,57
$P \leq 0,05$	< 0,3019	< 0,0233	< 0,0695	< 0,2408	< 0,2660	< 0,7094	< 0,0330	< 0,6684	< 0,8284	< 0,9195	< 0,0250

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

La **figure 34** présente le profil radar des variables pour les quatre familles d'hybrides évaluées. L'analyse de la figure indique bien une différenciation entre les clones pour l'acidité, le goût floral et la note globale.

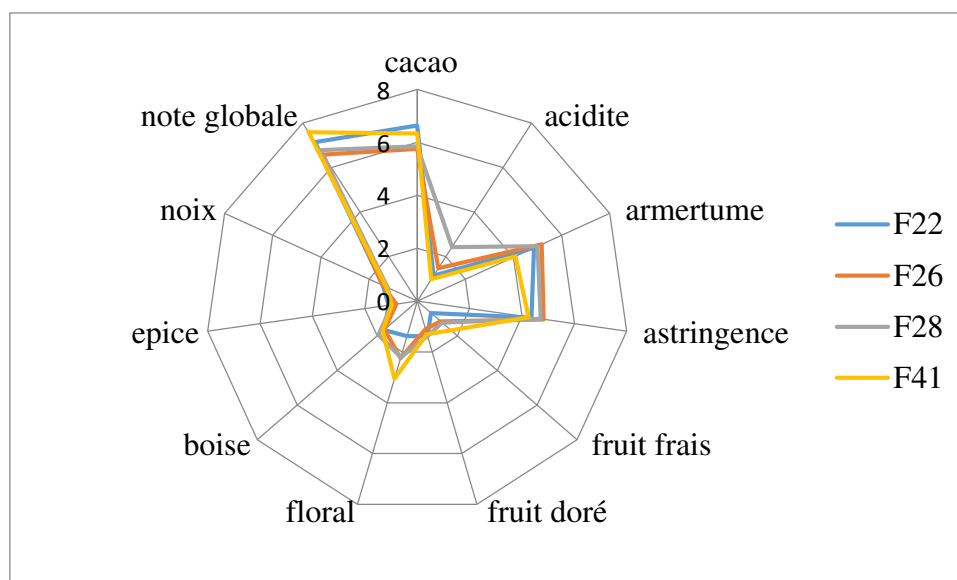


Figure 34. Profil radar de dégustateurs des liqueurs de cacao des familles d'hybrides TO/Divo

F : Familles d'hybrides

3.1.1.8.3. Structuration de clones et de familles d'hybrides suivant leurs caractères organoleptiques.

Le **Tableau XXVII** présente la contribution des axes dans la projection des variables et du matériel végétal. L'analyse du tableau indique que les deux premiers axes (F1 et F2) expriment 57,84 % de la variabilité totale. Ils ont donc été retenus pour la projection des variables et du matériel végétal.

La projection des clones et familles d'hybrides suivant le plan factoriel 1 et 2. (**Figure 35**) a permis de mettre en évidence suivant l'axe F1 (36,52 % de la variabilité totale), deux grands groupes. Le groupe 1 comprend les variétés F26 ; F28 ; C9 ; C21 et C24. Ce groupe est caractérisé par une acidité, une amertume et une note florale élevée. Le groupe 2 est composé des familles F41 ; F22 et des clones C26 ; C5 et C131. Il se caractérise par une note globale élevée.

Tableau XXVI. Valeurs propres et contribution des axes factoriels de six clones et quatre familles d'hybrides

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	4,017	2,345	1,633	1,165
Variabilité (%)	36,517	21,319	14,844	10,589
% cumulé	36,517	57,835	72,680	83,269

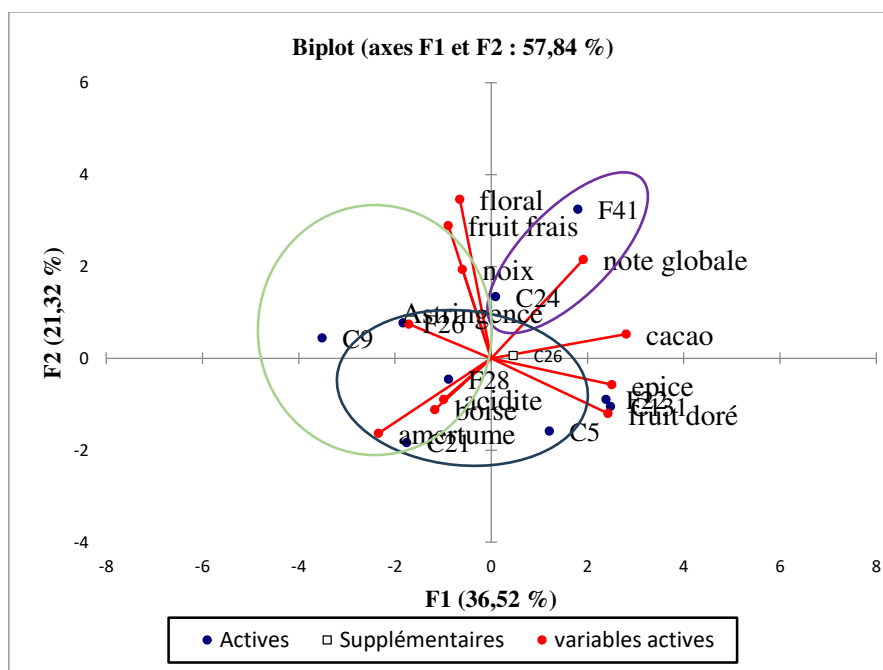


Figure 35. Répartition des liqueurs de cacao de six clones et quatre familles d'hybrides dans le plan factoriel F1 x F2 pour les paramètres sensoriels

3.1.2. Discussion

Les caractères technologique, physico-chimique, phytochimique et sensoriel des fèves de six clones de cacaoyers (C24, C5, C9, C26, C131 et C21) et de quatre familles d'hybrides (F26, F28, F22 et F41) à hauts rendements et résistants à la pourriture brune des cabosses ont été évalués.

S'agissant des paramètres technologiques, l'analyse a montré qu'il n'y a aucune différence significative entre d'une part les six clones et entre d'autre part, les quatre familles d'hybrides mis à l'épreuve pour le paramètre nombre de fèves fraîches normales (NFFN). Ce résultat suggère que les six clones et les quatre familles étudiées ont la même performance pour le nombre de fèves fraîches normales (NFFN) d'une cabosse. Le NFFN a varié de 39,45 fèves à 41,83 pour les clones et de 37,13 à 44,4 fèves pour les familles d'hybrides. Il apparaît donc que les NFFN obtenus aussi bien au niveau des clones que des familles d'hybrides sont supérieurs à la norme internationale recommandée qui se situe entre 30 et 40 fèves par cabosse (Lachenaud *et al.*, 2006). Selon Braudeau (1969), cette situation serait imputable à une quantité suffisante de pollens compatibles permettant une bonne pollinisation des fleurs.

Pour les deux autres caractères technologiques mesurés (Poids de fèves fraîches normales d'une cabosse et poids d'une fève sèche), l'analyse a montré des différences significatives entre d'une part, les 6 clones et entre d'autre part, les 4 familles, suggérant ainsi la possibilité de classer les clones et les familles d'hybrides, des plus performants aux moins performants. Les clones C24 et C5, et la famille F26 ont été en tête de classement pour le poids de fèves fraîches normales (PFFN) d'une cabosse, tandis que les clones C9, C26, C131 et C21 d'une part et la famille F41 d'autre part, ont été au bas du classement. Quant au poids d'une fève sèche (P1FS), les résultats ont montré que ce paramètre a varié de 1,39 g (C9) à 0,94 g (C21) au niveau des clones et de 1,69 (F26) à 1,07g (F41) au niveau des familles. Ces résultats sont en accord avec ceux de Enriquez et Soria (1968). Selon ces auteurs, le poids des fèves sèches varie considérablement selon les accessions et oscille de 0,5 g à 2,5 g. Dans le cadre de nos travaux, à l'exception du clone C21 dont le P1FS a été de 0,94 g, tous les autres clones et toutes les 4 familles ont présenté un P1FS supérieur ou égal à la norme industrielle recherchée par les chocolatiers qui est de 1 g pour 1 fève de cacao marchand (Adamako *et al.*, 2003). Par ailleurs, selon Eskes *et al.* (2012), les cacaoyers dont le poids moyen d'une fève de cacao marchand est compris entre 1,30 g et 1,48 g peuvent être considérés comme présentant un bon grainage. Sur cette base, le clone C9 avec un P1FS de 1,39 g et les familles d'hybrides F28 et F26, avec des P1FS de 1,33 g et 1,69 g respectivement, présentent un bon grainage. En effet,

pour qualifier la qualité de la fève, les industriels chocolatiers s'intéressent à deux caractéristiques. Il s'agit de l'uniformité et de la grosseur. Il est donc essentiel de considérer le poids moyen des fèves de cacao marchand comme un critère important dans l'amélioration génétique du cacaoyer.

Les résultats de nos travaux ont montré que la famille F26 a été meilleure aussi bien pour le poids de fèves fraîches normales (PFFN) d'une cabosse avec une moyenne de 171,62 g que pour le PIFS avec une moyenne de 1,69 g. Ce résultat confirme la performance technologique de F26 issue du croisement UPA409 x POR, qui représente le meilleur hybride actuellement vulgarisé en Côte d'Ivoire pour son rendement élevé et la grosseur de ses fèves. En effet, cette bonne performance de F26 provient de POR, un clone appartenant au groupe des Trinitario, réputés pour la grosseur de leurs fèves comme déjà évoqué par des travaux antérieurs (Lachenaud *et al.*, 2001 ; Motamayor *et al.*, 2003).

Concernant les caractéristiques physico-chimiques des clones et familles d'hybrides, les résultats ont montré une différence significative entre les clones d'une part et entre les familles d'hybrides d'autre part pour les paramètres évalués. Le pH a varié de 5,04 à 5,74 pour les clones, et de 4,23 à 5,71 pour les familles d'hybrides. Tous les clones et toutes les familles d'hybrides ont présenté un pH acide (c'est-à-dire inférieur à 7), montrant ainsi que les fèves de cacao du matériel végétal étudié constituent des substrats propices à la prolifération des moisissures. En effet, les champignons peuvent se développer dans une plage de pH allant de 3 à 8 avec un optimum de croissance situé entre 5 et 6. Les moisissures apparaissent en dernier dans le milieu fermentaire et sont capables de générer des composés responsables d'une odeur désagréable du cacao.

S'agissant des sucres totaux et des sucres réducteurs, les résultats ont indiqué que les teneurs les plus élevées étaient respectivement de 4,60 % (C21) pour les clones et de 0,72 % (F22) pour les familles d'hybrides. Le niveau de sucres totaux dans le cacao après séchage est crucial, car il influence la quantité de substances aromatiques formées lors de la torréfaction ultérieure. Les sucres réducteurs, notamment le glucose, subissent des transformations, lors des réactions de Maillard ou de caramélisation, donnant naissance à des composés d'Amadori qui, par la suite évoluent en d'autres substances lors de réactions additionnelles, contribuant ainsi au développement de couleur et de la saveur (Afoakwa *et al.*, 2008).

En ce qui concerne la teneur en cendres, les résultats ont révélé qu'elle a varié de 1,20 % (C26) à 3,33 % (C9) pour les clones et de 3,25 % (F26) à 4,15 % (F41) pour les familles

d'hybrides. Cette variation de la teneur en cendre peut être attribuée à l'influence de facteurs pédologiques, climatiques et agronomiques (Colas & Petel, 2004). Les résultats montrent que les teneurs observées au niveau des familles d'hybrides surpassent celles rapportées par Grassia *et al.* (2019), qui ont mesuré une teneur en cendre de 0,9 % pour les fèves du Pérou, 1,20 % pour ceux des hybrides de Ghana et 1,20 % pour celle du créole de l'Equateur.

Pour les lipides, les résultats ont montré que la concentration en lipides variait de 18,44 à 73,24 % pour les clones et de 19,20 à 24,99 % pour les familles d'hybrides. Cette variation de la teneur en lipides peut être attribuée aux conditions géographiques ainsi qu'aux différents cultivars (Borchers *et al.*, 2000 ; Lipp et Anklam, 1998). Les résultats ont montré que de tout le matériel végétal testé (Clones et familles d'hybrides), le clone C21, avec une concentration de 73,24 % a présenté la plus forte teneur en lipides, suggérant ainsi que C21 possède une grande valeur commerciale, car les fèves de cacao à haute teneur en lipides jouent un rôle essentiel dans l'industrie du chocolat (Fapohunda & Afolayan, 2012). La valeur moyenne de la teneur en lipides des clones a été de 49,59 %. Ce résultat est en accord avec la teneur en lipides trouvée en Côte d'Ivoire (49.5 ± 3.0 g/100g) par Bertazzo *et al.* (2011).

Quant aux fibres, les résultats ont montré que les moyennes ont varié de 23,44 à 36,47 % pour les clones et de 15,65 à 19,83 % pour les familles d'hybrides. Les valeurs obtenues par les variétés étudiées sont inférieures à celle rapportées par Karim *et al.* (2022), qui indiquent $38 \pm 2,00$ % pour les fèves de variété "Mercedes" de la région du Loh Djoboua (Divo). Le clone C24, avec un taux de 36,47 % présente la teneur en fibres la plus élevée de l'étude. La valeur ainsi obtenue est supérieure à la teneur de 23 à 29 % pour les fèves de cacao de variété "*Theobroma cacao*" trouvée par Borchers *et al.* (2000). Les fibres jouent un rôle essentiel pour l'organisme, car elles régulent le transit intestinal et préviennent l'absorption excessive de cholestérol (Mensah *et al.*, 2008). Etant donné que les variétés de l'étude sont riches en fibres, un apport adéquat de cacao dans l'alimentation pourrait contribuer à réduire le risque de maladies cardiovasculaires, de diabète de type 2, d'obésité et de certains cancers (Hu *et al.*, 2000 ; Kant *et al.*, 2004).

Au niveau des paramètres phytochimiques et biochimiques des fèves de cacao, les analyses des teneurs en polyphénols et en flavonoïdes totaux ont révélé des différences significatives entre d'une part, les clones et d'autre part, les familles d'hybrides pour tous les paramètres mesurés. En effet, les teneurs en polyphénols ont varié de 1044,87 à 1538,68 mg EAG/100 g de MS, pendant que celles des flavonoïdes totaux ont oscillé de 491,60 à 586,64 mg EQ/100 g de MS au niveau des clones. Pour les familles d'hybrides, les teneurs en

polyphénols ont fluctué de 1269,60 à 15555,01 mg EAG/100 g de MS, tandis que celles des flavonoïdes totaux ont varié de 543,70 à 659,16 mg EQ/100 g de MS. Ces résultats corroborent ceux d'Othman *et al.* (2007), qui ont également observé des teneurs en polyphénols de 659,16 mg EQ/100 g de MS au niveau des familles d'hybrides. Par ailleurs, la teneur la plus élevée a été trouvée dans la famille F22. Toutefois, les teneurs de polyphénols révélées des clones et des familles d'hybrides dans l'étude sont inférieures à ceux rapportés par Nazarduddin *et al.* (2001) puis Hii *et al.* (2012). Hill *et al.* (2012) ont noté des concentrations en polyphénols variant entre 45 et 73,9 mg EAG/g au niveau du séchage solaire des fèves de cacao. De même, Nazarduddin *et al.* (2001) ont enregistré des teneurs variants entre 45,75 et 52,31 mg EAG/g dans les conditions similaires. Les faibles niveaux de polyphénols observés peuvent être attribués, dans un premier temps, à l'effet de la chaleur générée durant le séchage solaire, qui peut fluctuer en fonction des conditions climatiques tout au long du processus. Cette chaleur pourrait contribuer à diminuer la concentration en polyphénols (Hii *et al.*, 2009 ; Kyi *et al.*, 2005). Dans un second temps, les conditions d'ensoleillement intense peuvent favoriser la dégradation de la structure des polyphénols (Renard *et al.*, 2014). De nombreuses recherches antérieures ont démontré que les différentes phases du traitement des fèves de cacao influencent de manière significative la teneur en polyphénols ainsi que leur biodisponibilité (Wollgast et Anklam, 2000 ; Summa *et al.*, 2006 ; Ortega *et al.*, 2009). Toutes les opérations telles que la fermentation, le séchage, l'alcalinisation et la torréfaction, entraînent une dégradation significative des composés polyphénoliques (Ortega *et al.*, 2008 ; Schinella *et al.*, 2010). Bien que le stade de maturité détermine la teneur des composés phénoliques et leurs propriétés, d'autres facteurs tels que les conditions climatiques ou agronomiques, le moment de la récolte, ainsi que les conditions et la durée de stockage, jouent également un rôle important (De Pascual-Teresa *et al.*, 2000 ; Rusconi & Conti, 2010). Il convient de noter que les niveaux réduits en polyphénols contribuent à diminuer l'amertume et l'astringence des fèves de cacao. Cependant, de nombreuses recherches ont démontré que les polyphénols et leurs métabolites peuvent également agir comme des modulateurs des voies de signalisation de l'inflammation (Ksouri *et al.*, 2007). Les nombreux bienfaits du cacao sur la santé peuvent être attribués à sa richesse en polyphénols, qui peuvent moduler les effets oxydatifs liés au développement des maladies cardiovasculaires et cérébrovasculaires, ainsi que de certains types de cancer (Ioannone *et al.*, 2015). Les polyphénols présents dans le cacao exercent une fonction antioxydante, contribuant à atténuer divers troubles pathologiques, notamment les maladies cardiovasculaires, les inflammations et le cancer (Oracz *et al.*, 2013). Par ailleurs, Les polyphénols sont considérés comme étant le principal facteur expliquant leurs effets protecteurs (Nijveldt *et al.*, 2001). Ces polyphénols

peuvent être influencés par différentes conditions biologiques et de traitement lors de la transformation du matériel végétal en produits finis (Oracz *et al.*, 2013). Concernant les teneurs en flavonoïdes totaux, des variations ont été révélées au sein des différentes familles d'hybrides et de clones étudiés. Les clones et les familles d'hybrides ont présenté une variabilité interne en fonction du processus de fermentation, qui est connu comme une étape cruciale des traitements post-récoltes du cacao.

Des variations significatives ont été révélées dans les concentrations de méthylxanthines dans les fèves analysées. La variation dans la composition en méthylxanthines des différentes variétés peut être due à la présence de fèves de cacao sous-fermentées, qui contiennent des niveaux plus élevés de théobromine et de caféine par rapport aux échantillons fermentées (Mat *et al.*, 2016). La concentration la plus élevée en théobromine a été observée dans la famille F26, atteignant 3761,38 mg/100 g tandis que la famille F28 a présenté la plus forte teneur en caféine avec 841,38 mg/100 g. Les fèves de cacao, produit principal du cacao possèdent des propriétés stimulantes en raison de leur contenu en théobromine et en caféine (Araujo *et al.*, 2014). En outre, les teneurs en théobromine et caféine concordent avec celles rapportées par Bucheli *et al.* (2001), qui ont indiqué des concentrations de théobromine variant de 1000 à 3000 mg/100 g et de caféine de 200 à 1000 mg/100 g.

Concernant le profil des composés phénoliques, des épicatechines, catéchines, théobromines, caféines, quercétines proanthocyanidines ont été dosés dans les fèves analysées. Les teneurs de ces composés ont varié significativement tant au sein des clones que des familles d'hybrides. Ces variations peuvent être dues aux zones de plantation qui sont influencées par la diversité des variétés des fèves (Niemenak *et al.*, 2006 ; Othman *et al.*, 2010). Par ailleurs, les épicatechines, les théobromines et les proanthocyanidines constituent les composés phénoliques les plus significatifs présents dans les fèves de cacao du matériel végétal étudié. Ces conclusions contredisent celle de Wollgast & Anklam (2000) qui avaient affirmé que les catéchines, les anthocyanes et les proanthocyanidines font partie des polyphénols les plus représentatifs des fèves de cacao.

En ce qui concerne le profil des acides gras des échantillons de fèves analysés, les résultats ont révélé que la présence d'acide palmitique, d'acide stéarique, d'acide oléique, d'acide linoléique, d'acide linoléique et d'acide myristique observée dans l'étude sont en accord avec ceux de Liendo *et al.* (1997). Toutefois, certaines proportions sont relativement plus élevées. Elles ont été désignées comme étant des molécules prépondérantes ou majoritaires. Pour les variétés examinées, les acides gras prépondérants sont l'acide palmitique,

l'acide stéarique et l'acide oléique. Les divers extraits de beurre de cacao contiennent à la fois des acides gras saturés et insaturés. Pour les acides gras saturés, la présence des acides palmitique et stéarique a été observée. Les acides oléique et linoléique constituent les principaux acides gras insaturés présents dans les différents échantillons de beurre comme l'ont signalé Chasirie & Dimick (1989) dont les résultats ont montré que plus de 85 % des échantillons analysés présentent des constituants similaires en triacylglycérol. Parmi ceux-ci, le 1,3-palmitoyl-2-oléoylglycérol (POP), le 1-palmitoyl-2-oléoyl-3-stéaroylglycérol (POS) et le 1,3-stéaroyl-2-oléoylglycérol (SOS) ont été trouvés. Ces triacylglycérols identifiés sont principalement composés de trois acides gras majoritaires : acide palmitique, acide stéarique et acide oléique qui sont les acides gras prédominants dans cette étude. Krysiak (2011) a rapporté des valeurs plus élevées pour l'acide palmitique (23,13-24,59 %), l'acide stéarique (33,51-34,04 %) et l'acide oléique (32,31-33,50 %) dans le beurre de cacao extrait des fèves séchées artificiellement par le mode de convection forcée (135-140 °C) et traitées par un environnement électromagnétique (700 W). Les variétés examinées présentent des niveaux élevés d'acide stéarique atteignant jusqu'à 8,70 g/100 g. Des recherches ont suggéré que l'acide stéarique pourrait avoir des effets bénéfiques sur la tension artérielle et la coagulation du sang, remettant en question le risque qui lui est associé dans le cadre des maladies cardiovasculaires. Les acides oléique et linoléique sont également présents en quantité significatives dans les échantillons de nos variétés, jouant un rôle crucial sur le plan nutritionnel en contribuant à la prévention des maladies cardiovasculaires par la réduction du taux de cholestérol (Siri-Tarino *et al.*, 2010).

La présence de cinq macroéléments (K, Ca, Mg, Na, P) et quatre oligo-éléments (Cu, Fe, Mn, Zn) a été révélée dans les fèves analysées. Cette composition minérale concorde avec celle des différentes fèves de cacao provenant des régions d'Afrique de l'Ouest et d'Amérique du Sud (Del Gobbo *et al.*, 2013). Cependant, les valeurs obtenues dans la présente étude sont supérieures à celles fournies par la National Nutrient Database for Standard Reference (USDA, 2011) pour le chocolat noir contenant entre 70-85 % de masse de cacao présentant des teneurs de 1,948 mg/100 g de manganèse ; 1,766 mg/100 g de cuivre et de 3,31 mg/100 g de zinc et 11,90 mg/100g de fer. Par ailleurs, le fer s'est révélé être le microélément le plus abondant dans l'ensemble des éléments analysés. Le fer joue un rôle crucial dans l'oxygénation du sang, tant au niveau des cellules que des muscles. En intégrant la structure de l'hémoglobine, il facilite le transport de l'oxygène inhalé vers l'ensemble des organes du corps. Sa présence est essentielle au bon fonctionnement du système immunitaire. De plus, le fer est déterminant pour le

développement et le maintien des fonctions cognitives, telles que la concentration, la mémoire et l'apprentissage. Il contribue également à atténuer la fatigue.

Le zinc, quant à lui, est fondamental pour notre organisme et intervient dans divers domaines. Nos systèmes immunitaire et hormonal dépendent de lui pour fonctionner correctement. Il joue également un rôle crucial dans la santé de la peau et des cheveux. En outre, le magnésium est un cofacteur essentiel dans de nombreuses réactions du métabolisme cellulaire, agissant comme catalyseur dans des processus biologiques variés, tels que la synthèse des protéines, la transmission des signaux nerveux, les mouvements musculaires, la production d'énergie, ainsi que la minéralisation des os et des dents (Soetan *et al.*, 2010). La teneur la plus élevée en phosphore a été enregistrée par le clone C24 (414,65mg/100g). Le phosphore joue un rôle structural pour les os et les dents en association avec le calcium. Il aide également au maintien de l'équilibre acido-basique et l'organisme.

En ce qui concerne l'analyse physique des fèves de cacao des clones et des familles d'hybrides, la qualité du cacao marchand est apprécié à plusieurs niveaux. Elle tient compte de la teneur en eau des fèves fermentées et séchées, de la couleur à la coupe et des caractéristiques sensorielles. Les échantillons de cacao analysés, provenant des clones ont un nombre de fèves pour 100 g variant entre 87 et 106, avec un taux d'humidité oscillant de 7 à 8 %. Par contre, celles des fèves des familles hybrides ont un nombre variant entre 98 à 105,67 fèves, avec un taux d'humidité allant de 7,66 à 8. Les familles d'hybrides et les clones ayant enregistré moins de 100 fèves pour 100 g d'échantillons pesés se rapprochent génétiquement des variétés trinitario connues pour leurs grosses fèves (Motamayor *et al.*, 2003).

S'agissant du taux d'humidité des fèves issues des différentes familles d'hybrides et des clones, il demeure globalement inférieur à 8 %. Ces valeurs sont en accord avec celles de l'Association Française du Chocolat, Biscuit et Confiserie/ European Cocoa Association/ Federation of Cocoa Commerce (CAOBISCO/ECA/FCC, 2015), qui stipule que le taux d'humidité des fèves de cacao marchand est inférieur à 8 %. Un taux d'humidité de 8 % favoriserait le développement des champignons (Dharmaputra *et al.*, 1999). Si ce taux dépasse 8 %, le risque de contamination fongique augmente considérablement, permettant à tout saprophyte de se développer (Guehi *et al.*, 2010a ; Hii *et al.*, 2009) ; ce qui pourrait avoir des conséquences néfastes sur la sécurité sanitaire, l'arôme et la qualité de transformation du cacao marchand en chocolat et en produits dérivés (CAOBISCO/ECA/FCC, 2015). Par ailleurs, lorsque le taux d'humidité est inférieur à 6,5 %, la coque devient trop fragile, entraînant une

désintégration facile des fèves. Cela engendre une proportion élevée de fèves brisées, avec un risque d'atteindre des niveaux d'acides gras libres dépassant les normes établies.

En ce qui concerne le Test de coupe, un pourcentage élevé de fèves de couleur marron a été enregistré au niveau des clones (69 à 77,34 %) qu'au niveau des familles d'hybrides (20 à 28,33 %). Le taux des fèves marron observé dans cette étude dépasse largement 50 %. Une telle coloration indique une fermentation adéquate, ainsi qu'un bon équilibre entre l'amertume et l'astringence. Les fèves de couleur marron (brune) résultent de l'action des enzymes, notamment les polyphénols oxydases (Clapperton *et al.*, 1994). Les durées de fermentation des fèves observées dans les diverses zones de production n'affectent pas le taux de fèves ardoisées, comme le montrent les faibles pourcentages (inférieurs à 5 %). Les temps de fermentation moyens, variant entre 5 et 6 jours, se sont révélés adéquats pour obtenir un faible taux de fèves ardoisées dans les échantillons analysés. En effet, les fèves ardoisées sont le signe d'une fermentation insuffisante, se traduisant par un goût peu chocolaté, ainsi qu'une amertume et une astringence marquées (Barel, 1997). De plus, les fèves violettes indiquent également une fermentation incomplète, avec un goût peu chocolaté, amer et astringent, comme l'a souligné Barel en 1997. Leur proportion est restée inférieure à 40 % dans l'ensemble des échantillons collectés. Cela s'explique par les conditions de bonnes pratiques d'activité post-récolte appliquée au cours des différentes étapes de fermentation et de séchage. Par ailleurs, les cabosses immatures, lors de la fermentation, produisent des fèves plates et compactes après séchage, ce qui entraîne la formation de fèves violettes, conduisant à un chocolat très amer, dépourvu d'arôme chocolaté. La présence de ces types de fèves (violettes et ardoisées) dans les productions peut constituer un facteur de dévalorisation du cacao.

Quant à l'analyse organoleptique de la liqueur de cacao, les scores des attributs cacaos torréfiés, bien fermentés, séchés et sans défauts des variétés ont varié de 5,43 à 6,64. Cette plage de variation les classe parmi les cacaos d'Afrique de l'Ouest et des Hispaniola de la République Dominicaine (Braudeau, 1969). Concernant la note de l'acidité, les intensités ont varié de 0,57 à 1,57 pour les clones et de 0,94 à 2,43 pour les familles d'hybrides. La variation de ces intensités pourrait être due aux modifications biochimiques des fèves de cacao au cours de la fermentation (Jinap, 1994). Dans la présente étude, le score de l'acidité le plus élevé a été de 2,43, correspondant à la famille F28 du Test Orientatif (TO) de Divo. Sur le plan sensoriel, une acidité élevée se traduit par des attributs plus élevés dans le goût du produit (Kuijer, 1954). En ce qui concerne l'amertume, les scores des intensités ont varié de 4,14 à 5,50 pour les clones de la parcelle E5/1. La variation des scores pour ces variétés pourrait être due aux génotypes des

variétés des différentes familles (Clapperton *et al.*, 1994). Concernant l'astringence, les scores des intensités des variétés ont été tous homogènes. Cela pourrait être causées par plusieurs constituants, qui sont modifiés lors du traitement post-récolte (fermentation et séchage) et de la torréfaction. S'agissant des notes fruitées et florales, les valeurs ont varié de 0,42 à 1,74 pour le fruit frais, de 0,82 à 1,57 pour le fruit doré et de 1,37 à 3,04 pour la note florale de l'ensemble des variétés mises à l'épreuve. Les attributs sensoriels fruités et floraux détectés dans les échantillons de la liqueur de cacao pourraient être liés à une production élevée de cétones au cours de la fermentation. Assi *et al.* (2019) ont rapporté que la principale cétone présente dans le chocolat influence l'arôme global conférant une saveur fruitée.

3.1.3. Conclusion partielle

Les résultats présentés dans ce travail ont permis de renforcer les connaissances scientifiques sur le matériel végétal développé par le CNRA, en particulier, les informations sur les paramètres technologiques, physicochimiques, phytochimiques, biochimiques et sur les qualités sensorielles de clones et des familles d'hybrides étudiés. Les résultats de l'étude ont montré que la famille F26 et le clone C9 en particulier ont été révélés plus performants pour les caractères technologiques des fèves. La famille F26 avec un pH de 5,71, une acidité titrable de 1,03 meq/100 g, une teneur en sucres totaux de 0,70 g/mL, en sucres réducteurs de 1,33 g/mL, un taux de lipides de 24,99 % et le clone C131 avec une teneur en sucre réducteur de 2,09 g/mL, un taux de cendre de 3,00 g/mL, et un taux de lipides de 72,01 % ont présenté les meilleurs paramètres physicochimiques. Concernant les aspects biochimiques, les familles F22 (86,18 mg/100 g en épicatechine, 184,37 mg/100g en théobromine et 5,07 mg/100 g en quercétine), et le clone C131 (73,22 mg/100 g en épicatechine, 22,79 mg/100 g en catéchine et 19,61 mg/100 g en caféine) ont été meilleurs pour leurs teneurs élevées en composés phénoliques. La famille d'hybrides F28 (avec 1503,53 mg EAG/100 g de teneur en polyphénols 620,85 mg EQ/100 g en flavonoïdes) et le clone C5 (avec 1538,68 mg EAG/100 g de teneur en polyphénols 586,64 mg EQ/100 g en flavonoïdes) ont été meilleurs pour les composés phytochimiques. La famille F41 (3715 mg/100 g de théobromine et 552,63 mg/100 g de caféine) et les clones C26 et C21 respectivement 2810,27 mg/100 g et 2281,78 mg/100 g de théobromine et 262,180 mg/100 g et 474,47 mg/100 g de caféine ont présenté les meilleures teneurs. Le clone C5 (8,66 g/100 g d'acide palmitique, 0,06 g/100 g d'acide linoléique et 0,04 g / 100 g d'acide myristique) et la famille F22 (8,68 g/100 g d'acide stéarique, 5,21 g/100 g d'acide oléique et 0,033 g/100 g en acide myristique) ont présenté un bon profil des acides gras. La famille F41 (0,54 mg/100 g de

cuivre, 167,28 mg/100 g de calcium et 630,76 mg/100 g de potassium) et le clone C26 (6,61 mg/100 g de zinc, 3,035 mg/100 g de cuivre ; 61,15 mg/100 g de fer ; 3,57 mg/100 g de manganèse ; 165,84 mg/100 g de sodium, 295,67 mg/100 g de magnésium et 134,93 mg/100 g de calcium) ont présenté les meilleurs teneurs en sels minéraux. Les familles d'hybrides F41 avec la note de 3,04 pour l'attribut florale, F26 avec la note de 2,43 pour l'acidité et les clones C9 avec la note de 5,14 pour l'amertume ont présenté les qualités sensorielles les plus intenses.

Au vu de la nature des paramètres évalués, les résultats obtenus permettent de sélectionner les clones et les familles d'hybrides présentant les meilleures caractéristiques technologiques, physicochimiques, phytochimiques, biochimiques et sensorielles, en plus de leurs bonnes performances pour le rendement et la résistance à la pourriture brune des cabosses.

3.2. Chapitre 2 : Effet de l'origine génétique du pollen sur les qualités physico-chimique, technologique et sensorielle des fèves de cacao

3.2.1. Résultats

3.2.1.1. Caractéristiques technologiques des fèves de cacao issues de pollinisations contrôlées

L'analyse de variance a montré une différence significative entre les neuf familles d'hybrides des croisements pour les caractères nombres de fèves fraîches normales (NFFN), poids de fèves fraîches normales (PFFN) par cabosse et poids d'une fève sèche (P1FS) (**Tableau XXVIII**). Pour le nombre de fèves fraîches normales par cabosse (NFFN), la moyenne a été de 46,46 fèves avec un coefficient de variation de 17,45 %. Les croisements C20 X IMC67 avec 49,57 fèves et C20 X POR avec 49,17 fèves ont eu les nombres de fèves fraîches normales par cabosse (NFFN) les plus élevés. Par contre, les croisements T79/501 X IMC67 avec 42,13 fèves et T79/501 X C151-61 avec 42,67 fèves ont eu les plus petits nombres de fèves fraîches normales par cabosse (NFFN). En ce qui concerne le poids de fèves fraîches normales (PFFN), la moyenne a été de 136,04 g avec un coefficient de variation de 21,92 %. Les croisements C20 X IMC67 (156,27g) et C20 X C151-61 (148,80 g) ont eu les poids de fèves fraîches normales (PFFN) les plus élevés. Par contre, le croisement T79/501 X C151-61 avec 116,13 g a obtenu le plus petit poids de fèves fraîches normales (PFFN). S'agissant du caractère poids d'une fève sèche (P1FS), la moyenne a été de 1,21 avec un coefficient de variation de 8,81 %. Le croisement UPA409 X IMC67 avec 1,26 g a enregistré le plus grand poids d'une fève sèche alors que, le croisement T79/501 X POR (1,11 g) a eu le plus petit.

Tableau XXVII. Paramètres technologiques des fèves de cacao de neuf hybrides issus de pollinisations contrôlées

Croisements	Paramètres évalués		
	NFFN	PFFN	P1FS
T79/501 X POR	46,37 ± 0,85 ^{ab}	124,33 ± 2,88 ^{bc}	1,11 ± 0,00 ^f
T79/501 X C151-61	42,67 ± 1,16 ^b	116,13 ± 4,23 ^c	1,17 ± 0,01 ^e
T79/501 X IMC67	42,13 ± 1,34 ^b	122,87 ± 4,80 ^{bc}	1,21 ± 0,01 ^{cd}
C20 X POR	49,17 ± 1,30 ^a	143,80 ± 4,41 ^{ab}	1,22 ± 0,01 ^{bcd}
C20 X C151-61	48,23 ± 1,20 ^{ab}	148,80 ± 4,44 ^a	1,20 ± 0,01 ^{de}
C20 X IMC67	49,57 ± 1,85 ^a	156,27 ± 7,97 ^a	1,25 ± 0,01 ^{ab}
UPA409 X POR	45,47 ± 2,06 ^{ab}	141,33 ± 8,28 ^{ab}	1,18 ± 0,01 ^e
UPA409 X C151-61	46,23 ± 1,87 ^{ab}	127,50 ± 5,67 ^{bc}	1,24 ± 0,01 ^{bac}
UPA409 X IMC67	48,33 ± 1,19 ^{ab}	143,37 ± 3,72 ^{ab}	1,26 ± 0,01 ^a
Moyenne	46,46	136,04	1,21
CV (%)	17,45	21,92	8,81
P ≤ 0.05	< 0,0013	< 0,0001	< 0,0001

NFFN : nombre de fèves normales ; **PFFN** : poids de fèves fraîches normales ; **P1FS** : poids d'une fève sèche ; **CV** : Coefficient de variation ; **P** : Probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.2.1.2. Propriétés physicochimiques

3.2.1.2.1. Caractéristiques physico-chimiques des fèves de cacao de pollinisations contrôlées.

L'analyse de variance a montré une différence significative entre les neuf familles d'hybrides pour les caractères pH, sucres totaux, sucres réducteur, taux de cendres, teneur en fibres, teneur en protéines. En outre, une homogénéité a été notée entre ces familles pour les caractères acidité titrable, taux de matière sèche (**Tableau XXIX**). Pour le pH, la moyenne a été de 5,64 avec un coefficient de variation de 0,39 %. Le croisement UPA409 X C151-61 avec 6,10 a enregistré le plus grand pH. Par contre, le croisement C20 X POR avec 4,96 a obtenu le plus bas pH. En ce qui concerne les sucres totaux, la moyenne a été de 1,79 avec un coefficient de variation de 11,70 %. Le croisement C20 X POR avec 4,95 a eu la teneur en sucres totaux la plus élevée. Par contre, les croisements T79/501 X POR (1,08), T79/501 X C151-61 (1,25), C20 X IMC67 (0,94), C20 X C151-61 (0,91), UPA409 X POR (1,27) et UPA409 X C151-61 (1,31) ont noté les plus faibles teneurs en sucres totaux. S'agissant des sucres réducteurs, la moyenne a été de 0,09 avec un coefficient de variation de 3,33 %. Le croisement C20 X C151-61 avec 5,20 a eu la plus grande teneur en sucres réducteurs. Contrairement aux croisements UPA409 X IMC67 (0,79) et C20 X POR (0,88). Concernant le taux de cendres, la moyenne a

été de 2,84 avec un coefficient de variation de 9,25 %. Les croisements T79/501 X POR (3,29) et T79/501 X C151-61 (2,41) ont enregistré les taux de cendres les plus élevés. Par contre, le croisement UPA409 X POR (2,28) a eu la plus faible teneur. S'agissant de la teneur en fibres, la moyenne a été de 17,80 % avec un coefficient de variation de 1,08 %. Les croisements T79/501 X POR (18,78 %), C20 X IMC67 (18,77 %), C20 X C151-61 (18,90 %), UPA409 X POR (18,74 %) et UPA409 X C151-61 (18,57 %) ont eu les teneurs en fibres les plus élevées. En revanche, les croisements T79/501 X C151-61 (16,22), T79/501 X IMC67 (16,56) et C20 X POR (16,56) ont obtenu les plus bas. Pour la teneur en protéines, la moyenne a été de 11,21 avec un coefficient de variation de 5,13 %. Le croisement C20 X C151-61 avec 13,54 % a eu la plus grande teneur en protéines. Par contre, les croisements T79/501 X C151-61 (8,75 %) ; T79/501 X IMC67 (8,44 %) et C20 X POR (8,92 %) ont eu la teneur en protéines la plus faible.

Tableau XXVIII. Paramètres physico chimiques de fèves de cacaoyers issues de pollinisation manuelle

Croisements	pH	Acidité titrable (meq/100g)	Sucre totaux (g/mL)	Sucre réducteur (g/mL)	Taux cendre (%)	Teneur matière sèche (%)	Fibres (mg/100g)	Protéines (mg/100g)
T79/501 X POR	5,82± 0,01 ^d	0,33±0,03 ^a	1,08±0,04 ^c	2,87±0,03 ^d	3,29±0,37 ^a	88,93±0,37 ^a	18,78±1,18 ^a	12,12±0,00 ^b
T79/501 X C151-61	6,04±0,00 ^b	0,30±0,00 ^a	1,25±0,05 ^c	2,70±0,03 ^d	3,41±0,24 ^a	88,80±0,30 ^a	16,22±0,00 ^c	8,75±0,00 ^c
T79/501 X IMC67	5,90±0,03 ^c	0,37±0,03 ^a	2,31±0,32 ^b	3,34±0,09 ^c	3,05±0,02 ^{abc}	89,80±0,46 ^a	16,56±0,00 ^c	8,44±0,00 ^c
C20 X POR	4,96±0,00 ^h	0,33±0,08 ^a	4,95±0,12 ^a	0,88±0,11 ^e	2,44±0,00 ^{cd}	87,73±2,77 ^a	16,56±0,00 ^c	8,92±0,00 ^c
C20 X IMC67	5,37±0,01 ^f	0,37±0,03 ^a	0,94±0,03 ^c	2,69±0,02 ^d	2,40±0,01 ^{cd}	90,47±0,29 ^a	18,77±0,00 ^a	12,51±0,00 ^{ab}
C20 X C151-61	5,84±0,01 ^d	0,35±0,03 ^a	0,91±0,01 ^c	5,20±0,00 ^a	2,60±0,02 ^{bcd}	84,67±7,23 ^a	18,90±0,00 ^a	13,54±0,99 ^a
UPA409 X POR	5,78±0,00 ^e	0,37±0,01 ^a	1,27±0,04 ^c	2,88±0,02 ^d	2,28±0,04 ^d	90,80±0,30 ^a	18,74±0,33 ^a	12,77±0,01 ^{ab}
UPA409 X IMC67	5,33±0,00 ^g	0,37±0,03 ^a	2,14±0,04 ^b	0,79±0,05 ^e	3,10±0,09 ^{ab}	87,47±0,87 ^a	17,45±0,01 ^b	11,74±0,00 ^b
UPA409 X C151-61	6,10±0,01 ^a	0,38±0,01 ^a	1,31±0,02 ^c	4,24±0,06 ^b	3,04±0,02 ^{abc}	89,47±0,24 ^a	18,57±0,01 ^a	12,12±0,00 ^b
Moyenne	5,64	0,35	1,79	0,09	2,84	88,68	17,80	11,21
CV	0,39	19,72	11,70	3,33	9,25	5,10	1,08	5,13
P	< 0,0001	< 0,9009	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0002	< 0,8301	< 0,0001	< 0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.2.1.2.2. Structuration des fèves de cacao de neuf familles issues de pollinisations contrôlées

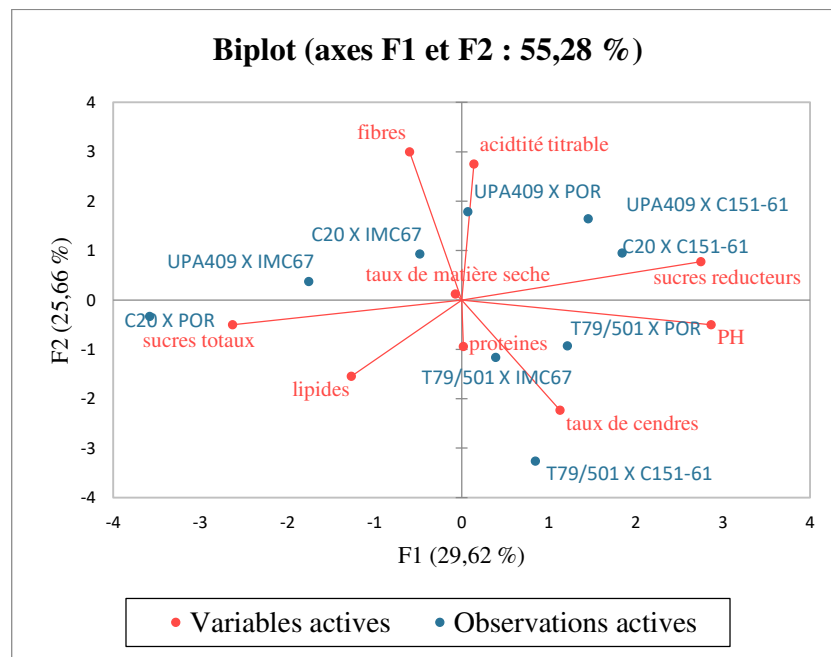
Les deux composantes F1 avec 29,62 % et F2 avec 25,66 % de l'analyse en composantes principales (ACP) des 9 familles d'hybrides ont exprimé 55,28 % (**Tableau XXX**) de la variance totale. Les variables pH (Contribution : 31,63 % ; Cosinus carré : 0,84), sucres totaux (Contribution : 26,68 % ; Cosinus carré : 0,71) et sucres réducteurs (Contribution : 29,12 % ; Cosinus carré : 0,77) ont été bien représentées sur la composante F1. La variable acidité titrable (Contribution : 29,19 % ; Cosinus carré : 0,67), taux de cendres (Contribution : 19,25 % ; Cosinus carré : 0,44) et fibres (Contribution : 34,59 % ; Cosinus carré : 0,79) ont été bien représentée sur la composante F2. Les variables lipides (Contribution : 20,99 % ; Cosinus carré : 0,40) et protéines (Contribution : 36,10 % ; Cosinus carré : 0,69) ont été bien représentées sur la composante F3. (**Tableau XXXI**). La **figure 36** présente la projection du biplot sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Ces deux axes ont été retenus pour la projection des individus et des variables en raison de leur contribution (55,28 %) dans la variabilité totale. Les sucres réducteurs et l'acidité titrable se situent pratiquement du côté positif des axes 1 et 2. Ils sont caractérisés par les croisements UPA409 x POR, UPA409 x C151-61 et C20 x C151-61. En ce qui concerne le pH, le taux de cendres et les protéines, ils se positionnent du côté positif de l'axe 1 et négatif de l'axe 2. Ils sont caractérisés par les croisements T79/501 x POR, T79/501 x IMC67 et T79/501 x C151-61. S'agissant des lipides et des sucres totaux, ils se situent pratiquement du côté négatif des axes 1 et 2. Il est caractérisé par le croisement C20 x POR. Quant au taux de matière sèche et les fibres, il se positionne du côté négatif de l'axe 1 et positif de l'axe 2. Il est caractérisé par le croisement C20 x IMC67 et UPA409 x IMC67. L'analyse de cette figure indique par ailleurs qu'il existe une corrélation positive entre l'acidité titrable et le pH.

Tableau XXIX. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres physico-chimiques

	F1	F2	F3
Valeur propre	2,666	2,309	1,914
Variabilité (%)	29,624	25,659	21,263
% cumulé	29,624	55,283	76,546

Tableau XXX. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres physico-chimiques

	F1		F2		F3	
	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré
pH	31,634	0,843	0,984	0,023	3,787	0,072
Acidité titrable	0,076	0,002	29,185	0,674	6,385	0,122
Sucres totaux	26,684	0,711	0,966	0,022	1,258	0,024
Sucres réducteurs	29,118	0,776	2,308	0,053	3,874	0,074
Taux de cendres	4,926	0,131	19,247	0,444	7,945	0,152
Taux de matière sèche	0,019	0,001	0,055	0,001	19,124	0,366
Lipides	6,170	0,165	9,232	0,213	20,990	0,402
Fibres	1,373	0,037	34,591	0,799	0,534	0,010
Protéines	0,001	0,000	3,433	0,079	36,101	0,691

**Figure 36.** Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres physico-chimiques

3.2.1.3. Propriétés biochimiques de fèves de cacao de neuf familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée

3.2.1.3.1. Profil en acides gras des fèves de cacao issues de pollinisation contrôlée

3.2.1.3.1.1 Teneur en acides gras des fèves de cacao issues de pollinisation contrôlée

L'analyse de variance a montré une différence significative entre les neuf familles d'hybrides pour leurs teneurs en acide palmitique, acide stéarique, acide oléique, acide linoléique, acide linolénique et en acide myristique (**Tableau XXXII**).

Pour l'acide palmitique, la moyenne a été de 6,08 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,03 %. Le croisement UPA409 X IMC67 avec 7,18 mg/100 g a eu la plus forte teneur en acide palmitique contrairement à la famille (T79/501 X IMC67) avec 5,50 mg/100 g. Concernant l'acide stéarique, la moyenne a été de 8,25 g/100 g avec un coefficient de variation de 4,71 %. Le croisement UPA409 X IMC67 avec 10,53 g/100 g a eu la valeur de l'acide stéarique la plus élevée alors les croisements C20 X POR (6,96 g/100 g), T79/501 X C151-61 (6,54 g/100 g) et T79/501 X IMC67 (6,50 g/100 g) ont eu les plus faibles. S'agissant de l'acide oléique, la moyenne a été de 5,51g/100 g avec un coefficient de variation de 0,06 %. Le croisement UPA409 X POR avec 5,42 g/100 g a eu la valeur de l'acide oléique la plus élevée alors que le croisement T79/501 X IMC67 avec 4,76 g/100 g a eu la plus faible. En ce qui concerne l'acide linoléique, la moyenne a été de 0,70 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,39 %. Le croisement UPA409 X IMC67 avec 0,83 g/100 g a eu la valeur de l'acide linoléique la plus élevée alors que le croisement C20 X C151-61 avec 0,64 g/100 g a eu la plus faible valeur. S'agissant de l'acide linolénique, la moyenne a été de 0,06 g/100g avec un coefficient de variation de 1,93 %. Les croisements UPA409 X POR (0,09 g/100 g) et C20 X POR (0,09 g/100 g) ont eu les valeurs d'acide linolénique les plus élevées alors que les croisements UPA409 X C151-61 (0,02 g/100 g) et T79/501 X POR (0,02 g/100 g) ont eu les plus faibles. Pour l'acide myristique, la moyenne a été de 0,05 g/100 g avec un coefficient de variation de 14,63 %. Le croisement C20 X POR avec 0,07 g/100 g a eu la valeur de l'acide myristique la plus élevée alors que les croisements UPA409 X C151-61 (0,04 g/100 g) et UPA409 X POR (0,03 g/100 g), ont enregistré les plus faibles valeurs.

Tableau XXXI. Profils en acides gras de neuf hybrides issus de pollinisation contrôlée

Croisements	Acide palmitique (g/100 g)	Acide stéarique (g/100 g)	Acide oléique (g/100 g)	Acide linoléique (g/100 g)	Acide linolénique (g/100 g)	Acide myristique (g/100 g)
T79/501 X POR	5,64±0,00 ^g	8,68±0,00 ^{bc}	5,20±0,00 ^e	0,66±0,00 ^f	0,02±0,00 ^g	0,03±0,00 ^d
T79/501 X C151-61	5,53±0,00 ^h	6,54±0,00 ^d	4,86±0,00 ^h	0,72±0,00 ^d	0,07±0,00 ^c	0,06±0,00 ^{abc}
T79/501 X IMC67	5,50±0,00 ⁱ	6,50±0,00 ^d	4,76±0,00 ⁱ	0,72±0,00 ^c	0,08±0,00 ^b	0,05±0,00 ^{bcd}
C20 X IMC67	6,71±0,00 ^b	9,14±0,00 ^b	4,90±0,00 ^g	0,64±0,00 ^g	0,04±0,00 ^e	0,05±0,00 ^{bcd}
C20 X POR	5,95±0,00 ^d	6,96±0,00 ^d	5,28±0,00 ^b	0,73±0,00 ^b	0,09±0,00 ^a	0,07±0,00 ^a
C20 X C151-61	6,67±0,00 ^c	9,19±0,00 ^b	4,95±0,00 ^f	0,64±0,00 ^h	0,04±0,00 ^f	0,06±0,00 ^{cd}
UPA409 X POR	5,89±0,00 ^e	7,95±0,00 ^c	5,42±0,00 ^a	0,69±0,00 ^e	0,09±0,00 ^a	0,06±0,00 ^{ab}
UPA409 X IMC67	7,18±0,00 ^a	10,53±0,00 ^a	5,27±0,00 ^c	0,83±0,00 ^a	0,05±0,00 ^d	0,04±0,00 ^d
UPA409 X C151-61	5,68±0,00 ^f	8,71±0,00 ^{bc}	5,24±0,00 ^d	0,67±0,00 ^f	0,02±0,00 ^g	0,04±0,00 ^d
Moyenne	6,08	8,25	5,10	0,70	0,06	0,05
CV (%)	0,03	4,71	0,06	0,39	1,93	14,63
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.2.1.3.1.2. Structuration de 9 familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée selon leurs profils en acides gras.

Les deux composantes F1 avec 45,88 % et F2 avec 27,22 % de l'analyse en composantes principales (ACP) des 9 familles d'hybrides ont exprimé 73,10 % (**Tableau XXXIII**) de la variance totale. Les variables acides palmitique (Contribution : 13,50 % ; Cosinus carré : 0,37), acide stéarique (Contribution : 31,67 % ; Cosinus carré : 0,87), acide linolénique (Contribution : 26,81 % ; Cosinus carré : 0,74) et acide myristique (Contribution : 26,41 % ; Cosinus carré : 0,73) ont été bien représentées sur la composante F1. La variable acide linoléique (Contribution : 37,54 % ; Cosinus carré : 0,61) a été bien représentée sur la composante F2 (**Tableau XXXIV**). La **figure 37** présente la projection du biplot sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Ces deux axes ont été retenus pour la projection des individus et des variables en raison de leur contribution (73,10 %) dans la variabilité totale. Les acides oléique, palmitique et stéarique se situent pratiquement du côté positif des axes 1 et 2. Ils sont caractérisés par le croisement UPA409 x IMC67. Quant aux acides linoléique, linolénique et myristique, ils se positionnent du côté négatif de l'axe 1 et positif de l'axe 2.

Tableau XXXII. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les acides gras

	F1	F2
Valeur propre	2,753	1,633
Variabilité (%)	45,882	27,217
% cumulé	45,882	73,099

Tableau XXXIII. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée en acides gras

	F1		F2	
	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré
Acide palmitique	13,501	0,372	20,453	0,334
Acide stéarique	31,673	0,872	5,856	0,096
Acide oléique	1,383	0,038	16,116	0,263
Acide linoléique	0,217	0,006	37,543	0,613
Acide linoléique	26,815	0,738	13,681	0,223
Acide myristique	26,410	0,727	6,350	0,104

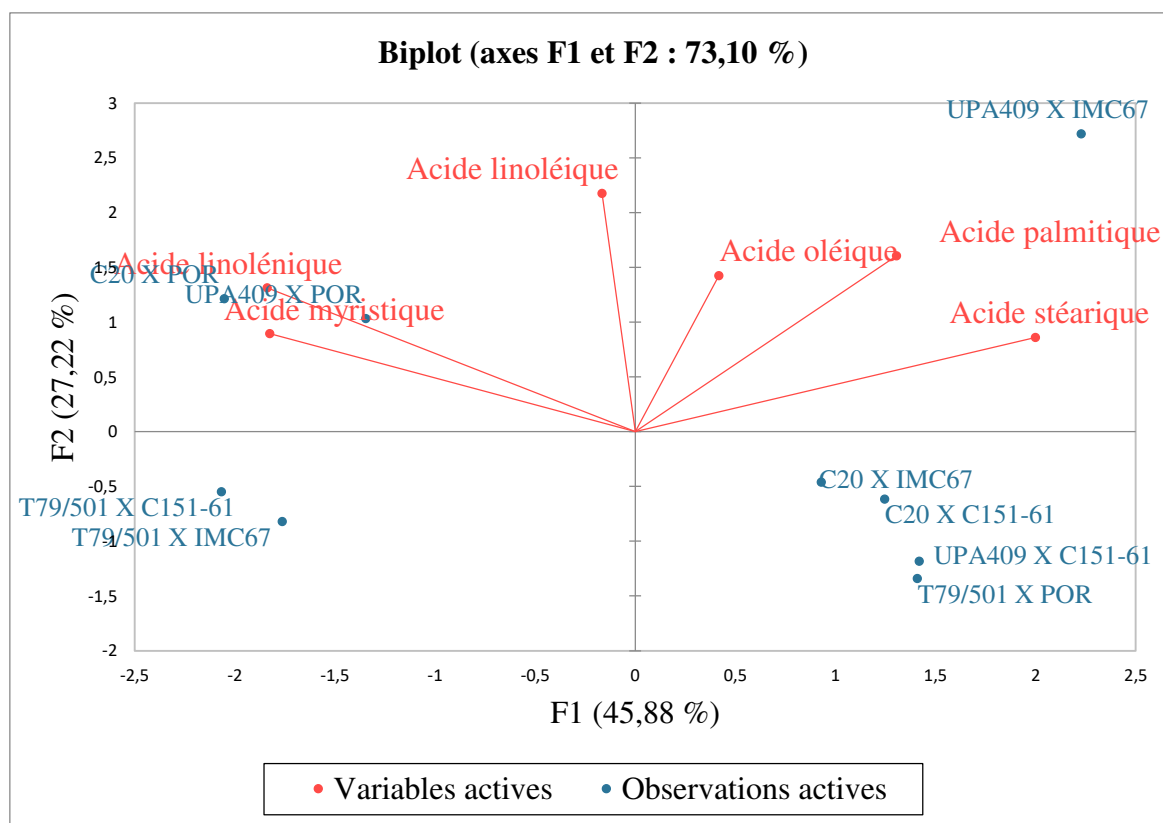


Figure 37. Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les acides gras

3.2.1.3.2. Teneurs en sels minéraux de fèves de cacao de neuf familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée

L'analyse de variance a montré une différence significative ($P < 0,0001$) entre les 9 familles d'hybrides issues de pollinisations contrôlées pour leurs teneurs en sels minéraux : zinc, le cuivre, le fer, le magnésium, le sodium, le magnésium, le calcium, le potassium et le phosphore (**Tableau XXXV**).

Concernant la teneur en zinc, la moyenne a été de 0,29 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,725 %. Le croisement C20 X IMC67 avec 0,88 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que le croisement T79/501 X C151-61 avec 0,01 mg/100 g a présenté la teneur la plus faible. Pour la teneur cuivre, la moyenne a été de 0,58 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,408 %. Le croisement C20 X IMC67 avec 1,04 mg/100 g a présenté la plus forte teneur contrairement à la famille T79/501 X C151-61 avec 0,17mg/100 g. La moyenne de la teneur en fer a été de 12,12 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,163 %. La plus forte teneur a été observée avec le croisement T79/501 X POR avec 22,4 mg/100 g. En ce qui concerne la teneur en magnésium, la moyenne a été de 1,19 mg/100 g avec un coefficient de variation de

0,182 %. Le croisement C20 X IMC67 avec 3,97 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que le croisement UPA409 X C151-61 avec 0,15 mg/100 g a eu la teneur la plus faible. Pour la teneur en sodium, la moyenne a été de 81,09 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,003 %. Le croisement C20 X IMC67 avec 167,14 mg/100 g a eu la teneur contrairement au croisement C20 X C151-61 avec 50,49 mg/100 g. Concernant la teneur magnésium, la moyenne a été de 177,73 mg/100 g. Le croisement T79/501 X C151-61 avec 267,52 mg/100g a eu la teneur la plus élevée alors que le croisement C20 X IMC67 avec 131,79 mg/100 g a eu la teneur la plus faible. S'agissant de la teneur en calcium, la moyenne a été de 107,89 mg/100 g. Le croisement C20 X C151-61 avec 217,07 mg/100g a eu la teneur la plus élevé alors que le croisement UPA409 X POR avec 37,27 mg/100 g a eu la teneur la plus faible. En ce qui concerne la teneur en potassium, la moyenne a été de 365,70 mg/100 g. Le croisement T79/501 X POR avec 507,18 mg/100 g a eu la teneur en amande de fèves de cacao la plus élevée contrairement au croisement T79/501 X IMC67 avec 249,32 mg/100 g. Pour la teneur en phosphore, la moyenne a été de 181,01 mg/100 g. Le croisement T79/501 X C151-61 avec 280,59 mg/100g a eu la plus forte teneur la plus élevée alors que le croisement C20 X IMC67 avec 118,42 mg/100g a enregistré la teneur cacao la plus faible.

Tableau XXXIV. Teneur en sels minéraux de 9 hybrides issus de pollinisation manuelle

Croisements	Zn (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	Ca (mg/100 g)	K (mg/100 g)	P (mg/100 g)
C20 X IMC67	0,88±0,0 ^a	1,04±0,0 ^a	11,31±0,0 ^e	3,97±0,0 ^a	167,14±0,0 ^a	81,83±0,0 ⁱ	77,98±0,0 ^e	327,11±0,0 ^f	118,42±0,0 ⁱ
T79/501 X IMC67	0,77±0,0 ^b	0,28±0,0 ^f	8,17±0,0 ⁱ	0,79±0,0 ^e	80,49±0,0 ^b	237,48±0,0 ^b	30,06±0,0 ^h	249,32±0,0 ⁱ	165,78±0,0 ^e
UPA409 X C151-61	0,19±0,0 ^d	0,88±0,0 ^b	8,44±0,0 ^h	0,15±0,0 ⁱ	80,44±0,0 ^c	160,42±0,0 ^f	117,40±0,0 ^d	367,91±0,0 ^e	150,87±0,0 ^f
T79/501 X POR	0,18±0,0 ^e	0,88±0,0 ^b	22,44±0,0 ^a	0,84±0,0 ^c	80,44±0,0 ^c	160,43±0,0 ^e	190,46±0,0 ^b	507,18±0,0 ^a	140,88±0,0 ^h
T79/501 X C151-61	0,01±0,0 ⁱ	0,17±0,0 ^h	12,93±0,0 ^d	0,47±0,0 ^f	70,90±0,0 ^d	267,52±0,0 ^a	60,87±0,0 ^g	280,88±0,0 ^g	280,59±0,0 ^a
C20 X POR	0,06±0,0 ^h	0,47±0,0 ^d	13,17±0,0 ^c	0,81±0,0 ^d	70,09±0,0 ^e	216,47±0,0 ^c	169,06±0,0 ^c	449,02±0,0 ^c	145,88±0,0 ^g
UPA409 X IMC67	0,09±0,0 ^g	0,79±0,0 ^c	8,97±0,0 ^g	2,81±0,0 ^b	68,85±0,0 ^f	192,73±0,0 ^d	61,50±0,0 ^f	454,71±0,0 ^b	178,01±0,0 ^d
UPA409 X POR	0,14±0,0 ^f	0,41±0,0 ^e	15,28±0,0 ^b	0,46±0,0 ^g	60,98±0,0 ^g	150,89±0,0 ^g	37,27±0,0 ⁱ	272,59±0,0 ^h	267,81±0,0 ^b
C20 X C151-61	0,24±0,0 ^c	0,28±0,0 ^g	9,28±0,0 ^f	0,40±0,0 ^h	50,49±0,0 ^h	131,79±0,0 ^h	217,07±0,0 ^a	382,55±0,0 ^d	180,86±0,0 ^c
Moyenne	0,29	0,58	12,22	1,19	81,09	177,73	107,89	365,70	181,01
CV	0,725	0,408	0,163	0,182	0,003	0	0	0	0
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

Zn : Zinc ; **Cu** : Cuivre ; **Fe** : Fer ; **Mn** : Manganèse ; **Na** : Sodium ; **Mg** : Magnésium ; **Ca** : Calcium ; **K** : Potassium ; **P** : Phosphore

CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.2.1.3.3. Teneurs en composés phytochimiques des familles des fèves de cacao issues de la pollinisation contrôlée

3.2.1.3.3.1. Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves de cacao de neuf familles d'hybrides

L'analyse de variance a montré une différence significative ($P < 0,001$) entre les neuf familles d'hybrides des croisements pour les caractères teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux (**Figure 38**). Concernant la teneur en polyphénols totaux, le croisement T79/501 X POR a enregistré la plus grande teneur avec une moyenne de 1659,90 mg EAG/100 g de MS contrairement au croisement UPA 409 X IMC67 qui a enregistré la plus faible teneur avec une moyenne de 1157,89 mg EAG/100 g de MS. S'agissant de la teneur en flavonoïdes totaux, le croisement T79/501 X C151-61 avec 681,49 mg EQ/100 g de MS a enregistré la plus grande teneur tandis que le croisement T79/501 X IMC67 avec 437,06 mg EQ/100 g de MS a enregistré la plus petite teneur.

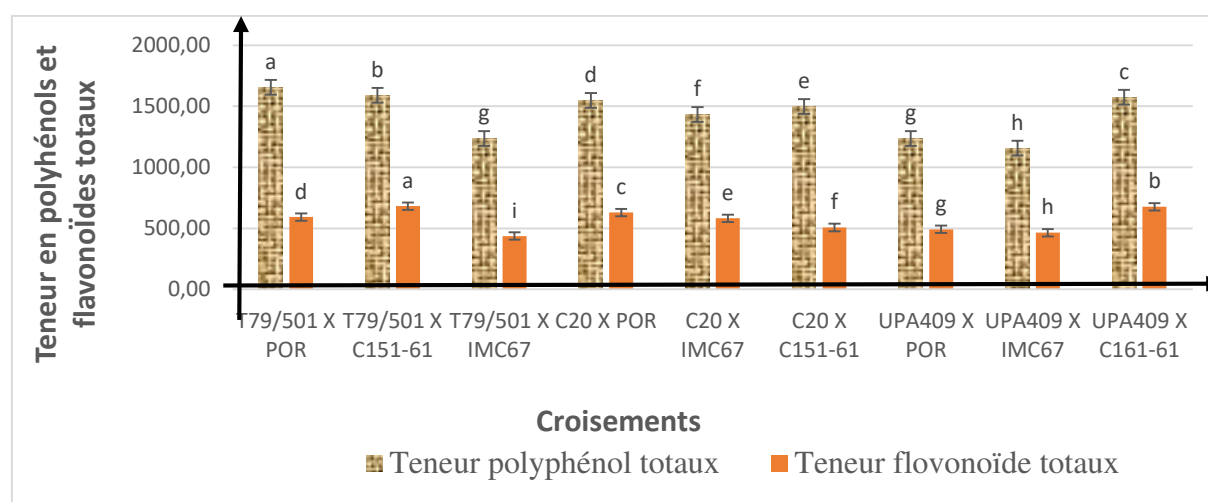


Figure 38. Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux de fèves de cacao par croisement.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,05$ (Test de Tukey).

3.2.1.3.3.2. Teneurs en théobromine et en caféine des fèves de cacao de neuf familles d'hybrides

L'analyse de variance a montré une différence significative ($P < 0,001$) entre les neuf familles d'hybrides des croisements pour les caractères teneurs en théobromine et en caféine (**Figure 39**). Le croisement C20 X IMC67 a enregistré la teneur la plus élevée avec une moyenne de 4172,56 mg/100 g et le croisement UPA 409 X POR a eu la plus faible teneur avec une moyenne de 3308,95 mg/100 g. S'agissant de la teneur en caféine totaux, le croisement

T79/501 X IMC67 avec 896,39 mg/100 g a enregistré la plus grande valeur tandis que le croisement UPA409 X C151-61 avec 323,72 mg/100g a obtenu la plus faible teneur.

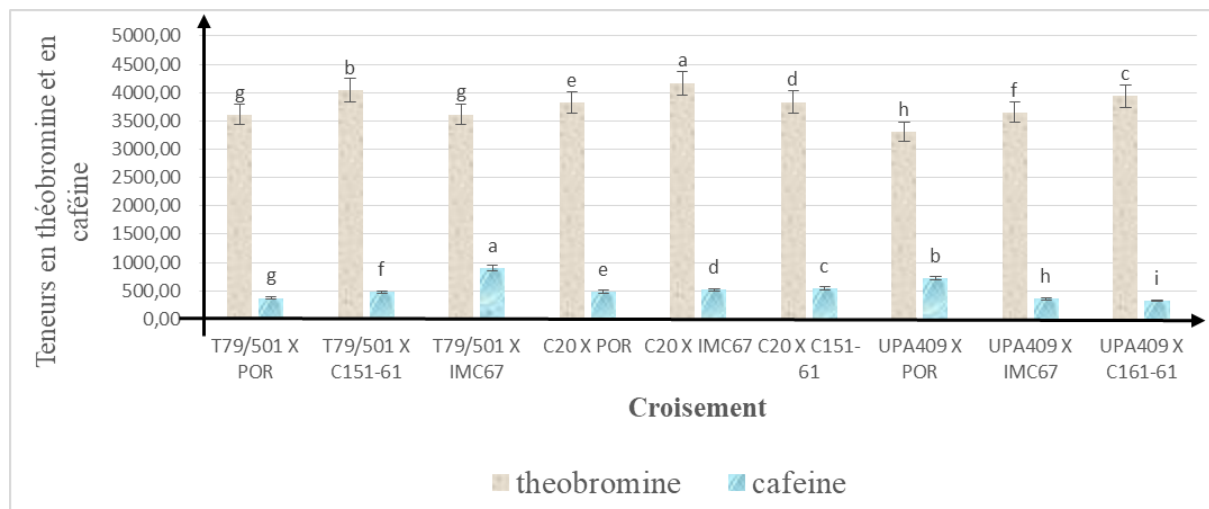


Figure 39. Teneur en théobromine et caféine de fèves de cacao par croisement.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,05$ (Test de Tukey).

3.2.1.3.3.3. Représentation de cercle de corrélation des variables et des fèves de cacao issues de neuf familles d'hybrides obtenues par pollinisation contrôlée sur le plan factoriel F1 x F2

Les deux composantes F1 avec 69,49 % et F2 avec 14,90 % de l'analyse en composantes principales (ACP) des 9 familles d'hybrides ont exprimé 84,38 % (**Tableau XXXVI**) de la variance totale. Les variables polyphénols (Contribution : 27,81 % ; Cosinus carré : 0,77), flavonoïdes totaux (Contribution : 31,54 % ; Cosinus carré : 0,88), théobromine (Contribution : 20,53 % ; Cosinus carré : 0,57) et caféine (Contribution : 20,12 % ; Cosinus carré : 0,56) ont été bien représentées sur la composante F1 (**Tableau XXXVII**). La **figure 40** présente la projection des variables sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Ces deux axes ont été retenus pour la projection des individus et des variables en raison de leur contribution (84,38 %) dans la variabilité totale. Les polyphénols et les flavonoïdes totaux se situent pratiquement au centre de l'axe 1 et du côté positif de l'axe 2. La théobromine se situe du côté positif des axes 1 et 2. Quant à la caféine, il se positionne du côté négatif de l'axe 1 et négatif de l'axe 2. L'analyse de cette figure indique par ailleurs qu'il existe une corrélation positive entre les polyphénols et les flavonoïdes totaux. La **figure 41** présente la distribution des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres évalués suivant le plan factoriel 1-2 de l'ACP. L'analyse de la figure confirme un regroupement équitable des familles d'hybrides

autour du paramètre évalués, confirmant ainsi que les 9 familles d'hybrides retenus sont effectivement des potentielles qualités.

Tableau XXXV. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité

	F1
Valeur propre	2,779
Variabilité (%)	69,486
% cumulé	69,486

Tableau XXXVI. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité

	F1	
	Contribution	Cosinus carré
Polyphénol	27,808	0,773
Flavonoïdes totaux	31,541	0,877
Théobromine	20,530	0,571
Caféine	20,121	0,559

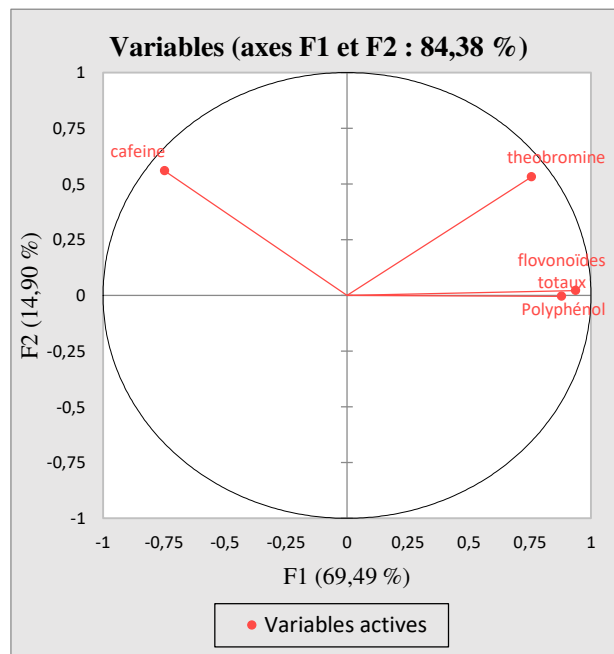


Figure 40. Projection des variables dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité

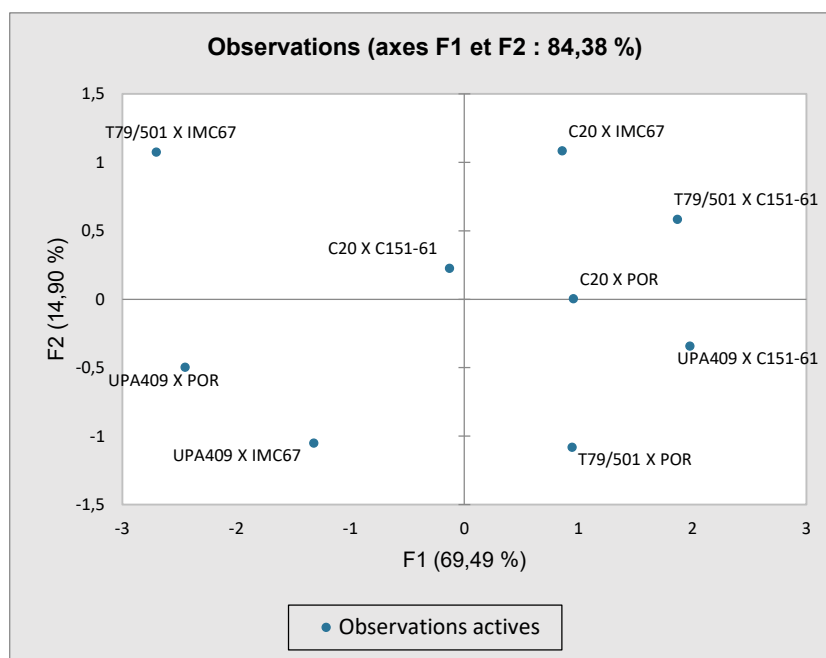


Figure 41. Représentation graphique de la distribution des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualités dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP

3.2.1.3.4. Profil des composés phénoliques des familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée

3.2.1.3.4.1. Teneurs en composés phénoliques des hybrides

L'analyse de variance a montré une différence significative ($P < 0,0001$) entre les 9 familles d'hybrides au niveau des composés phénoliques (épicatéchine, catéchine, théobromine, caféine, quercétine et proanthocyanidine) (**Tableau XXXVIII**). Pour la teneur en épicatéchine, la moyenne a été de 72,00 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,01 %. Le croisement T79/501 X POR avec 90,54 mg/100 g a eu la valeur la plus élevée alors que le croisement C20X IMC67 avec 43,67 mg/100 g a eu la plus faible. Concernant la teneur en catéchine, la moyenne a été de 19,80 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,02 %. Le croisement T79/510 X C151-61 avec 25,90 mg/100 g a eu la valeur la plus élevée alors que le croisement C20 X IMC67 avec 10,16 mg/100 g a eu la valeur la plus faible. S'agissant de la teneur en théobromine, la moyenne a été de 153,38 mg/100 g. Le croisement UPA 409 X IMC67 avec 174,03 mg/100 g a enregistré la valeur la plus élevée alors que le croisement C20 X C151-61 avec 117,42 mg/100 g a obtenu la valeur la plus faible. En ce qui concerne la teneur en caféine, la moyenne a été de 26,59 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,01 %. Le croisement T79/501 X POR avec 39,81 mg/100 g a eu la valeur la plus élevée alors que le croisement UPA409 X IMC67 avec 12,31 mg/100 g a obtenu la valeur la plus faible. Au niveau de la teneur en quercétine, la

moyenne a été de 4,72 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,12 %. Le croisement T79/501 X POR avec 9,37 mg/100 g a enregistré la valeur la plus élevée alors que le croisement T79/501 X IMC67 avec 2,47 mg/100 g a obtenu la valeur la plus faible. Concernant la teneur en proanthocyanidine, la moyenne a été de 87,94 mg/100 g. Le croisement T79/501 X POR avec 120,18 mg/100 g a eu la valeur la plus élevée alors que le croisement UPA409 X IMC67 avec 63,68 mg/100 g a enregistré la valeur la plus faible.

Tableau XXXVII. Teneurs en composés phénoliques des fèves de 9 familles issues de pollinisation contrôlée

Croisements	Epicatechine (mg/100 g)	Catéchine (mg/100 g)	Théobromine (mg/100 g)	Caféine (mg/100 g)	Quercétine (mg/100 g)	Proanthocyanidine (mg/100 g)
T79/501 X POR	90,54±0,00 ^a	20,43±0,00 ^c	165,60±0,00 ^b	39,81±0,00 ^a	9,37±0,00 ^a	120,18±0,00 ^a
T79/501 X C151-61	89,00±0,00 ^b	25,90±0,00 ^a	162,94±0,00 ^c	30,68±0,00 ^c	6,51±0,00 ^b	107,16±0,00 ^b
T79/501 X IMC67	75,38±0,00 ^e	23,76±0,00 ^d	149,43±0,00 ^h	21,79±0,00 ^h	2,47±0,00 ⁱ	79,38±0,00 ^f
C20 X POR	45,44±0,00 ^h	19,84±0,00 ^f	158,04±0,00 ^d	23,97±0,00 ^f	2,81±0,00 ^g	92,34±0,00 ^d
C20 X IMC67	43,67±0,00 ⁱ	10,16±0,00 ⁱ	150,31±0,00 ^f	27,70±0,00 ^d	4,28±0,00 ^e	88,19±0,00 ^e
C20 X C151-61	71,09±0,00 ^g	25,58±0,00 ^b	117,42±0,00 ⁱ	33,08±0,00 ^b	4,87±0,00 ^d	64,57±0,00 ^h
UPA409 X POR	75,53±0,00 ^d	24,15±0,00 ^c	150,23±0,00 ^g	22,36±0,00 ^g	2,59±0,00 ^h	77,78±0,00 ^g
UPA409 X IMC67	74,61±0,00 ^f	12,28±0,00 ^h	174,03±0,00 ^a	12,31±0,00 ⁱ	3,14±0,00 ^f	63,68±0,00 ⁱ
UPA409 X C151-61	82,77±0,00 ^c	16,11±0,00 ^g	152,42±0,00 ^e	27,63±0,00 ^e	6,45±0,00 ^c	98,19±0,00 ^c
Moyenne	72,00	19,80	153,38	26,59	4,72	87,94
CV (%)	0,01	0,02	0,00	0,01	0,12	0,00
P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.2.1.3.4.2. Structuration de 9 familles d'hybrides pour leurs caractères en composés phénoliques

L'analyse de la matrice des valeurs propres de l'ACP (**Tableau XXXIX**) indique que les trois premiers axes (F1, F2 et F3) ont respectivement exprimé 47,61 % ; 26,85 % et 25,54 % de la variabilité totale. Ainsi, les deux premiers axes (F1 et F2) qui ont au total contribué à 74,46 % de la variabilité, ont été retenus pour la projection des individus. Le **tableau XL** présente la contribution des variables suivant les axes de l'ACP. Les variables caféine (Contribution : 25,44 % ; Cosinus carré : 0,73), quercétine (Contribution : 30,46 % ; Cosinus carré : 0,87) et proanthocyanidine (Contribution : 24,48 % ; Cosinus carré : 0,70) ont été bien représentées sur la composante F1. La variable catéchine (Contribution : 33,66 % ; Cosinus carré : 0,54) et théobromine (Contribution : 50,64 % ; Cosinus carré : 0,82) ont été bien représentée sur la composante F2. La variable épicatechine (Contribution : 47,23 % ; Cosinus carré : 0,47) et a

été bien représentées sur la composante F3 (Tableau XXV). La **figure 42** présente la projection du biplot sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Ces deux axes ont été retenus pour la projection des individus et des variables en raison de leur contribution (74,46 %) dans la variabilité totale. La théobromine, la quercétine et la proanthocyanidine se situent pratiquement du côté positif des axes 1 et 2. Ils sont caractérisés par les croisements T79/501 x POR, T79/501 x C151-61 et UPA409 x C151-61. Quant à la caféine, la catéchine et l'épicatéchine, ils se positionnent du côté positif de l'axe 1 et négatif de l'axe 2. L'analyse de cette figure indique par ailleurs qu'il existe une corrélation positive entre la quercétine et la caféine puis entre la proanthocyanidine et la quercétine.

Tableau XXXVIII. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique

	F1	F2	F3
Valeur propre	2,857	1,611	1,007
Variabilité (%)	47,610	26,846	16,775
% cumulé	47,610	74,456	91,231

Tableau XXXIX. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique

	F1		F2		F3	
	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré
Epicatéchine	14,769	0,422	0,191	0,003	47,229	0,475
Catéchine	4,489	0,128	33,665	0,542	18,222	0,183
Théobromine	0,369	0,011	50,642	0,816	12,024	0,121
Caféine	25,439	0,727	5,408	0,087	17,581	0,177
Quercetine	30,455	0,870	1,585	0,026	2,286	0,023
Proanthocyanidine	24,480	0,699	8,510	0,137	2,659	0,027

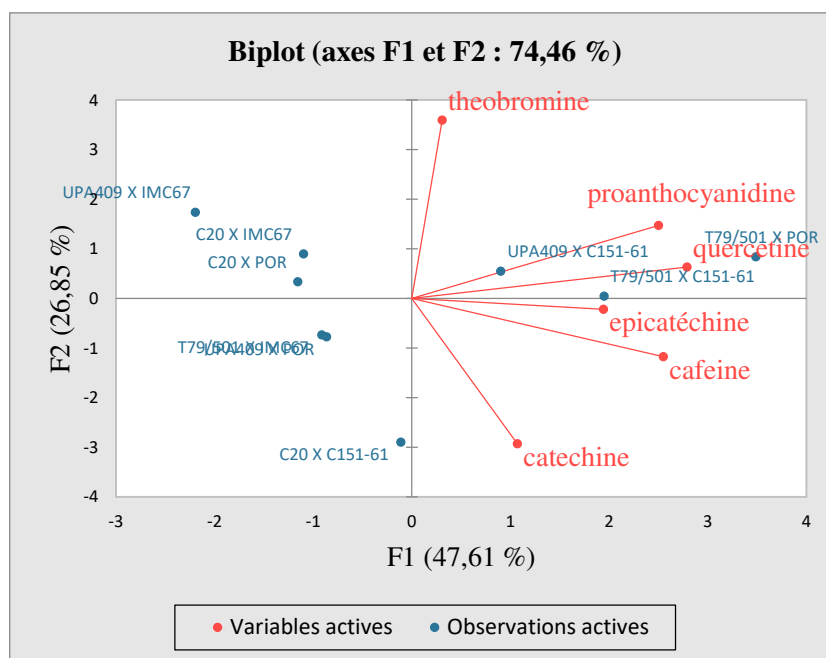


Figure 42. Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique

3.2.1.3.5. Activités antioxydantes des extraits de fèves de cacao de cinq meilleures familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée

3.2.1.3.5.1. Activités antioxydants par le test de DPPH de cinq meilleures familles d'hybrides

Le pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par la poudre de cacao étudiée est statistiquement différentes (**Tableau XLI**).

Pour ces pourcentages d'inhibitions, la moyenne a été 83,42 % avec un coefficient de variation de 0,01 %. Le croisement C20 X C151-61 avec 86,27 % a enregistré le pourcentage le plus élevée contrairement au croisement C20 X POR avec 79,25 %. Quant à l'IC50, la moyenne a été 46,38 % avec un coefficient de variation de 0,03 %. Le croisement C20 X POR avec 52,34 % a eu la valeur la plus élevée contrairement au croisement T79/501 X C151-61 avec 39,97 %.

Tableau XL. Paramètres d'Antioxydant mesurés sur les fèves de 5 familles

	Antioxydant	
	DPPH (%)	IC50 (%)
C20 X C151-61	86,27±0,01 ^a	46,96±0,01 ^c
T79/501 X POR	84,86±0,01 ^b	45,42±0,01 ^d
UPA409 X IMC67	84,76±0,00 ^c	47,31±0,01 ^b
T79/501 X C151-61	81,97±0,01 ^d	39,97±0,01 ^e
C20 X POR	79,25±0,00 ^e	52,34±0,01 ^a
Moyenne	83,42	46,38
CV (%)	0,01	0,03
<i>P</i>≤0.05	<0,0001	<0,0001

DPPH : 2,2- diphényl-1-picrylhydrazyl

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.2.1.3.5.2. Concentration efficace des extraits éthanoliques des fèves de cacao

Le potentiel anti radicalaire global caractérisé par la méthode DPPH, des extraits testés a présenté des différences statistiques (**Figure 43**). La concentration efficace de la vitamine E (Trolox) a été de 12 mg/mL. Les fèves de cacao des cinq familles d'hybrides ont des IC50 (concentration d'antioxydant nécessaire pour inhiber 50 % de radicaux libres) supérieures à celles de la valeur de la référence Trolox (vitamine E). Suivant le gradient de concentration viennent les croisements UPA409 X IMC67 (22 mg/mL), T79/501 X POR (34 mg/mL) et C20 X C151-61 avec une concentration de 38,5 mg/mL.

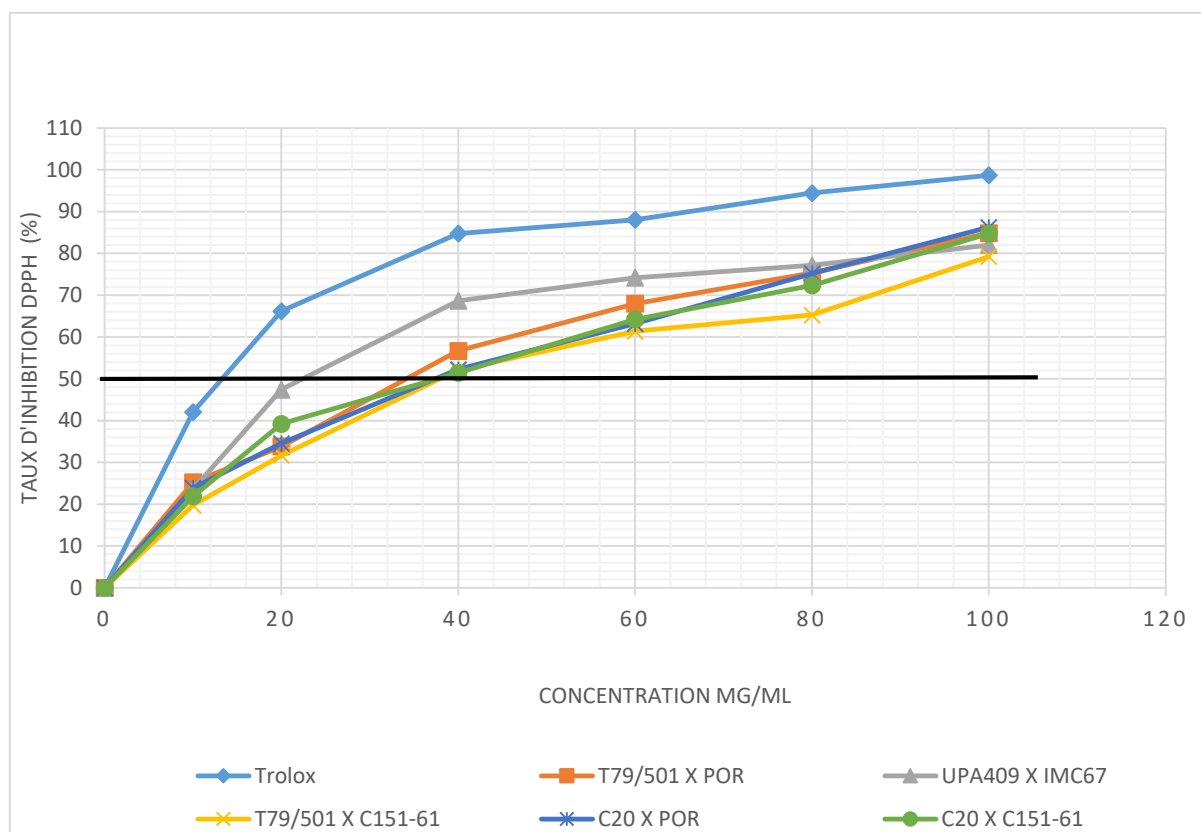


Figure 43. Taux d'inhibition du DPPH des extraits éthanoliques des fèves de cacao dans la pollinisation contrôlée

3.2.1.4. Caractéristiques physiques des fèves de cacao de neuf familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlées

3.2.1.4.1. Aspects physiques des fèves entières

L'analyse de variance a montré une différence significative ($P < 0,001$) entre les neuf familles d'hybrides des croisements pour le caractère nombre de fèves pour 100 g. En outre, une homogénéité a été notée pour la catégorie des défauts, le taux d'humidité entre les fèves (**Tableau XLII**). Pour le nombre de fèves pour 100 g, la moyenne a été de 92,11 fèves avec un coefficient de variation de 1,40 %. Le croisement UPA409 X IMC67 avec 109,00 fèves a eu le nombre de fèves pour 100 g le plus élevé tandis que le croisement C20 X IMC67 a enregistré le nombre de fèves pour 100 g le plus faible. S'agissant de l'humidité des fèves, la moyenne a été de 7,66 et les valeurs ont varié de 7 à 9. En ce qui concerne la catégorie des défauts, aucun défaut au niveau des fèves n'a été observé. Les familles mises à l'épreuve dans ce travail révèlent une catégorie de défaut inférieur à 3 %.

Tableau XLI. Paramètres physiques des fèves de cacao entières de 9 hybrides issus de pollinisation manuelle

Croisements	Nombre de fèves /100 g	Catégories des défauts			Humidité
		Moisie (%)	Ardoisé (%)	Infecté (%)	
T79/501 X POR	84,00±0,58 ^g	0,00	0,00	0,00	7,00±0,00 ^a
T79/501 X C151-61	96,00±0,58 ^d	0,00	0,00	0,00	8,00±0,58 ^a
T79/501 X IMC67	100,00±0,57 ^c	0,00	0,00	0,00	7,00±0,57 ^a
C20 X POR	88,00±1,15 ^f	0,00	0,00	0,00	8,00±0,00 ^a
C20 X IMC67	76,00±0,57 ⁱ	0,00	0,00	0,00	8,00±0,58 ^a
C20 X C151-61	79,00±0,57 ^h	0,00	0,00	0,00	9,00±0,57 ^a
UPA409 X POR	105,00±1,15 ^b	0,00	0,00	0,00	8,00±0,58 ^a
UPA409 X IMC67	109,00±0,57 ^a	0,00	0,00	0,00	7,00±0,57 ^a
UPA409 X C151-61	92,00±0,57 ^e	0,00	0,00	0,00	7,00±0,00 ^a
Moyenne	92,11				7,66
CV (%)	1,40				10,65
P	<0,0001				<0,0730

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.2.1.4.2. Caractéristiques des fèves de cacao coupées des 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée

La **figure 44** présente les valeurs moyennes des taux de coloration des fèves des descendance analysées. Il ressort de l'analyse de cette figure que le taux optimal de fermentation (couleur marron) a été observé avec le croisement T79/501 X POR (82 %) et le minimal au niveau du croisement T79/501 X C151-61 (45 %). Quant aux fèves partiellement fermentées (violettes), le croisement T79/501 X C151-61 (23 %) a enregistré la plus grande valeur et T79/501 X IMC67 (7 %) a obtenu la plus petite valeur. Cette variation a été perçue au niveau des fèves ardoisées avec une valeur de 32 % enregistrée au niveau du croisement T79/501 X C151-61. S'agissant du géniteur femelle C20 les proportions des fèves bien fermentées (marron), les plus élevées ont été observées chez le croisement C20 X C151-61 (90 %) pendant que le plus faible ont été notées chez le croisement C20 X POR (40 %). En ce qui concerne le géniteur femelle UPA409, le taux des fèves bien fermentées (marron) le plus élevé a été observé au niveau du croisement UPA409 X POR (74 %) alors que le plus faible a été enregistré par le croisement UPA409 X C151-61 (44 %). Quant aux fèves partiellement fermentées (violettes), le croisement UPA409 X C151-61 (49 %) a enregistré la plus grande valeur et UPA409 X POR (15 %), la plus faible. Au niveau des fèves ardoisées le taux le plus élevé était de 11 %

enregistrée par le croisement UPA409 X POR. Il a été remarqué une absence de fèves infestées et blanches dans les échantillons étudiés.

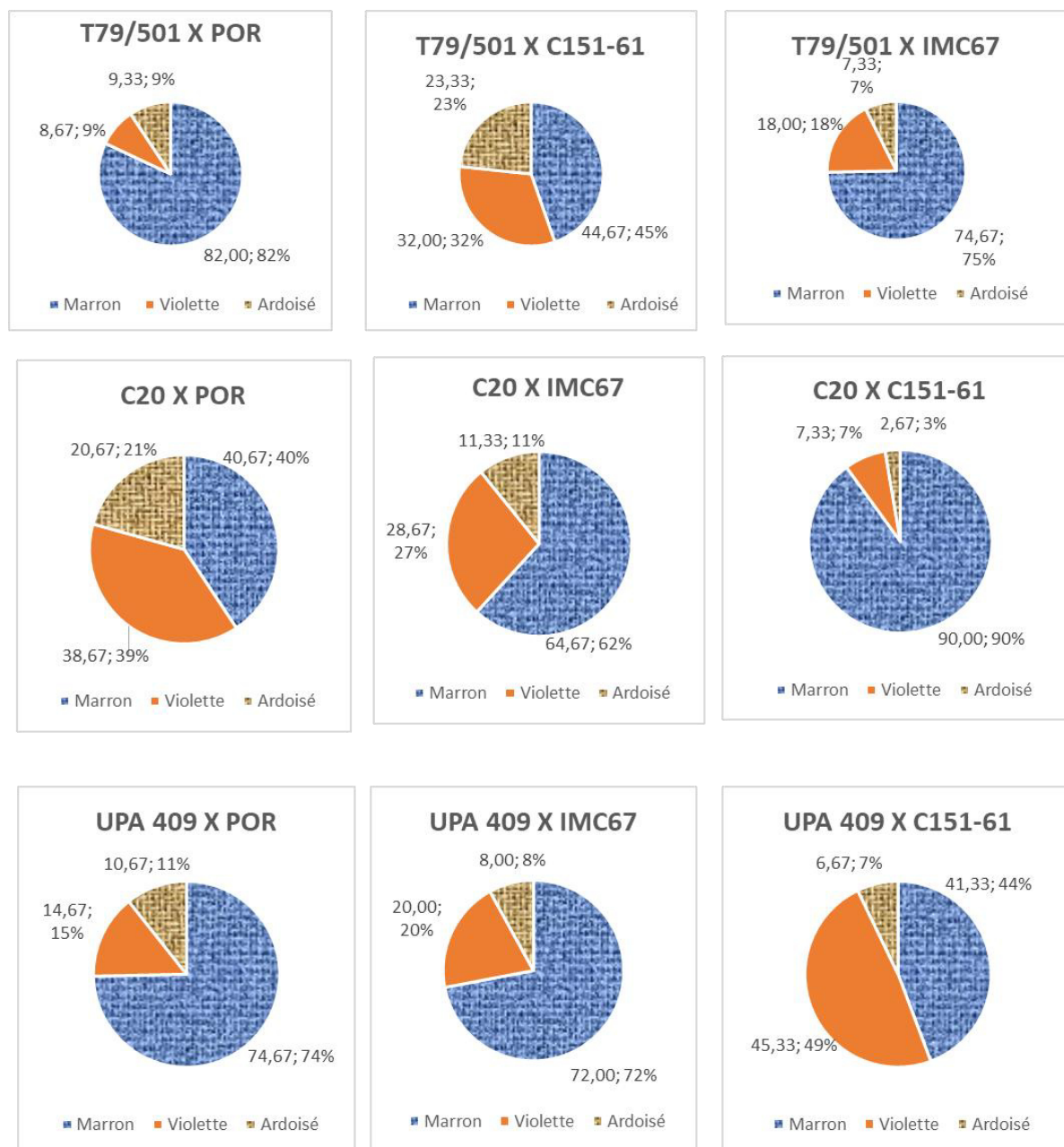


Figure 44. Pourcentage de différentes couleurs des fèves de 9 hybrides issus de pollinisation manuelle

3.2.1.5. Caractéristiques sensorielles des liqueurs de cacao de neuf familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée

3.2.1.5.1. Profil organoleptique de 9 familles d'hybrides.

L'analyse a indiqué une différence significative ($P < 0,0001$) entre les neuf familles pour les descripteurs « Acidité » et « Amertume ». En outre, une homogénéité a été notée entre

elles pour les descripteurs « cacao, astringence, fruit frais, fruit doré, floral, boisé, épicé et noix » et la note globale (**Tableau XLIII**).

Pour l'acidité, la note moyenne a été de 1,44 avec un coefficient de variation de 24,86 %. Les croisements UPA409 X C151-61 (2,33), UPA409 X IMC67 (2,32) et T79/501 X IMC67 (2,00) ont eu les plus fortes notes d'acidité. Par contre, le croisement C20 X IMC67 (0,50) a eu la plus petite note d'acidité.

S'agissant de l'amertume, la note moyenne a été de 4,49 avec un coefficient de variation de 15,06 %. Le croisement C20 X C151-61 (5,14) a obtenu la plus forte note d'amertume contrairement au croisement T79/501 X C151-61(3,93). Concernant les descripteurs qui ont présenté une homogénéité entre les croisements, les notes ont varié de 5,33 à 6,64 avec une moyenne de 5,98 pour le descripteur cacao, de 3,86 à 4,91 avec une moyenne de 4,47 pour le descripteur astringence, de 0,54 à 2,00 avec une moyenne de 1,13 pour le descripteur fruit frais, de 0,97 à 1,74 avec une moyenne de 1,36 pour le descripteur fruit doré, de 1,10 à 2,23 avec une moyenne de 1,67 pour le descripteur floral; de 1,15 à 2,15 avec une moyenne de 1,84 pour le descripteur boisé, de 0,71 à 1,17 avec une moyenne de 0,99 pour le descripteur épicé et de 0,82 à 1,84 avec une moyenne de 1,33 pour le descripteur noix. La note globale des croisements a varié 6,33 à 7,50 avec une moyenne de 6,85.

Tableau XLII. Notes d'arômes de 9 hybrides issus de pollinisation contrôlée par un panel

Croisement	Cacao	Acidité	Amertume	Astringence	Fruit frais	Fruit doré	Floral	Boisé	Épicé	Noix	Note globale
T79/501 X POR	5,84±1,21 ^a	0,98±0,58 ^{ab}	4,02±0,81 ^{ab}	4,32±0,47 ^a	0,83±0,64 ^a	0,97±0,52 ^a	1,51±0,48 ^a	1,69±0,47 ^a	0,71±0,49 ^a	1,08±0,61 ^a	6,60±0,89 ^a
T79/501 X C151-61	6,64±0,93 ^a	0,83±0,69 ^{ab}	3,93±0,44 ^b	4,46±0,38 ^a	0,90±0,90 ^a	1,56±0,66 ^a	1,29±0,71 ^a	2,03±0,35 ^a	0,97±0,52 ^a	1,73±0,99 ^a	6,91±0,61 ^a
T79/501 X IMC67	5,33±0,94 ^a	2,00±0,82 ^a	5,00±0,50 ^{ab}	4,91±0,73 ^a	0,97±0,97 ^a	1,13±0,30 ^a	1,10±0,83 ^a	1,70±0,98 ^a	1,13±0,65 ^a	1,12±0,65 ^a	6,33±0,55 ^a
C20 X POR	6,00±0,82 ^a	1,57±1,27 ^{ab}	4,50±0,87 ^{ab}	3,86±0,69 ^a	1,51±1,33 ^a	1,11±0,65 ^a	1,88±1,13 ^a	1,46±0,88 ^a	0,97±0,52 ^a	1,33±0,98 ^a	7,50±1,04 ^a
C20 X C151-61	5,50±0,64 ^a	1,14±0,69 ^{ab}	5,14±0,85 ^a	4,64±0,74 ^a	1,20±1,40 ^a	1,22±0,86 ^a	2,32±1,25 ^a	2,02±0,62 ^a	1,11±0,65 ^a	1,60±0,66 ^a	6,64±0,69 ^a
C20 X IMC67	6,34±0,47 ^a	0,50±0,50 ^b	4,17±0,89 ^{ab}	4,48±0,76 ^a	0,69±0,70 ^a	1,34±0,42 ^a	2,07±0,91 ^a	1,65±0,45 ^a	0,85±0,69 ^a	0,82±0,63 ^a	7,24±0,38 ^a
UPA409 X POR	6,50±0,50 ^a	1,28±1,25 ^{ab}	4,42±0,44 ^{ab}	4,14±0,62 ^a	0,54±0,72 ^a	1,74±0,61 ^a	1,62±0,67 ^a	1,77±0,62 ^a	0,97±0,52 ^a	1,84±0,91 ^a	7,07±0,83 ^a
UPA409 X C151-61	6,00±0,82 ^a	2,33±1,10 ^a	4,57±0,53 ^{ab}	4,74±0,56 ^a	2,00±0,36 ^a	1,43±0,44 ^a	1,53±1,16 ^a	2,05±0,62 ^a	1,00±0,58 ^a	1,00±0,82 ^a	6,83±0,24 ^a
UPA409 X IMC67	5,91±0,97 ^a	2,32±0,94 ^a	4,66±0,47 ^{ab}	4,83±0,74 ^a	1,56±0,71 ^a	1,70±0,32 ^a	1,86±0,52 ^a	2,15±0,45 ^a	1,17±0,69 ^a	1,40±0,40 ^a	6,50±0,58 ^a
Moyenne	5,98±0,84	1,44±0,91	4,49±0,68	4,47±0,65	1,13±0,92	1,36±0,56	1,69±0,89	1,84±0,64	0,99±0,59	1,33±0,76	6,85±0,69
CV	14,10	63,35	15,06	14,52	80,83	41,34	52,96	34,82	60,15	57,48	10,04
P≤0.05	< 0,16	< 0,0018	< 0,0180	< 0,0592	< 0,0824	< 0,1366	< 0,2616	< 0,4807	< 0,9148	< 0,2000	< 0,0525

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.2.1.5.2. Saveurs particulières détectées

Pour les saveurs particulières, les descripteurs « fruits frais, fruit doré, floral, épicé et noix » ont présenté des notes supérieures à la norme selon « Cocoa of Excellence » (**Figure 45**). Pour le descripteur fruits frais, tous les hybrides ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur fruit doré, les hybrides T79/501 X C151-61, T79/501 X IMC67, C20 X C151-61, C20 X IMC67 et les 3 hybrides du parent femelle UPA409, ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur floral, les trois hybrides du parent femelle C20, UPA409 X POR et UPA409 X IMC67 ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur épicé, les hybrides T79/501 X IMC67 et UPA409 X IMC67 ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur noix, les 3 hybrides du parent femelle T79/501, C20 X POR, C20 X C151-61 et les 3 hybrides du parent femelle UPA409 ont eu des valeurs supérieures à la norme

Référence du cacao de Côte d'Ivoire selon Cocoa of Excellence

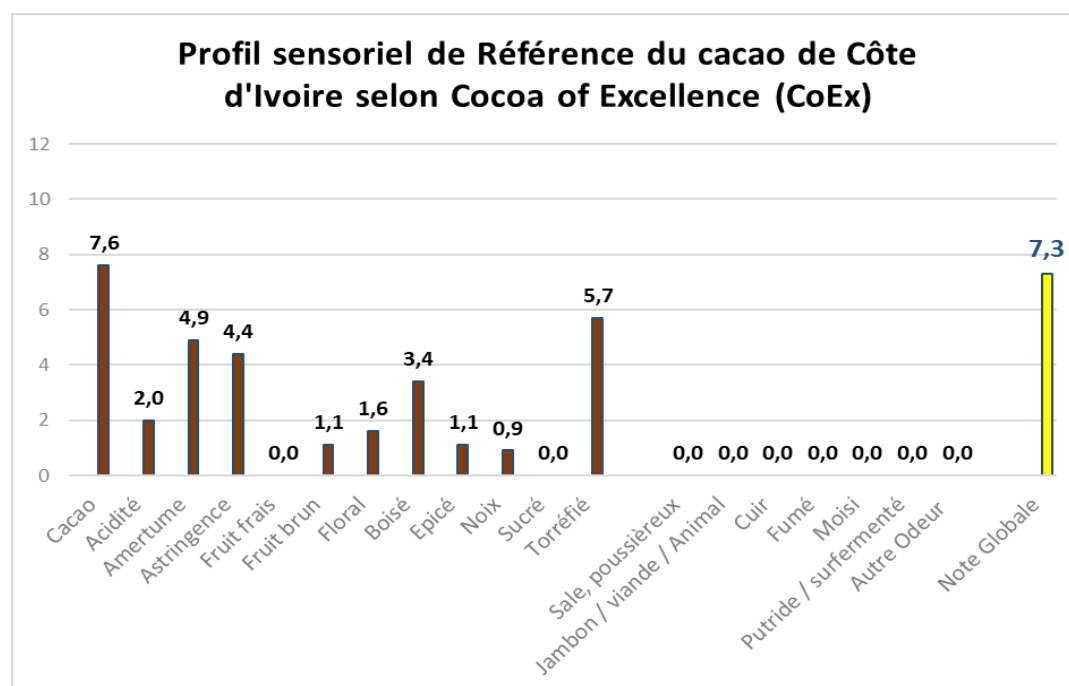


Figure 45. Profil sensoriel de référence du cacao de Côte d'Ivoire selon Cocoa of Excellence

3.2.1.5.3. Evaluation des saveurs détectées

Sur la base des résultats de dégustation du panel, les descripteurs (fruits frais, fruit doré, floral, Epicé et noir) ont présenté des notes supérieures à la norme selon Cocoa of Excellence (Tableau XLIV)

Tableau XLIII. Saveurs particulières détectées chez 9 hybrides issus de pollinisation manuelle suivant les normes de Cocoa of Excellence

Saveurs	VALEURS DES CROISEMENTS									Normes
	T79/501	T79/501 X	T79/501	C20	C20 X	C20 X	UPA409	UPA409 X	UPA409	
	X POR	C151-61	X IMC67	X POR	C151-61	IMC67	X POR	C151-61	X IMC67	
Fruits frais	0,8	0,9	0,97	1,51	1,2	0,69	0,54	2	1,56	0,0
Fruit doré	0,97	1,56	1,13	1,11	1,22	1,34	1,74	1,43	1,70	1,1
Floral	1,51	1,29	1,1	1,88	2,32	2,07	1,62	1,53	1,86	1,6
Epicé	0,71	0,97	1,13	0,97	1,11	0,85	0,97	1,00	1,17	1,1
Noir	1,08	1,73	1,12	1,33	1,6	0,82	1,84	1,00	1,40	0,9

3.2.1.5.4. Répartitions des 9 familles d'hybrides suivant leurs caractéristiques organoleptiques

L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les données des 9 familles d'hybrides issues de pollinisation contrôlée (**Figure 46**) a montré une représentation de 62,42 % des données initiales. La composante 1 (CP1) a montré 40,50 % et la composante 2 (CP2) 21,92 % de l'inertie globale. La composante principal 1 a été définie par l'acidité, l'amertume, le fruit frais, l'épicé, le boisé l'astringence et la note globale. Les croisements UPA409 X IMC67, UPA409 X C151-61, T79/501 X IMC67, C20 X IMC67 et C20 X C151-61 ont été bien représentés sur l'axe 1. La composante principal 2 a été caractérisée par fruit doré, noix, floral et cacao. Les croisements T79/501 X C151-61 et UPA409 X POR, ont été bien représentés sur l'axe 2.

Une classification hiérarchique ascendante (CAH) a mis en évidence trois groupes à la troncature 13. Le groupe 1 est composé de C20 X IMC67, T79/501 X POR et de C20 X POR. Le groupe 2 a été composé de UPA409 X POR et T79/501 X C151-61. Le groupe 3 a été composé de C20 X C151-61, T79/501 X IMC67, UPA409 X C151-61 et UPA409 X IMC67 (**Figure 47**).

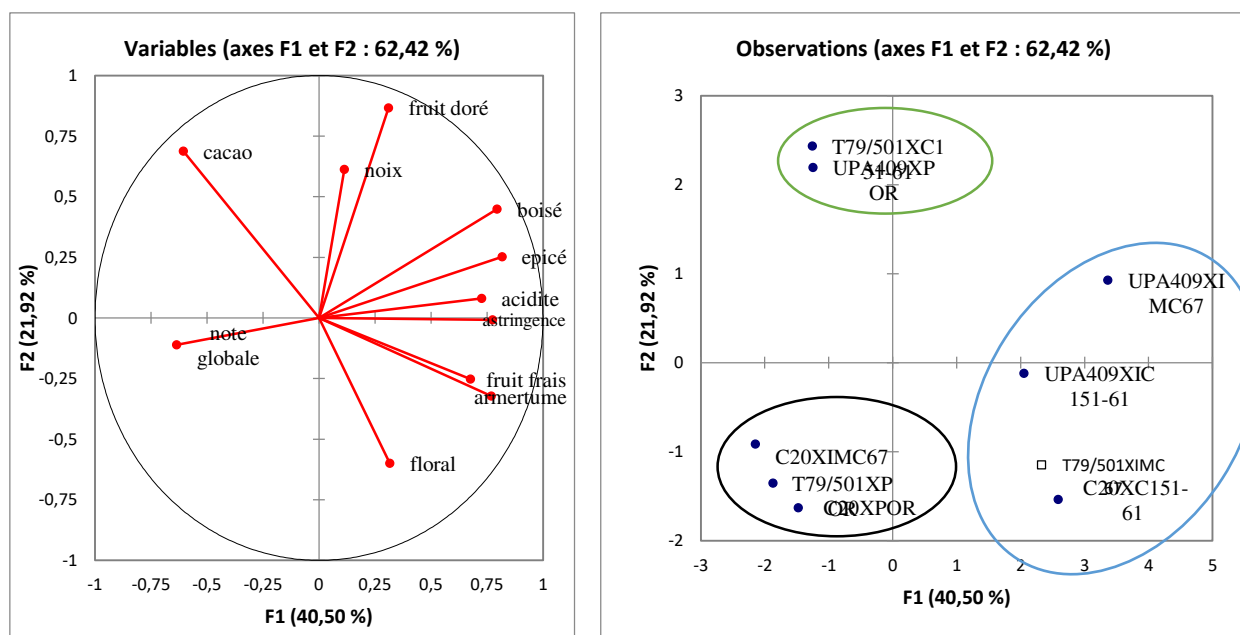


Figure 46. Cercle de corrélation et regroupement des variables pour les caractères organoleptique de 9 familles d'hybrides

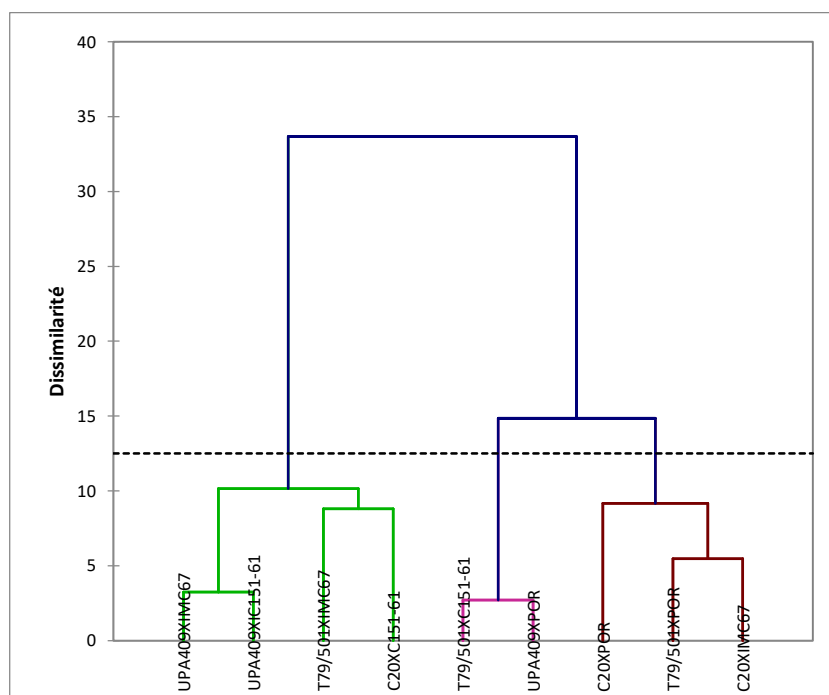


Figure 47. Classification hiérarchique ascendante de 9 familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques

3.2.2. Discussion

L'étude a porté sur l'origine du grain de pollen sur les caractères technologique, physico-chimique, phytochimique et sensoriel des fèves de neuf familles d'hybrides issues d'un factoriel 3 x 3 impliquant trois géniteurs femelles (T79/501, C20, UPA 409) et trois géniteurs mâles (POR, C151-61, IMC 67).

En ce qui concerne les paramètres technologiques mesurés (NFFN, PFFN et P1FS), des différences significatives ont été mises en évidence entre les neuf familles d'hybrides mises à l'épreuve pour chacun des paramètres. Les résultats ont révélé que le nombre de fèves fraîches normales par cabosse (NFFN) a varié de 42,13 et 49,57 fèves. Ces valeurs qui sont supérieures à 40, témoignent d'un bon remplissage des cabosses comme l'ont démontré les travaux de Lachenaud (2006) et Guiraud *et al.* (2021). Les croisements impliquant le géniteur femelle T79/501 ont produit des nombres de fèves fraîches normales par cabosse variant de 42,13 à 46,37. Pour les croisements impliquant le géniteur femelle C20, les moyennes ont fluctué entre 48,23 et 49,57 fèves par cabosse, tandis que les croisements avec le géniteur femelle UPA409 ont donné des valeurs allant de 45,47 à 48,33 fèves. Les résultats ainsi obtenus indiquent que tous les croisements impliquant le clone C20 (C20 x IMC67 ; C20 x POR ; C20 x C151-61) comme géniteur femelle se sont démarqués par les valeurs les plus élevées de nombre de fèves fraîches par cabosse (avec respectivement 49,57 ; 49,17 et 48,23 fèves par cabosse) et de poids de fèves par cabosse (avec respectivement 156,27 ; 148,8 ; 143,8 g par cabosse). Les trois croisements impliquant le géniteur T79/501 ont présenté les valeurs moyennes les plus faibles pour ces deux paramètres (NFFN et PFFN). Quant aux trois croisements impliquant le géniteur femelle UPA 409, ils se sont caractérisés par des valeurs intermédiaires à la fois pour le nombre de fèves fraîches normales et pour le poids des fèves fraîches normales par cabosse. Il est important de relever que pour le même géniteur femelle UPA 409, il n'y a aucune différence significative entre les trois croisements impliquant des géniteurs mâles différents pour les paramètres NFFN et PFFN. Cela suggère l'existence d'un effet maternel, c'est-à-dire que la performance de la descendance est impactée par la performance du géniteur femelle impliqué dans le croisement. En effet, les géniteurs C20, UPA409 et T79/501 ont transmis à leurs descendances, leur performance. En d'autres termes, si la performance du géniteur femelle est élevée, alors, celle de sa descendance est aussi élevée et vice-versa, celle de sa descendance sera aussi faible. S'agissant du poids d'une fève sèche de cacao (P1FS), l'analyse a montré que contrairement au NFFN et au PFFN, des différences significatives ont été mises en évidence entre les trois croisements impliquant un même géniteur femelle. Ainsi pour le géniteur femelle

UPA409, le croisement UPA409 x IMC67 impliquant le géniteur mâle IMC67 réputé pour ses grosses fèves, s'est révélé le plus performant avec une valeur de 1,26 g. Par contre, dans le croisement UPA409 x POR où le géniteur mâle POR est également reconnu pour ses grosses fèves (Lachenaud *et al.*, 2006). Le croisement UPA409 x POR n'a pas été aussi performant que UPA409 x IMC 67, démontrant ainsi que pour le PIFS, la performance de la descendance n'est ni liée à un effet maternel ou paternel mais plutôt à un effet d'interaction entre les deux parents impliqués.

Concernant les paramètres physico-chimiques, les résultats ont mis en évidence un effet maternel que pour l'acidité titrable et la teneur en matière sèche. Les résultats ont en outre indiqué que la valeur du pH de toutes les descendances analysées a varié entre 4,96 et 6,10. Ces valeurs pourraient avoir un impact négatif sur la conservation à moyen et long terme du cacao. En effet, les valeurs de pH comprises entre 3 et 6, seraient propices au développement des levures et de moisissures sur les fèves sèches de cacao en conservation. Le pH des fèves de cacao marchand résulte des activités enzymatiques qui se produisent durant la fermentation et le séchage (Aprotosoae *et al.*, 2016 ; Hansen *et al.*, 1998). Dans ce cas de figure, il serait nécessaire d'optimiser la fermentation et de prolonger le séchage du cacao en vue de préserver la qualité des fèves en conservation et de réduire leur acidité comme en témoignent les travaux de Akmel *et al.* (2008). Pour chaque géniteur femelle (T79/501, C20 et UPA409), les croisements ont montré une différence significative entre les descendances pour le pH, les sucres totaux, les sucres réducteurs, les taux de cendres, les fibres et de protéines indiquant un effet d'interaction entre les géniteurs mâles et les géniteurs femelles impliqués. Les teneurs les plus élevées en sucres réducteurs et en sucres totaux ont été observées respectivement chez les géniteurs femelles T79/501 et C20, avec une moyenne générale de 4,45 et 2,26. Les sucres présents dans la fève de cacao se composent principalement de sucrose, de glucose et de fructose. La variation de la teneur en sucres pourrait également être attribuée à la qualité de la fermentation des variétés étudiées (Rottiers *et al.*, 2019 ; Niemenak *et al.*, 2021). Par ailleurs, les sucres réducteurs joueraient un rôle dans la formation de divers composés volatiles d'intérêts lors de la torréfaction des fèves de cacao (Afoakwa *et al.*, 2008 ; Ge *et al.*, 2021). En ce qui concerne le taux de cendre, les résultats ont fluctué entre 2,40 et 3,41 %. Ces valeurs peuvent être affectées par plusieurs facteurs, notamment des facteurs agronomiques et les génotypes impliqués. Concernant les fibres, les valeurs observées (16,22 à 18,90 mg/100 g), sont inférieures à celles rapportées par Borchers *et al.* (2000), qui ont trouvé des teneurs en fibres oscillant entre 23 et 29 mg/100 g pour les fèves de cacao. La teneur en fibres est essentielle

dans les denrées alimentaires en raison de son rôle fondamental dans le bon fonctionnement du transit intestinal (Borchers *et al.*, 2000). En ce qui concerne les protéines, les teneurs (8,44 à 13,54 mg/100 g) dépassent celles observées pour le chocolat noir contenant 70-85 % de masse de cacao avec 7,79 mg/100 g de protéines (USDA, 2018). Les fortes teneurs en protéines de ces familles d'hybrides pourraient favoriser la formation de précurseurs d'arômes tels que les peptides et les acides aminés libres (Afoakwa *et al.*, 2008 ; Kadow *et al.*, 2015).

Les caractéristiques phytochimique et biochimique des fèves de cacao issues des différentes familles d'hybrides ont été analysées sur les paramètres incluant le profil des acides gras, les sels minéraux, les polyphénols, les flavonoïdes totaux, ainsi que la théobromine, la caféine et le profil des composés phénoliques.

S'agissant du profil des acides gras, les teneurs des acides gras dosées dans les échantillons de cacao des familles d'hybrides ont varié d'un échantillon à un autre. Ces variations peuvent être attribuées à des facteurs génétiques (Chasirie et Dimick, 1989) ainsi qu'au type de traitement post-récolte (Afoakwa *et al.*, 2008 ; Guehi *et al.*, 2010). Les acides gras palmitique, stéarique et oléique présentent les teneurs les plus élevées. Par ailleurs, pour chaque géniteur femelle (T79/501, C20 et UPA409), les résultats ont montré des différences significatives entre les descendances pour tous les paramètres biochimiques analysés, indiquant ainsi, un effet d'interaction entre les deux géniteurs impliqués pour la teneur en acides gras.

Concernant les teneurs en sels minéraux, les teneurs en macroéléments atteignent des valeurs de 507,18 mg/100 g pour le potassium pendant que pour les oligoéléments, une valeur de 22,44 mg/100 g a été atteinte avec le fer. Ces résultats témoignent d'une bonne concentration en macro et oligo-éléments. Pour chaque géniteur femelle (T79/501, C20 et UPA409), les croisements ont montré une différence significative, mettant en évidence un effet d'interaction entre les deux géniteurs pour la teneur en sels minéraux. Les teneurs en cuivre obtenues dans cette étude (0,28 à 1,04 mg /100g) sont inférieures à celles rapportées par Rombe *et al.* (2019), dont les travaux menés sur des échantillons de cacao provenant de la zone côtière de Luwu Est ont donné des valeurs variant de 1,64 à 3,648 mg/100 g. Selon ces auteurs, la teneur en sels minéraux pourrait être liée à l'origine du cultivar et à la qualité du sol. Par ailleurs, l'hybride C20 X IMC67 a présenté la concentration la plus élevée en cuivre, atteignant 1,04 mg/100g, ce qui dépasse la teneur des tablettes de chocolat traditionnel créole d'Équateur et du Mexique, qui est d'environ 0,85 mg/100 g (Grassia *et al.*, 2019). En ce qui concerne le fer, les valeurs obtenues (8,17 à 13,17 mg /100g) dépassent celles rapportées par Zoulo *et al.* (2006), dont les travaux menés sur des échantillons de cacao collectés auprès des producteurs de 18 villes de la Côte

d'Ivoire ont obtenu une teneur moyenne en fer de 5 mg/100 g. Les concentrations en fer des fèves dans cette étude sont également supérieures à celles observées sur des échantillons collectés dans le sud-ouest (2,76 mg/100 g) et l'ouest (2,53 mg/100 g) de la Côte d'Ivoire (Laine *et al.*, 2015). Les concentrations en fer obtenues dans cette étude sont également supérieures à celles signalées par Cinquanta *et al.* (2016) sur des échantillons de chocolat (1,19 mg/100 g). En effet, le fer joue un rôle fondamental dans le corps humain. Il agit comme un transporteur d'oxygène qui achemine ce gaz vital vers tous les tissus à partir des poumons grâce à l'hémoglobine présente dans les globules rouges. De plus, le fer est essentiel pour le transport des électrons au sein des cellules et constitue un élément clé des systèmes enzymatiques dans divers tissus corporels. Par ailleurs, l'hybride C20 x IMC67, avec une concentration de 3,97 mg/100 g, a affiché le niveau de manganèse le plus élevé. Cette valeur dépasse celle indiquée par Bertoldi *et al.* (2016), qui ont observé 2,41 mg/100 g dans les fèves de cacao en Amérique centrale. De même, elle est supérieure de celle observée par Rombe *et al.* (2019), qui ont trouvé 1,80 mg/100 g et 1,57 mg/100 g dans des fèves de cacao provenant respectivement de zones de plantation et de zones de transmigration (Luwu Est). En ce qui concerne le calcium, l'hybride C20 x C151-61, avec 217,07 mg/100 g, a présenté la concentration la plus élevée. Cette concentration est supérieure à celles observées dans des fruits tels que l'avocat (54,9 mg/100 g), l'ananas (202,7 mg/100 g), la banane (25,4 mg/100 g), la papaye (184,7 mg/100 g) et le fruit de la passion (47,1 mg/100 g) (Damila *et al.*, 2017).

S'agissant des polyphénols, la concentration totale dans les fèves variait entre 1157,89 et 1659,90 mg EAG/100 g de matière sèche. Cette fluctuation pourrait être attribuée à divers facteurs tels que les génotypes, les conditions de culture, le stade de maturité des fruits de cacao, ainsi que les paramètres de transformation des fèves et de stockage (Camu *et al.*, 2008 ; Caligiani *et al.*, 2010). Le croisement T79/501 x POR a enregistré la concentration la plus élevée de polyphénols, atteignant 1659,90 mg EAG/100 g de matière sèche. Les polyphénols du cacao, lorsqu'elle est intégrée dans divers produits alimentaires, présente un intérêt nutritionnel considérable (Khan *et al.*, 2014 ; Tsang *et al.*, 2019). En outre, les polyphénols agissent comme des antioxydants et possèdent diverses activités biologiques, notamment des propriétés anticancéreuses, anti-inflammatoires et antidiabétiques (Katz *et al.*, 2011). Pour chaque parent femelle (T79/501, C20 et UPA409), les croisements ont montré des différences significatives, mettant en évidence un effet d'interaction entre les géniteurs impliqués en ce qui concerne la concentration en polyphénols, en flavonoïdes totaux et en méthylxanthines. Le croisement T79/501 x POR a donné la plus forte concentration en polyphénols. Ce croisement

implique donc un parent femelle (T79/501) de type Forastero et un parent mâle (POR) de type Trinitario. En outre, les variations de teneurs en flavonoïdes totaux (437,06 et 681,49 mg EQ/100 g) de matière sèche peuvent être attribuées à divers facteurs, notamment les différentes variétés de cacao, les stades de maturité, ainsi que les pratiques post-récoltes telles que la fermentation et le séchage (Plaza *et al.*, 2017 ; Santander Munoz *et al.*, 2020). Des variations ont été observées au niveau des teneurs en méthylxanthines (théobromine et caféine). En effet, cette variabilité observée dans les concentrations de théobromine et de caféine serait liée au processus de fermentation ainsi qu'à l'amertume caractéristique du cacao (Brunetto *et al.*, 2005). Par ailleurs, les différences dans les conditions géographiques et environnementales des échantillons de fèves de cacao, ainsi que la génétique du cacaoyer, peuvent également expliquer les variations de teneurs des méthylxanthines mesurées dans cette étude (Jang *et al.*, 2020). Les analyses ont révélé que le profil en composés phénoliques dosés dans les fèves de cacao des familles d'hybrides a varié d'un échantillon à un autre. Cette variation des composés phénoliques est principalement influencée par les activités post-récolte (Cooper *et al.*, 2007).

Quant aux profils sensoriels et composés aromatiques des liqueurs de cacao des familles d'hybrides, l'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative entre les trois croisements impliquant le même géniteur mâle en ce qui concerne tous les descripteurs étudiés, mettant ainsi en évidence un effet maternel dans la transmission des caractères de qualité sensorielle. Ces résultats illustrent l'influence du patrimoine maternel sur ces descripteurs comme le témoigne les travaux de Sukha *et al.* (2017). En effet, ces auteurs ont révélé que l'origine génétique du pollen exerçait une influence limitée sur le profil sensoriel des hybrides partageant le même parent femelle. En outre, les recherches menées par Sukha *et al.* (2014) ont démontré que la saveur fruitée ainsi que les saveurs secondaires peuvent être influencées par l'environnement de culture et les conditions post-récoltes, contribuant ainsi à la perception d'un lieu ou d'un terroir qui développe l'intensité de l'arôme du cacao (Guittard, 2005 ; Nesto, 2010 ; Sukha *et al.*, 2014). Par ailleurs, des recherches antérieures menées par Sukha *et al.* (2014) ont démontré que le profil sensoriel de l'endosperme est principalement déterminé par le mucilage et la pulpe qui l'entourent, bien que le cotylédon (endosperme) résulte de la fusion des gamètes femelle et mâle. Ce mucilage proviendrait donc d'une héritabilité maternelle (Fang *et al.*, 2014). En particulier, pour chacun des trois géniteurs femelles (T79/501, C20, UPA409), il on la même aptitude à transmettre le goût cacao à leur descendance.

3.2.3. Conclusion partielle

Cette partie visait à analyser l'influence de l'origine génétique du grain de pollen utilisé lors de la pollinisation sur les caractéristiques technologiques, physico-chimiques, phytochimiques, biochimiques et sensorielles des fèves de cacao. Il est important de préciser que dans ce chapitre, les fèves obtenues étaient le résultat de la fusion d'un géniteur mâle (cacaoyer ayant donné le pollen) et d'un géniteur femelle (cacaoyer ayant donné les ovules).

Concernant les caractéristiques technologiques, il a été observé un effet maternel sur l'expression des paramètres technologiques tels que le NFFN et le PFFN. Un effet d'interaction entre les géniteurs mâles et femelles impliqués dans chaque croisement a été mis en évidence au niveau du P1FS.

En ce qui concerne les propriétés physico-chimiques, l'origine génétique du pollen a eu un impact sur les paramètres analysés, suggérant ainsi un effet d'interaction entre les deux géniteurs impliqués. Un effet maternel a été observé pour l'acidité titrable et la teneur en matière sèche sur les paramètres mesurés.

Concernant les caractéristiques biochimiques et phytochimiques, un effet d'interaction entre les parents femelles et mâles impliqués dans les croisements a été mis en évidence sur tous les paramètres mesurés

Quant aux caractères sensoriels, un effet maternel a été mis en évidence sur tous les descripteurs étudiés. La liqueur de cacao provenant du croisement impliquant le géniteur femelle C20 ont été particulièrement appréciée par les panelistes pour leur faible acidité et leur amertume modérée.

3.3. Chapitre 3 : Influence de différentes zones agro écologiques sur la qualité des fèves de cacao

3.3.1. Résultats

3.3.1.1. Paramètres technologiques des fèves de cacao de trois zones agro écologiques

3.3.1.1.1. Effet de la zone de plantation sur les caractères technologiques des fèves d'hybrides

L'analyse du **tableau XLV** indique un effet « zone de plantation » non significatif à la fois sur le nombre de fèves normales (NFFN) ($P = 0,3218$) et le poids moyen de fèves fraîches normales (PFFN) ($P = 0,0557$). Par contre, un effet très hautement significatif de la zone de plantation a été constaté sur le poids moyen d'une fève sèche ($P < 0,0001$). Par ailleurs, un effet « Famille » et un effet interaction « Zone x Famille » hautement significatif ($P < 0,0001$) a été observé sur chacun des trois paramètres technologiques étudiés.

Tableau XLIV. Interactions « zones x Familles » pour le nombre et poids des fèves

Source	DDL	NFFN		PFFN		PIFS	
		F	Pr > F	F	Pr > F	F	Pr > F
Zone	2	1,52	<0,3218	2,22	<0,0557	28,29	<0,0001
Famille	3	4,81	<0,0031	9,65	<0,0001	423,83	<0,0001
Zone x Famille	6	4,02	<0,0009	5,93	<0,0001	73,70	<0,0001

NFFN : Nombre de fèves fraîches normales ; **PFFN** : Poids de fèves fraîches normales ; **PIFS** : Poids d'une fève sèche ; **F** : Valeur de Fisher ; **Pr** : Probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.3.1.1.2. Nombre et poids des fèves de cacao marchand de trois zones de plantation

Le **tableau XLVI** présente les résultats de la comparaison de trois zones d'étude pour trois paramètres technologiques. L'analyse du tableau indique un effet « zone de plantation » très hautement significatif uniquement sur le poids d'une fève sèche ($P < 0,0001$). La localité de Soubré a présenté les fèves sèches les plus lourdes (1,38 g) tandis que celle Bouaflé a enregistré les fèves les moins lourdes (1,24 g).

Tableau XLV. Effet de zones de production sur 3 paramètres liés aux fèves

Zones	Nombre de fèves	NFFN (Nombre)	PFFN (g)	P1FS (g)
Soubré	400	41,06 ± 0,98 ^a	131,49 ± 5,01 ^a	1,38 ± 0,01 ^a
Divo	400	40,17 ± 1,20 ^a	133,81 ± 5,81 ^a	1,31 ± 0,01 ^b
Bouaflé	400	38,28 ± 1,26 ^a	112,31 ± 4,61 ^b	1,24 ± 0,01 ^c
Moyenne		39,83	125,87	1,31
CV (%)		20,61	27,66	4,66
P		< 0,3218	< 0,0557	< 0,0001

NFFN : Nombre de fèves fraîches normales ; **PFFN** : Poids de fèves fraîches normales ; **P1FS** : Poids d'une fève sèche ; **CV** : Coefficient de variation ; **P** : Probabilité

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.3.1.1.3. Nombre et poids des fèves de cacao marchand de quatre familles hybrides

L'analyse de variance a montré une homogénéité entre les familles dans la zone de Divo pour le nombre de fèves fraîches normales (NFFN). Par ailleurs, une différence significative est observée entre elles dans les zones de Soubré et Bouaflé. Dans ces localités, la famille F41 a présenté le meilleur remplissage de cabosse avec respectivement 47,46 et 45,47 fèves par cabosse. Quant au poids de fèves fraîches normales (PFFN) et au poids d'une fève sèche (P1FS), l'analyse statistique a montré une différence significative entre les familles quelle que soit la zone. Dans les localités de Soubré et Divo, la F26 a présenté les fèves les plus lourdes par cabosse avec respectivement 158,7 g et 171,63 g. A Bouaflé, c'est plutôt la famille F41 qui a présenté les fèves les plus lourdes avec 136,01 g. En ce qui concerne les trois localités d'étude, la F26 a présenté les fèves sèches les plus lourdes avec respectivement 1,71 g, 1,69 g et 1,40 g par fève sèche. La F22 s'est classée en deuxième position pour le poids moyen d'une fève sèche à Soubré (1,37 g) et à Bouaflé (1,32 g) (**Tableau XLVII**).

Tableau XLVI. Nombre et poids des fèves de cacao marchand de 4 familles d'hybrides dans trois zones de plantation

Familles	NFFN (Nombre)			PFFN (g)			P1FS (g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	47,46±1,15 ^a	37,20±3,29 ^a	45,47±1,31 ^a	134,55±5,95 ^{ab}	99,57±6,79 ^c	136,01±5,76 ^a	1,21±0,01 ^c	1,07±0,02 ^d	1,24±0,01 ^c
F26	40,27±1,12 ^b	37,13±2,75 ^a	35,80±2,54 ^b	158,70±12,79 ^a	171,63±14,1 ^a	116,10±10,51 ^b	1,71±0,03 ^a	1,69±0,02 ^a	1,40±0,01 ^a
F28	39,40±1,52 ^b	44,40±1,24 ^a	36,93±3,07 ^b	123,93±7,00 ^b	143,37±10,3 ^b	92,26±8,49 ^b	1,22±0,01 ^c	1,33±0,02 ^b	0,98±0,02 ^d
F22	37,13±2,62 ^b	41,93±1,24 ^a	34,27±2,16 ^b	108,76±8,88 ^b	120,68±3,73 ^b	104,37±8,90 ^b	1,37±0,01 ^b	1,14±0,01 ^c	1,32±0,02 ^b
Moyenne	41,07	40,17	38,13	131,49	133,81	112,52	1,38	1,30	1,23
CV	16,18	12,30	13,18	26,64	13,75	15,77	13,12	12,23	14,04
<i>P</i>	< 0,0006	< 0,0758	< 0,0055	< 0,0025	< 0,0001	< 0,0057	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

NFFN : Nombre de fèves fraîches normales ; **PFFN** : Poids de fèves fraîches normales ; **P1FS** : Poids d'une fève sèche

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

3.3.1.2. Paramètres physico-chimiques des fèves de cacao de trois zones agro écologiques

3.3.1.2.1. Effets de l'interaction « zone de plantation x familles » sur les caractéristiques physico-chimiques du cacao

L'analyse de variance a montré une différence significative entre les zones d'études pour le pH, les cendres, les lipides, les fibres et les protéines et une différence non significative pour les sucres totaux, sucres réducteurs. En outre, une interaction zone*famille significative a été notée entre les familles sauf l'acidité titrable, où elle a montré une homogénéité. Quant à l'interaction zone*famille, une différence significative a été notée entre elle pour les paramètres étudiés sauf les sucres totaux, sucres réducteurs qui ont observés une homogénéité (**Tableau XLVIII**).

Tableau XLVII. Interactions « zones x des familles » pour les paramètres physico-chimiques

Composés physico-chimiques	Zones			Familles			Zones x Familles		
	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F
pH	2	136,56	<0,0001	3	101,62	<0,0001	6	273,13	<0,0036
Acidité titrable	2	0,76	<0,4781	3	0,81	<0,5013	6	0,82	<0,5493
Sucres totaux	2	1,14	<0,3377	3	11,04	<0,0001	6	1,18	<0,4591
Sucres réducteurs	2	0,71	<0,5049	3	7,05	<0,0019	6	14,65	<0,0001
Taux de cendre	2	8,55	<0,0019	3	3,81	<0,0251	6	6,01	<0,0001
Taux d'humidité	2	1,35	<0,2802	3	11,37	<0,0001	6	7,03	<0,0003
Lipides	2	13,56	<0,0002	3	13,06	<0,0001	6	11,37	<0,0001
Fibres	2	234,88	<0,0001	3	95231,5	<0,0001	6	181	<0,0001
Protéines	2	521,44	<0,0001	3	6001,78	<0,0001	6	351,08	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

DDL : Degré de liberté ; F : Valeur de Fisher ; Pr : Probabilité

3.3.1.2.2. Comparaison des zones de plantation sur les paramètres physico-chimiques

L'analyse de variance a montré une différence significative pour l'effet zone sur les paramètres pH, les taux de sucres réducteurs, de cendres, d'humidité, de lipides, de fibres et de protéines. En outre, une homogénéité a été notée entre ces familles pour les caractères acidité titrable et sucres totaux (**Tableau XLIX**).

Le pH a enregistré une moyenne de 5,97 avec un coefficient de variation de 2,08 %. La zone de Bouaflé avec 6,73 a eu le pH le plus élevé alors que la zone de Divo avec 4,62 a eu le plus faible. Concernant l'acidité titrable, la moyenne a été de 0,99 avec un coefficient de variation de 7,65 %. Les valeurs ont été identiques d'une zone à l'autre. S'agissant des sucres totaux, la moyenne a été de 0,73 avec un coefficient de variation de 12,92 %. Tout comme l'acidité titrable, les taux de sucres totaux n'ont pas varié significativement. En ce qui concerne

les sucres réducteurs, la moyenne a été de 0,98 avec un coefficient de variation de 8,79 %. La zone de Bouaflé avec 4,62 a eu les taux de sucres réducteurs les plus élevés alors que les zones de Divo (0,97) et de Soubré (0,93) ont obtenus les plus faibles. Quant aux cendres, la moyenne a été de 3,61 avec un coefficient de variation de 6,10 %. La zone de Bouaflé avec 3,92 a eu les taux de cendres les plus élevés alors que la zone de Soubré avec 3,23 a obtenu la plus faible. Pour l'humidité, la moyenne a été de 95,06 avec un coefficient de variation de 0,31 %. Elle n'a pas varié significativement d'une zone à l'autre. Concernant les Lipides, la moyenne a été de 20,77 avec un coefficient de variation de 5,28 %. La zone de Divo avec 22,75 % a eu les taux de lipides les plus élevés alors que la zone de Bouaflé avec 18,21 % a eu le plus faible. S'agissant des fibres, la moyenne a été de 17,67 % avec un coefficient de variation de 0,06 %. La zone de Bouaflé avec 17,81 % a eu les taux de fibres les plus élevés alors que la zone de Divo avec 17,55 % a enregistré les plus faibles. Pour les protéines dans les zones, la moyenne a été de 12,19 % avec un coefficient de variation de 0,51%. La zone de Divo avec 13,41 % a eu les taux de protéines les plus élevés alors que la zone de Soubré avec 11,18 % a eu les plus faibles.

Tableau XLVIII. Comparaison de 3 régions de production pour 9 paramètres physico-chimiques

Composés physicochimiques	Zones			Moyenne	CV (%)	P
	Soubré	Divo	Bouaflé			
pH	6,55±0,18 ^b	4,62±0,19 ^c	6,73±0,11 ^a	5,97	2,08	<0,0001
Acidité titrable	1,02±0,02 ^a	1,00±0,03 ^a	0,97±0,02 ^a	0,99	7,65	<0,5493
Sucres totaux	0,77±0,06 ^a	0,68±0,01 ^a	0,72±0,07 ^a	0,73	12,92	<0,4591
Sucres réducteurs	0,93±0,03 ^b	0,97±0,07 ^b	1,05±0,03 ^a	0,98	8,79	<0,0001
Taux de cendre	3,23±0,07 ^c	3,66±0,48 ^b	3,92±0,04 ^a	3,61	6,10	<0,0001
Taux d'humidité	94,92±0,18 ^a	95,11±0,12 ^a	95,15±0,13 ^a	95,06	0,31	<0,2974
Lipides	21,35±0,22 ^b	22,75±1,03 ^a	18,21±0,28 ^c	20,77	5,28	<0,0001
Fibres	17,66±0,24 ^b	17,55±0,45 ^c	17,81±0,44 ^a	17,67	0,06	<0,0001
Protéines	11,18±0,50 ^c	13,41±1,04 ^a	11,97±0,31 ^b	12,19	0,51	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.3.1.2.3. Comparaison entre les fèves de cacao des familles pour les paramètres physico-chimiques issues de trois zones

Au niveau du pH, l'effet « famille » a été significatif ($P < 0,05$) quelle que soit la localité. Il en est de même pour les taux de sucres totaux, de sucres réducteurs, d'humidité, de lipides, de fibre et de protéines. Concernant l'acidité titrable, l'effet « famille » a été significatif à

Bouaflé et à Divo. Il a été également significatif sur la teneur en cendres dans les localités de Bouaflé et Soubré.

Pour le pH, les moyennes ont été de 6,56 avec un coefficient de variation de 2,68% dans la région de Soubré ; une moyenne 4,62 avec un coefficient de variation de 0,33% dans la région de Divo et une moyenne de 6,73 avec un coefficient de variation de 1,70% dans la région de Bouaflé. Les familles F41/Soubré (6,91), F26/Soubré (6,95), F22/Soubré (6,83), F26/Divo (5,71), F41/Bouaflé (6,84), F26/Bouaflé (6,97) et F28/Bouaflé (7,00) ont eu les pH les plus élevés alors que les familles F28/Soubré (5,53), F41/Divo (4,26) et F22/Bouaflé (6,11) ont eu les pH les plus faibles. S'agissant de l'acidité titrable, les moyennes ont été de 1,02 et un coefficient de variation de 9,34% dans la région de Soubré, 1,00 avec un coefficient de variation de 5,00% dans la région de Divo et une moyenne de 0,97 avec un coefficient de variation de 7,31% dans la région de Bouaflé. Les familles F26/Divo (1,03), F28/Divo (1,03), F22/Divo (1,10) ont eu les acidités titrables les plus élevées alors que la famille F41/Divo (0,83) a eu la plus faible. Les valeurs ont varié de 0,97 (F28 /Soubré) à 1,10 (F41/Soubré) et de 0,93 (F28/Bouaflé) à 1,00 (F41/Bouaflé). Concernant les sucres totaux, les moyennes ont été de 0,77 et un coefficient de variation de 7,18% dans la région de Soubré ; une moyenne de 0,68 avec un coefficient de variation de 2,49% dans la région de Divo et une moyenne de 0,72 avec un coefficient de variation de 21,55% dans la région de Bouaflé. Les familles F41/Soubré (0,91), F26/Soubré (1,01), F26/Divo (0,70), F22/Divo (0,73) et F41/Bouaflé (1,01) ont eu les sucres totaux les plus élevés alors que les familles F28/Soubré (0,55), F28/Divo (0,66), F41/Divo (0,65), F26/Bouaflé (0,54), et F22/Bouaflé (0,57) ont eu les plus faibles (**Tableau L**).

S'agissant des sucres réducteurs, les moyennes ont été de 0,93 et un coefficient de variation de 3,85% dans la région de Soubré ; 0,97 avec un coefficient de variation de 12,82% dans la région de Divo et une moyenne de 1,05 avec un coefficient de variation de 5,39% dans la région de Bouaflé. Les familles F22/Soubré (1,09) ; F26/Divo (1,32) ; F28/Bouaflé (1,09) et F22/Bouaflé (1,17) ont eu les sucres réducteurs les plus élevés alors que les familles F41/Soubré (0,85), F26/Soubré (0,79) ; F41/Divo (0,87) ; F28/Divo (0,76) ; F22/Divo (0,91) ; F41/Bouaflé (0,96) et F26/Bouaflé (0,98) ont eu les teneurs les plus faibles. En ce qui concerne le taux de cendres, les moyennes ont été de 3,23 et un coefficient de variation de 4,33% dans la région de Soubré, 3,66 avec un coefficient de variation de 9,81% dans la région de Divo et une moyenne de 3,92 avec un coefficient de variation de 2,65% dans la région de Bouaflé. Les familles F28/Soubré (3,55), et F26/Bouaflé (4,11) ont eu les cendres les plus élevés alors que les familles F26/Soubré (3,04), F22/Soubré (3,04) et F28/Bouaflé (3,75) ont eu les plus faibles. Cependant,

les valeurs ont varié de 3,24 (F26/Soubré) à 4,15 (F41/Soubré). Quant à l'humidité, les moyennes ont été de 94,92 et un coefficient de variation de 0,32% dans la région de Soubré ; 95,11 avec un coefficient de variation de 0,30 % dans la région de Divo et une moyenne de 95,15 avec un coefficient de variation de 0,31% dans la région de Bouaflé. Les familles F28/Soubré (95,40), F22/Soubré (95,53), F28/Divo (95,53), F41/Bouaflé (95,40), F28/Bouaflé (95,40) et F22/Bouaflé (95,33) ont eu les humidités les plus élevés alors que les familles F41/Soubré (94,27), F26/Soubré (94,46), F41/Divo (94,73) et F26/Bouaflé (94,46) ont eu les teneurs les plus faibles (**Tableaux LI**).

S'agissant des lipides, les moyennes ont été de 21,35 et un coefficient de variation de 0% dans la région de Soubré, 22,76 avec un coefficient de variation de 8,37% dans la région de Divo et une moyenne de 18,21 avec un coefficient de variation de 1,17% dans la région de Bouaflé. Les familles F22/Soubré (22,08), F26/Divo (24,99), F22/Divo (26,49) et F22/Bouaflé (19,42) ont eu les lipides les plus élevés alors que les familles F26/Soubré (20,12), F41/Divo (20,34), F28/Divo (19,20) et F22/Bouaflé (16,85) ont eu les plus faibles. Concernant les fibres, les moyennes ont été de 17,66 et un coefficient de variation de 0,04% dans la région de Soubré, 17,55 avec un coefficient de variation de 0,05% dans la région de Divo et une moyenne de 17,81 avec un coefficient de variation de 0,07% dans la région de Bouaflé. Les familles F22/Soubré (18,53), F28/Divo (19,83) et F28/Bouaflé (19,67) ont eu les teneurs en fibres les plus élevées alors que les familles F28/Soubré (16,43), F26/Divo (15,64) et F26/Bouaflé (15,53) ont eu les plus faibles. Et pour les protéines, les moyennes ont été de 11,18 et un coefficient de variation de 0,99% dans la région de Soubré, 13,41 avec un coefficient de variation de 0,06% dans la région de Divo et une moyenne de 11,97 avec un coefficient de variation de 0,06% dans la région de Bouaflé. Les familles F22/Soubré (13,44), F41/Divo (18,74) et F22/Bouaflé (13,23) ont eu les teneurs protéines les plus élevées alors que les familles F28/Soubré (8,74), F26/Divo (9,22) et F26/Bouaflé (10,33) ont eu les plus faibles (**Tableau LII**).

Tableau XLIX. Paramètres physico chimique mesurés sur quatre familles d'hybrides issues de trois zones de plantation

Familles	pH			Acidité titrable			Sucres totaux		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	6,91±0,20 ^a	4,26±0,00 ^c	6,84±0,13 ^a	1,10±0,00 ^a	0,83±0,03 ^b	1,00±0,00 ^a	0,91±0,06 ^a	0,65±0,00 ^b	1,01±0,17 ^a
F26	6,95±0,01 ^a	5,71±0,01 ^a	6,97±0,00 ^a	1,03±0,06 ^a	1,03±0,03 ^a	0,96±0,03 ^a	1,01±0,01 ^a	0,70±0,00 ^a	0,54±0,01 ^b
F28	5,53±0,01 ^b	4,29±0,01 ^b	7,00±0,01 ^a	0,97±0,06 ^a	1,03±0,03 ^a	0,93±0,03 ^a	0,55±0,01 ^b	0,66±0,00 ^b	0,74±0,01 ^{ab}
F22	6,83±0,01 ^a	4,23±0,01 ^d	6,11±0,00 ^b	1,00±0,57 ^a	1,10±0,00 ^a	0,97±0,03 ^a	0,61±0,00 ^b	0,73±0,01 ^a	0,57±0,02 ^b
Moyenne	6,56	4,62	6,73	1,02	1,00	0,97	0,77	0,68	0,72
CV	2,68	0,33	1,70	9,34	5,00	7,31	7,18	2,49	21,55
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,4180	<0,0010	<0,7278	<0,0001	<0,0018	<0,0197

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

Tableau L. Teneurs en sucres réducteurs, cendres et taux d'humidité des fèves de cacao issues de trois zones de plantation

Familles	Sucres réducteur			Cendre			Humidité		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	0,85±0,01 ^c	0,87±0,03 ^b	0,96±0,49 ^b	3,30±0,08 ^{ab}	4,15±0,26 ^a	3,97±0,04 ^{ab}	94,27±0,13 ^b	94,73±0,06 ^b	95,40±0,20 ^a
F26	0,79±0,01 ^c	1,32±0,05 ^a	0,98±0,00 ^b	3,04±0,05 ^b	3,24±0,04 ^a	4,11±0,01 ^a	94,46±0,17 ^b	95,33±0,17 ^{ab}	94,46±0,06 ^b
F28	0,99±0,03 ^b	0,76±0,12 ^b	1,09±0,01 ^a	3,55±0,11 ^a	3,39±0,26 ^a	3,75±0,09 ^b	95,40±0,20 ^a	95,53±0,06 ^a	95,40±0,20 ^a
F22	1,09±0,00 ^a	0,91±0,03 ^b	1,17±0,04 ^a	3,04±0,05 ^b	3,84±0,17 ^a	3,87±0,06 ^{ab}	95,53±0,17 ^a	94,87±0,26 ^{ab}	95,33±0,17 ^a
Moyenne	0,93	0,97	1,05	3,23	3,66	3,92	94,92	95,11	95,15
CV	3,85	12,82	5,39	4,33	9,81	2,65	0,32	0,30	0,31
<i>P</i>	<0,0001	<0,0025	<0,0057	<0,0056	<0,0515	<0,0163	<0,0016	<0,0283	<0,0115

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

Tableau LI. Teneurs en lipides, fibres et protéines des fèves de cacao issues de trois zones de plantation

Familles	Lipides			Fibres			Protéines		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	21,39±0,00 ^c	20,34±2,19 ^b	18,56±0,24 ^b	18,23±0,00 ^b	16,97±0,00 ^c	17,71±0,01 ^c	11,16±0,01 ^c	18,74±0,00 ^a	12,06±0,00 ^b
F26	20,12±0,00 ^d	24,99±0,00 ^a	16,85±0,00 ^d	17,43±0,01 ^c	15,64±0,00 ^d	15,53±0,00 ^d	11,39±0,13 ^b	9,22±0,00 ^d	10,33±0,00 ^d
F28	21,81±0,00 ^b	19,20±0,00 ^b	18,02±0,00 ^c	16,43±0,01 ^d	19,83±0,00 ^a	19,67±0,01 ^a	8,74±0,00 ^d	13,54±0,01 ^b	12,25±0,00 ^c
F22	22,08±0,00 ^a	26,49±0,00 ^a	19,42±0,00 ^a	18,53±0,00 ^a	17,74±0,00 ^b	18,29±0,00 ^b	13,44±0,00 ^a	12,11±0,00 ^c	13,23±0,00 ^a
Moyenne	21,35	22,76	18,21	17,66	17,55	17,81	11,18	13,41	11,97
CV	0	8,37	1,17	0,04	0,05	0,07	0,99	0,06	0,06
P	<0,0001	<0,0040	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.3.1.2.4. Structuration des familles d'hybrides suivant les caractéristiques physico-chimiques des fèves dans les trois zones de production

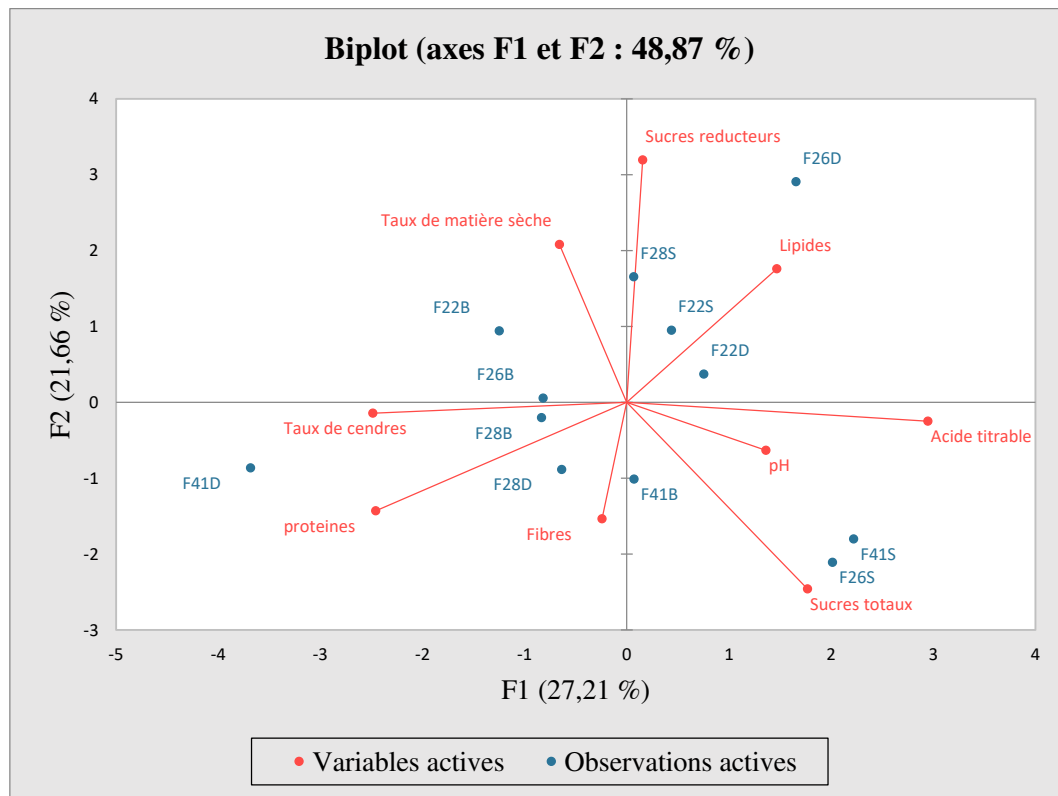
L'analyse de la matrice des valeurs propres de l'ACP (**Tableau LIII**) indique que les trois premiers axes (F1, F2 et F3) ont respectivement exprimé 21,27 % ; 21,66 % et 51,13 % de la variabilité totale. Ainsi, les deux premiers axes (F1 et F2) qui ont au total contribué à 48,8 % de la variabilité, ont été retenus pour la projection des individus. Le **tableau LIV** présente la contribution des variables suivant les axes de l'ACP. Les variables acidité titrable (Contribution : 30,42 % ; Cosinus carré : 0,75), taux de cendres (Contribution : 21,63 % ; Cosinus carré : 0,53) et protéines (Contribution : 21,14 % ; Cosinus carré : 0,52) ont été bien représentées sur la composante F1. Les variables sucres totaux (Contribution : 21,17 % ; Cosinus carré : 0,41) et sucres réducteurs (Contribution : 35,73 % ; Cosinus carré : 0,69) ont été bien représentée sur la composante F2. Les variables pH (Contribution : 39,02 % ; Cosinus carré : 0,63) et lipides (Contribution : 23,25 % ; Cosinus carré : 0,37) ont été bien représentées sur la composante F3. La **figure 48** présente la projection du biplot sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Ces deux axes ont été retenus pour la projection des individus et des variables en raison de leur contribution (48,87 %) dans la variabilité totale. Les sucres réducteurs et les lipides se situent pratiquement du côté positif des axes 1 et 2. Ils sont caractérisés par les familles d'hybrides F28S, F22S, F22D et F26D. En ce qui concerne le pH, l'acidité titrable et les sucres totaux, ils se positionnent du côté positif de l'axe 1 et négatif de l'axe 2. Ils sont caractérisés par les familles d'hybrides F41S, F26S et F41B. S'agissant du taux de cendres, les protéines et les fibres ils se situent pratiquement du côté négatif des axes 1 et 2. Quant au taux de matière sèche, il se positionne du côté négatif de l'axe 1 et positif de l'axe 2. Il est caractérisé par les familles d'hybrides F22B et F26B. L'analyse de cette figure indique par ailleurs qu'il existe une corrélation positive entre l'acidité titrable et le pH.

Tableau LII . Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 4 familles d'hybrides pour les paramètres physico-chimiques

	F1	F2	F3
Valeur propre	2,449	1,949	1,609
Variabilité (%)	27,215	21,660	17,878
% cumulé	27,215	48,875	66,752

Tableau LIII. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 4 familles d'hybrides pour les paramètres physico-chimiques

	F1		F2		F3	
	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré
pH	6,508	0,159	1,397	0,027	39,021	0,628
Acidité titrable	30,417	0,745	0,218	0,004	5,606	0,090
Sucres totaux	10,946	0,268	21,172	0,413	0,148	0,002
Sucres réducteurs	0,085	0,002	35,730	0,697	5,689	0,092
Taux de cendres	21,630	0,530	0,070	0,001	3,423	0,055
Taux de matière sèche	1,529	0,037	15,135	0,295	3,396	0,055
Lipides	7,538	0,185	10,835	0,211	23,251	0,374
Fibres	0,204	0,005	8,271	0,161	11,214	0,180
Protéines	21,143	0,518	7,174	0,140	8,250	0,133

**Figure 48.** Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 4 familles d'hybrides pour les paramètres physico-chimiques

FiB : Famille i de Bouaflé ; FiD : Famille i de Divo ; FiS : Famille i de Soubré

3.3.1.3. Comparaison des cacaoyers issus de trois zones agro écologiques pour les paramètres biochimiques des fèves de cacao

3.3.1.3.1. Profil des acides gras des fèves de cacao issues de trois zones de plantation

3.3.1.3.1.1. Effet de l'interaction « zone de plantation x famille » sur le profil des acides gras

Les effets principaux de la zone et de la famille ainsi que les effets d'interaction Zone x famille sont significatifs ($P < 0,05$) sur les teneurs en acides palmitique, stéarique, oléique, linoléique, linolénique. En outre, sur la teneur en acide myristique, les effets « zones » et « familles » ont été significatifs ($P < 0,05$) (**Tableaux LV**).

Tableau LIV. Interactions « zones x familles » à 2 facteurs sur la teneur en acides gras.

Acides gras	Zones			Familles			Zone x Famille		
	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F
Acide palmitique	2	41052,6	<0,0001	3	8165	<0,0001	6	5476,83	<0,0001
Acide stéarique	2	103,66	<0,0001	3	12257,5	<0,0001	6	3107,17	<0,0096
Acide oléique	2	626,25	<0,0001	3	1308,16	<0,0001	6	122808	<0,0001
Acide linoléique	2	39,31	<0,0001	3	1841,30	<0,0001	6	113,14	<0,0088
Acide linolénique	2	36,70	<0,0001	3	167,27	<0,0001	6	8286	<0,0001
Acide myristique	2	17,22	<0,0001	3	314,55	<0,0001	6	14,22	<0,0657

DDL : Degré de liberté ; F : Valeur de Fisher ; Pr : Probabilité

3.3.1.3.1.2. Profil des teneurs en acides gras des fèves de cacao des zones d'étude

Pour l'acide palmitique, la moyenne a été de 6,41 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,29 %. La zone de Soubré avec 6,75 g/100 g a eu la teneur d'acide palmitique la plus élevée alors que la zone de Bouaflé avec 6,05 g/100 g a obtenu la plus faible. Concernant l'acide stéarique, la moyenne a été de 8,51 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,30 %. La zone de Soubré avec 8,84 g/100 g a enregistré la teneur d'acide stéarique la plus élevée alors que la zone de Bouaflé avec 8,28 g/100 g a eu la plus faible. S'agissant de l'acide oléique, la moyenne a été de 4,99 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,35 %. La zone de Soubré avec 5,35 g/100 g a eu la teneur d'acide oléique la plus élevée alors que la zone de Divo avec 4,94 g/100 g a obtenu la plus faible. En ce qui concerne l'acide linoléique, la moyenne a été de 0,76 g/100 g avec un coefficient de variation de 0,34 %. La zone de Divo avec 0,77 g/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que la zone de Bouaflé avec 0,76 g/100 g a eu la plus faible. Concernant l'acide linolénique, la moyenne a été de 0,03g/100 g avec un coefficient de variation de 7,73 %. La zone de Soubré avec 0,05 g/100 g a eu la teneur d'acide linolénique la plus élevée alors que la zone de Divo avec 0,02 g/100g a eu la plus faible. Quant à l'acide myristique, la moyenne

a été de 0,03 g/100g avec un coefficient de variation de 5,39%. La zone de Soubré avec 0,04 g/100g a eu la plus élevée alors que la zone de Divo avec 0,02 g/100 g a eu la plus faible. (Tableau LVI)

Tableau LV. Acides gras des fèves issues de trois zones de plantation

Zones	Acide palmitique (g/100g)	Acide stéarique (g/100g)	Acide oléique (g/100g)	Acide linoléique (g/100g)	Acide linolénique (g/100g)	Acide myristique (g/100g)
Soubré	6,75±0,19 ^a	8,84±0,42 ^a	5,35±0,05 ^a	0,75±0,02 ^b	0,05±0,01 ^a	0,04±0,00 ^a
Divo	6,41±0,26 ^b	8,41±0,08 ^b	4,69±0,12 ^c	0,77±0,02 ^a	0,02±0,00 ^c	0,02±0,00 ^c
Bouaflé	6,05±0,19 ^c	8,28±0,31 ^c	4,94±0,04 ^b	0,76±0,02 ^c	0,03±0,00 ^b	0,03±0,00 ^b
Moyenne	6,41	8,51	4,99	0,76	0,03	0,03
CV (%)	0,29	0,30	0,35	0,34	7,73	5,39
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.3.1.3.1.3. Profil des teneurs des acides gras des fèves de cacao des familles d'hybrides

L'analyse de variance a montré une différence significative entre les familles d'hybrides portant sur les taux d'acide palmitique, acide stéarique, acide oléique (Tableau LVII), l'acide linoléique, acide linolénique et de l'acide myristique quelques soit la zone (Tableau LVIII). Pour l'acide palmitique, les familles F41/Soubré (7,32 g/100 g), F26/Soubré (7,32 g/100g), F28/Divo (7,49 g/100 g) et F26/Bouaflé (6,85 g/100 g) ont enregistré les teneurs les plus élevées contrairement aux familles F28/Soubré (5,78 g/100g), F41/Divo (5,51 g/100g) et F22/Bouaflé (5,05 g/100g). S'agissant de l'acide stéarique, les familles F26/Soubré (10,73 g/100 g), F22/Divo (8,68 g/100 g) et F41/Bouaflé (9,53 g/100 g) ont eu les valeurs les plus élevées alors que les familles F28/Soubré (6,79 g/100 g), F28/Divo (7,97 g/100 g) et F28/Bouaflé (6,70 g/100 g) ont obtenu les plus faibles teneurs. Concernant l'acide oléique, les familles F41/Soubré (5,53 g/100 g), F22/Divo (5,21 g/100 g) et F22/Bouaflé (5,17 g/100 g) ont enregistré les teneurs les plus élevées alors que les familles F28/Soubré (5,11 g/100 g), F26/Divo (4,04 g/100g) et F26/Bouaflé (4,78 g/100 g) ont eu les teneurs les plus faibles. En ce qui concerne l'acide linoléique, les familles F41/Soubré (0,85 g/100 g), F28/Divo (0,87 g/100 g) et F22/Bouaflé (0,82 g/100 g) ont eu les teneurs les plus élevées contrairement aux familles F22/Soubré (0,64 g/100g), F22/Divo (0,66 g/100 g) et F41/Bouaflé (0,67 g/100 g). Quant à l'acide linolénique, les familles F41/Soubré (0,04 g/100g), F26/Divo (0,04 g/100 g) et F22/Bouaflé (0,05 g/100g)

ont eu les valeurs les plus élevées alors que les familles F26/Soubré (0,02 g/100 g), F22/Soubré (0,02 g/100 g), F22/Divo (0,01 g/100 g) et F28/Bouaflé (0,01 g/100 g) ont eu les teneurs les plus faibles. Et pour l'acide myristique, les familles F41/Soubré (0,07 g/100 g), F22/Divo (0,04 g/100 g) et F41/Bouaflé (0,04 g/100 g) ont eu les plus élevées alors que les familles F22/Soubré (0,01 g/100 g), F26/Divo (0,02 g/100 g) et F26/Bouaflé (0,02 g/100 g) ont eu les plus faibles.

Tableau LVI. Teneurs en acides palmitiques, stéariques et oléiques des fèves de familles issues de trois zones de plantation

Familles	Acide palmitique (g/100 g)			Acide stéarique (g/100 g)			Acide oléique (g/100 g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	7,32±0,03 ^a	5,51±0,00 ^d	6,33±0,00 ^b	8,94±0,00 ^b	8,57±0,00 ^b	9,53±0,03 ^a	5,53±0,03 ^a	4,85±0,00 ^b	4,94±0,00 ^b
F26	7,36±0,00 ^a	7,03±0,00 ^b	6,85±0,00 ^a	10,73±0,00 ^a	8,44±0,00 ^c	8,77±0,00 ^b	5,47±0,00 ^b	4,04±0,00 ^d	4,78±0,00 ^d
F28	5,78±0,00 ^c	7,49±0,00 ^a	5,97±0,00 ^c	6,79±0,00 ^d	7,97±0,07 ^d	6,70±0,00 ^d	5,11±0,00 ^d	4,66±0,00 ^c	4,88±0,00 ^c
F22	6,53±0,00 ^b	5,62±0,00 ^c	5,05±0,00 ^d	8,87±0,00 ^c	8,68±0,00 ^a	8,11±0,00 ^c	5,29±0,00 ^c	5,21±0,00 ^a	5,17±0,00 ^a
Moyenne	6,75	6,41	6,05	8,84	8,42	8,28	5,35	4,69	4,94
CV	0,44	0,02	0,03	0,02	0,44	0,34	0,52	0,08	0,05
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

Tableau LVII. Teneurs en acides linoléiques, linoléniques et myristiques des fèves issues de trois zones de plantation

Familles	Acide linoléique (g/100 g)			Acide linolénique (g/100 g)			Acide myristique (g/100 g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	0,85±0,00 ^a	0,85±0,00 ^b	0,67±0,00 ^d	0,09±0,00 ^a	0,03±0,00 ^b	0,04±0,00 ^b	0,07±0,00 ^a	0,03±0,00 ^b	0,04±0,00 ^a
F26	0,81±0,00 ^b	0,72±0,00 ^c	0,78±0,00 ^b	0,02±0,00 ^c	0,04±0,00 ^a	0,04±0,00 ^b	0,02±0,00 ^c	0,02±0,00 ^c	0,02±0,00 ^c
F28	0,71±0,00 ^c	0,87±0,00 ^a	0,73±0,00 ^c	0,08±0,00 ^b	0,02±0,00 ^c	0,01±0,00 ^c	0,05±0,00 ^b	0,03±0,00 ^b	0,03±0,00 ^b
F22	0,64±0,00 ^d	0,66±0,00 ^d	0,82±0,00 ^a	0,02±0,00 ^c	0,01±0,00 ^d	0,05±0,00 ^a	0,01±0,00 ^d	0,04±0,00 ^a	0,03±0,00 ^b
Moyenne	0,75	0,77	0,75	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
CV	0,34	0,26	0,43	8,39	4,91	2,96	4,75	7,31	4,35
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0002

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

3.3.1.3.1.4. Structuration des familles d'hybrides suivant leurs teneurs en acides gras

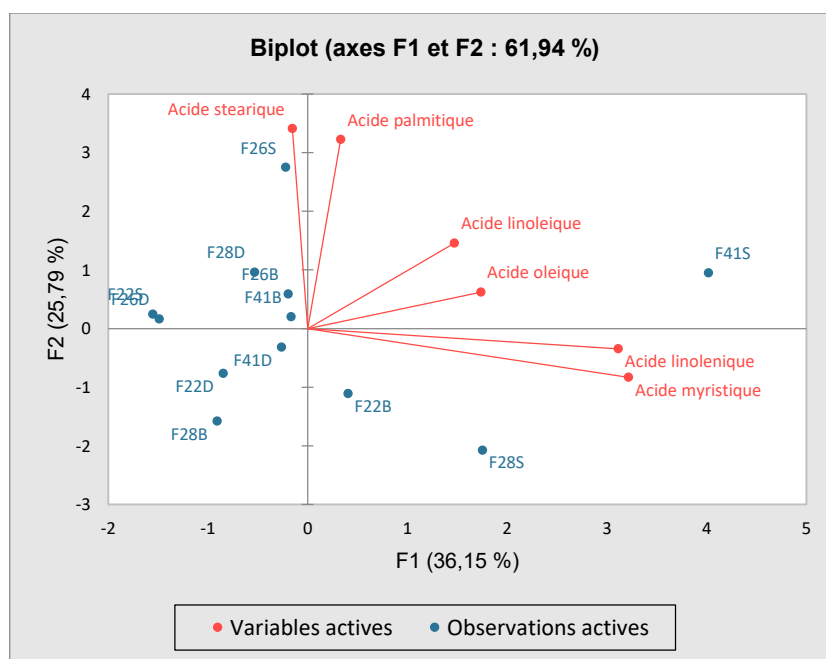
L'analyse de la matrice des valeurs propres de l'ACP (**Tableau LIX**) indique que les trois premiers axes (F1, F2 et F3) ont respectivement exprimé 36,15 % ; 25,79 % et 38,06 % de la variabilité totale. Ainsi, les deux premiers axes (F1 et F2) qui ont au total contribué à 61,94 % de la variabilité, ont été retenus pour la projection des individus. Le **tableau LX** présente la contribution des variables suivant les axes de l'ACP. Les variables acide linoléique (Contribution : 38,22 % ; Cosinus carré : 0,83) et l'acide myristique (Contribution : 40,82 % ; Cosinus carré : 0,89) ont été bien représentées sur la composante F1. Les variables acides palmitique (Contribution : 40,97 % ; Cosinus carré : 0,63) et acide stéarique (Contribution : 45,92 % ; Cosinus carré : 0,71) ont été bien représentée sur la composante F2. La variable acide linoléique (Contribution : 50,54 % ; Cosinus carré : 0,59) a été bien représentée sur la composante F3 (**Tableau LX**). La **figure 49** présente la projection du biplot sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Ces deux axes ont été retenus pour la projection des individus et des variables en raison de leur contribution (61,94 %) dans la variabilité totale. Les acides palmitique, linoléique et oléique se situent pratiquement du côté positif des axes 1 et 2. Ils sont caractérisés par la famille d'hybride F41S. En ce qui concerne les acides linoléique et myristique, ils se positionnent du côté positif de l'axe 1 et négatif de l'axe 2. Ils sont caractérisés par les familles d'hybrides F22B et F28S. Quant à l'acide stéarique, il se positionne du côté négatif de l'axe 1 et positif de l'axe 2. Il est caractérisé par les familles d'hybrides F26S.

Tableau LVIII. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 4 familles d'hybrides pour les teneurs en acide gras

	F1	F2	F3
Valeur propre	2,169	1,547	1,157
Variabilité (%)	36,152	25,791	19,290
% cumulé	36,152	61,943	81,233

Tableau LIX. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 4 familles d'hybrides pour les teneurs en acide gras

	F1		F2		F3	
	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré
Acide palmitique	0,429	0,009	40,969	0,634	10,762	0,125
Acide stéarique	0,094	0,002	45,917	0,711	14,066	0,163
Acide oléique	11,899	0,258	1,514	0,023	50,540	0,585
Acide linoléique	8,541	0,185	8,384	0,130	22,692	0,263
Acide linolenique	38,219	0,829	0,469	0,007	1,903	0,022
Acide myristique	40,819	0,885	2,746	0,042	0,037	0,000

**Figure 49.** Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 4 familles d'hybrides pour les teneurs en acide gras

3.3.1.3.2. Profil en sels minéraux des fèves de cacao issues de 4 familles d'hybrides de trois zones de plantation

3.3.1.3.2.1. Effet de l'interaction « zone x famille » sur le profil des sels minéraux

L'analyse de variance à 2 facteurs a révélé les effets significatives ($P < 0,05$) de la zone, de la famille et une interaction zone*famille significative sur les teneurs en zinc, cuivre, fer, manganèse, sodium, magnésium, calcium, potassium, et phosphore des fèves de cacao (Tableau LXI)

Tableau LX. Interactions « zones x des familles » à 2 facteurs sur les teneurs en sels minéraux

Sels minéraux	Zones			Familles			Zone x Famille		
	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F
Zn	2	21607,7	<0,0001	3	22473,9	<0,0001	6	27104,5	<0,0001
Cu	2	5825,4	<0,0001	3	35136,8	<0,0001	6	57535,5	<0,0001
Fe	2	48,31	<0,0203	3	179,79	<0,0001	6	775,85	<0,0001
Mn	2	58103,4	<0,0001	3	6030,8	<0,0001	6	98879,9	<0,0088
Na	2	64097,6	<0,0001	3	728786	<0,0001	6	730164	<0,0001
Mg	2	inf	<0,0001	3	inf	<0,0001	6	inf	<0,0001
Ca	2	inf	<0,0001	3	36984,1	<0,0001	6	51692,9	<0,0001
K	2	inf	<0,0001	3	inf	<0,0001	6	inf	<0,0001
P	2	inf	<0,0001	3	inf	<0,0001	6	inf	<0,0657

DDL : Degré de liberté ; F : Valeur de Fisher ; Pr : Probabilité

3.3.1.3.2.2. Comparaison des zones de plantation suivant le profil des sels minéraux des fèves de cacao

Pour le zinc, la moyenne a été de 0,17 mg/100 g avec un coefficient de variation de 1,17 %. La zone de Bouaflé avec 0,32 mg/100 g a eu la teneur en zinc la plus élevée alors que la zone de Soubré avec 0,06 mg/100 g a obtenu la plus faible. Concernant le cuivre, la moyenne a été de 0,26 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,89 %. La zone de Bouaflé avec 0,41 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que la zone de Soubré avec 0,12 mg/100g a eu la plus faible. S'agissant du fer, la moyenne a été de 9,26 mg/100 g avec un coefficient de variation de 6,94%. La zone de Soubré avec 14,49 mg/100 g a enregistré la teneur la plus élevée alors que la zone de Bouaflé avec 6,19 mg/100 g a eu la plus faible. En ce qui concerne le manganèse, la moyenne a été de 0,49 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,51 %. La zone de Bouaflé avec 0,83 mg/100 g a obtenu la teneur la plus élevée alors que la zone de Divo avec 0,26 mg/100g a enregistré la plus faible teneur. Quant au sodium, la moyenne a été de 110 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,10 %. La zone de Bouaflé avec 136,47 mg/100 g a eu la plus élevée alors que la zone de Soubré avec 80,74 mg/100g a eu la plus faible. Pour le magnésium, la

moyenne a été de 258,05 mg/100g. La zone de Bouaflé avec 306,16 mg/100 g a eu la plus élevée alors que la zone de Soubré avec 212,11 mg/100 g a obtenu la plus faible. Concernant le calcium, la moyenne a été de 79,38 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,45 %. La zone de Bouaflé avec 135,19 mg/100 g a eu la plus élevée alors que la zone de Soubré avec 30,01 mg/100 g a eu la plus faible. S'agissant du potassium, la moyenne a été de 378,65 mg/100 g. La zone de Bouaflé avec 533,84 mg/100g a eu la teneur la plus élevée alors que la zone de Soubré avec 226,12 mg/100g a obtenu la teneur la plus faible. Quant au phosphore (P), la moyenne a été de 197,63 mg/100 g. La zone de Bouaflé avec 294,52 mg/100 g a eu la teneur la plus élevée alors que la zone de Divo avec 140,82 mg/100 g a enregistré la plus faible valeur (**Tableaux LXII**).

Tableau LXI. Teneurs en sels minéraux des fèves issues de trois zones de plantation

Sels minéraux	Zones			Moyenne	CV	P
	Soubré	Divo	Bouaflé			
Zn (mg/100g)	0,06±0,01 ^c	0,11±0,02 ^b	0,32±0,08 ^a	0,17	1,17	<0,0001
Cu (mg/100g)	0,12±0,03 ^c	0,25±0,05 ^b	0,41±0,12 ^a	0,26	0,89	<0,0001
Fe (mg/100g)	14,49±2,98 ^a	7,09±2,10 ^b	6,19±1,74 ^c	9,26	6,94	<0,0001
Mn (mg/100g)	0,39±0,13 ^b	0,26±0,05 ^c	0,83±0,09 ^a	0,49	0,51	<0,0001
Na (mg/100g)	80,74±13,49 ^c	115,16±20,39 ^b	136,47±7,31 ^a	110	0,10	<0,0001
Mg (mg/100g)	212,11±20,17 ^c	255,88±30,52 ^b	306,16±8,16 ^a	258,05	0	<0,0001
Ca (mg/100g)	30,01±4,76 ^c	72,95±16,83 ^b	135,19±9,91 ^a	79,38	0,45	<0,0001
K (mg/100g)	226,12±28,29 ^c	375,99±45,99 ^b	533,84±28,81 ^a	378,65	0	<0,0001
P (mg/100g)	157,57±18,41 ^b	140,82±7,71 ^c	294,52±12,64 ^a	197,63	0	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.3.1.3.2.3. Comparaison des familles d'hybrides suivant le profil des sels minéraux

L'analyse de variance a montré une différence significative entre les familles d'hybrides portant sur le taux du zinc, le cuivre, le fer, le magnésium, le sodium, le magnésium, le calcium, le potassium, et le phosphore quelle que soit la zone.

Pour le zinc (Zn), les familles F26/Soubré (0,09 mg/100g), F22/Divo (0,25 mg/100g) et F28/Bouaflé (0,71 mg/100g) ont eu les teneurs les plus élevées alors que les familles F28/Soubré (0,02 mg/100g), F28/Divo (0,08 mg/100g) et F28/Bouaflé (0,08 mg/100g) ont eu les plus faibles. S'agissant du cuivre, les familles F28/Soubré (0,31 mg/100g), F41/Divo (0,54 mg/100g) et F22/Bouaflé (1,05 mg/100g) ont eu les teneurs les plus élevées alors que les familles F41/Soubré (0,02 mg/100g), F26/Divo (0,08 mg/100g) et F28/Bouaflé (0,04 mg/100g) ont eu les plus faibles teneurs. Concernant le fer, les familles F41/Soubré (28,75 mg/100g),

F28/Divo (17,89 mg/100g) et F28/Bouaflé (16,17 mg/100g) ont eu les plus élevées alors que les familles F28/Soubré (1,17 mg/100g), F41/Divo (0,37 mg/100g), F26/Divo (1,87 mg/100g) et F28/Bouaflé (0,04 mg/100g) ont eu les plus faibles (**Tableau LXIII**).

En ce qui concerne le manganèse, les familles F28/Soubré (1,14 mg/100g), F22/Divo (0,56 mg/100g) et F28/Bouaflé (1,05 mg/100g) ont eu les plus élevées teneurs alors que les familles F22/Soubré (0,10 mg/100g), F26/Divo (0,08 mg/100g) et F28/Bouaflé (0,28 mg/100g) ont eu les plus faibles valeurs. Quant au sodium, les familles F41/Soubré (152,69 mg/100g), F26/Divo (190,78 mg/100g) et F26/Bouaflé (161,28 mg/100g) ont eu les plus élevées alors que les familles F28/Soubré (31,05 mg/100g), F22/Divo (30,48 mg/100g) et F22/Bouaflé (110,98 mg/100g) ont eu les plus faibles. Pour le magnésium, les familles F41/Soubré (287,21 mg/100g), F26/Divo (430,29 mg/100g) et F26/Bouaflé (351,71 mg/100g) ont eu les plus élevées alors que les familles F28/Soubré (111,43 mg/100g), F41/Divo (181,83 mg/100g) et F28/Bouaflé (281,47 mg/100g) ont eu les plus faibles (**Tableau LXIV**).

Concernant le calcium, les familles F41/Soubré (48,71 mg/100g), F41/Divo (167,28 mg/100g) et F26/Bouaflé (181,78 mg/100g) ont eu les plus élevées alors que les familles F22/Soubré (9,94 mg/100g), F22/Divo (28,05 mg/100g) et F26/Bouaflé (97,89 mg/100g) ont eu les teneurs les plus faibles. S'agissant du potassium, les familles F28/Soubré (340,35 mg/100g), F41/Divo (630,76 mg/100g) et F26/Bouaflé (690,48 mg/100g) ont eu les plus élevées alors que les familles F22/Soubré (91,77 mg/100g), F26/Divo (247,21 mg/100g) et F22/Bouaflé (439,98 mg/100g) ont eu les plus faibles. Quant au phosphore, les familles F22/Soubré (240,48 mg/100g), F28/Divo (170,92 mg/100g) et F22/Bouaflé (321,79 mg/100g) ont eu les plus élevées teneurs alors que les familles F41/Soubré (67,97 mg/100g), F22/Divo (112,08 mg/100g) et F26/Bouaflé (221,99 mg/100g) ont eu les plus faibles (**Tableau LXV**).

Tableau LXII. Teneurs en Zinc, cuivre et fer des fèves des familles d'hybrides issues de trois zones de plantation.

Familles	Zn (mg/100g)			Cu (mg/100g)			Fe (mg/100g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	0,05±0,00 ^c	0,08±0,00 ^c	0,71±0,00 ^a	0,02±0,00 ^d	0,54±0,00 ^a	0,43±0,00 ^b	28,75±0,00 ^a	0,37±0,00 ^c	3,32±0,00 ^b
F26	0,09±0,00 ^a	0,09±0,00 ^b	0,41±0,00 ^b	0,08±0,00 ^b	0,08±0,00 ^d	0,11±0,00 ^c	11,77±0,00 ^c	1,87±0,00 ^c	2,08±0,00 ^d
F28	0,02±0,00 ^d	0,03±0,00 ^d	0,08±0,00 ^d	0,31±0,00 ^a	0,22±0,00 ^b	0,04±0,00 ^d	1,17±0,00 ^d	17,89±0,00 ^a	16,17±0,00 ^a
F22	0,07±0,00 ^b	0,25±0,00 ^a	0,09±0,00 ^c	0,04±0,00 ^c	0,16±0,00 ^c	1,05±0,00 ^a	16,28±0,00 ^b	8,26±1,33 ^b	3,20±0,00 ^c
Moyenne	0,06	0,12	0,32	0,12	0,25	0,41	14,49	7,09	6,19
CV	3,57	1,86	0,60	2,08	0,71	0,65	0,01	16,28	0,05
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; **Zn** : Zinc ; **Cu** : Cuivre ; **Fe** : Fer ; CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

Tableau LXIII. Teneurs en manganèse, sodium et magnésium des fèves des familles d'hybrides issues de trois zones de plantation

Familles	Mn (mg/100g)			Na (mg/100g)			Mg (mg/100g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	0,11±0,00 ^c	0,28±0,00 ^b	0,97±0,00 ^c	152,69±0,00 ^a	67,85±0,00 ^c	160,13±0,00 ^b	287,21±0,00 ^a	181,83±0,00 ^d	291,87±0,00 ^c
F26	0,19±0,00 ^b	0,08±0,00 ^d	1,00±0,00 ^b	77,27±0,00 ^b	190,78±0,00 ^a	161,28±0,00 ^a	194,86±0,00 ^c	430,29±0,00 ^a	351,71±0,00 ^a
F28	1,14±0,00 ^a	0,11±0,00 ^c	0,28±0,00 ^d	31,05±0,00 ^d	171,53±0,00 ^b	113,48±0,00 ^c	111,43±0,00 ^d	210,62±0,00 ^b	281,47±0,00 ^d
F22	0,10±0,00 ^d	0,56±0,00 ^a	1,05±0,00 ^a	61,94±0,00 ^c	30,48±0,00 ^d	110,98±0,00 ^d	254,93±0,00 ^b	200,78±0,00 ^c	229,57±0,00 ^b
Moyenne	0,39	0,26	0,83	80,74	115,16	136,47	212,11	255,88	306,16
CV	0,64	0,86	0,31	0,25	0	0	0	0	0
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides: Fer ; **Mn** : Manganèse ; **Na** : Sodium ; **Mg** : Magnésium ; CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

Tableau LXIV. Teneurs en calcium, potassium et phosphore des fèves des familles d'hybrides issues de trois zones de plantation

Familles	Ca (mg/100g)			K (mg/100g)			P (mg/100g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	48,71±0,00 ^a	167,28±0,00 ^a	97,89±0,00 ^d	191,88±0,00 ^c	630,76±0,00 ^a	527,11±0,00 ^b	67,97±0,00 ^d	119,00±0,00 ^c	119,06±0,00 ^b
F26	41,75±0,00 ^b	35,28±0,00 ^c	181,78±0,00 ^a	280,48±0,00 ^b	247,21±0,00 ^d	690,48±0,00 ^a	161,63±0,00 ^b	161,21±0,00 ^b	221,99±0,00 ^d
F28	19,62±0,00 ^c	61,18±0,00 ^b	149,45±0,00 ^b	340,35±0,00 ^a	355,76±0,00 ^b	477,77±0,00 ^c	160,21±0,00 ^c	170,92±0,00 ^a	316,87±0,00 ^c
F22	9,94±0,00 ^d	28,05±0,00 ^d	111,62±0,66 ^c	91,77±0,00 ^d	270,25±0,00 ^c	439,98±0,00 ^d	240,48±0,00 ^a	112,08±0,00 ^d	321,79±0,00 ^a
Moyenne	30,01	72,95	38,13	226,12	375,99	112,52	157,57	140,81	244,49
CV	0,01	0	13,18	0	0	15,77	0	12,23	0
P	<0,0001	<0,0001	<0,0055	<0,0001	<0,0001	<0,0057	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité ; Ca : Calcium ; K : Potassium ; P : Phosphore

3.3.1.3.2.4. Structuration des familles d'hybrides suivant le profil des sels minéraux

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de sélectionner 2 composantes principales dont les valeurs propres sont supérieures à 1 (**Tableau LXVI**). Les deux premiers axes (F1 et F2) ont exprimé 69,43 % de la variabilité totale (**Figure 50**). L'axe F1 qui a contribué à l'analyse pour 55,06 %, a été construit par les variables Zn (Contribution : 10,81 % ; Cosinus carré : 0,42), Fe (Contribution : 14,40 % ; Cosinus carré : 0,56), Mn (Contribution : 20,15 % ; Cosinus carré : 0,78), Ca (Contribution : 15,17 % ; Cosinus carré : 0,59), K (Contribution : 19,33 % ; Cosinus carré : 0,75) et P (Contribution : 9,76 % ; Cosinus carré : 0,38). L'axe F2 avec 14,37 % de contribution à l'analyse, a été constitué par la variable Cu (Contribution : 55,72 % ; Cosinus carré : 0,51). Les corrélations entre les variables n'ont toutes pas été égales à zéro avec un test de sphéricité de Bartlett significatif (Khi-deux : 43,31 ; DDL : 21 ; P : < 0,0030) et elles ont été de bonne qualité selon l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO : 0,53). La classification ascendante hiérarchique (CAH) a révélé 3 groupes à la troncature 9,83 (**Figure 51**).

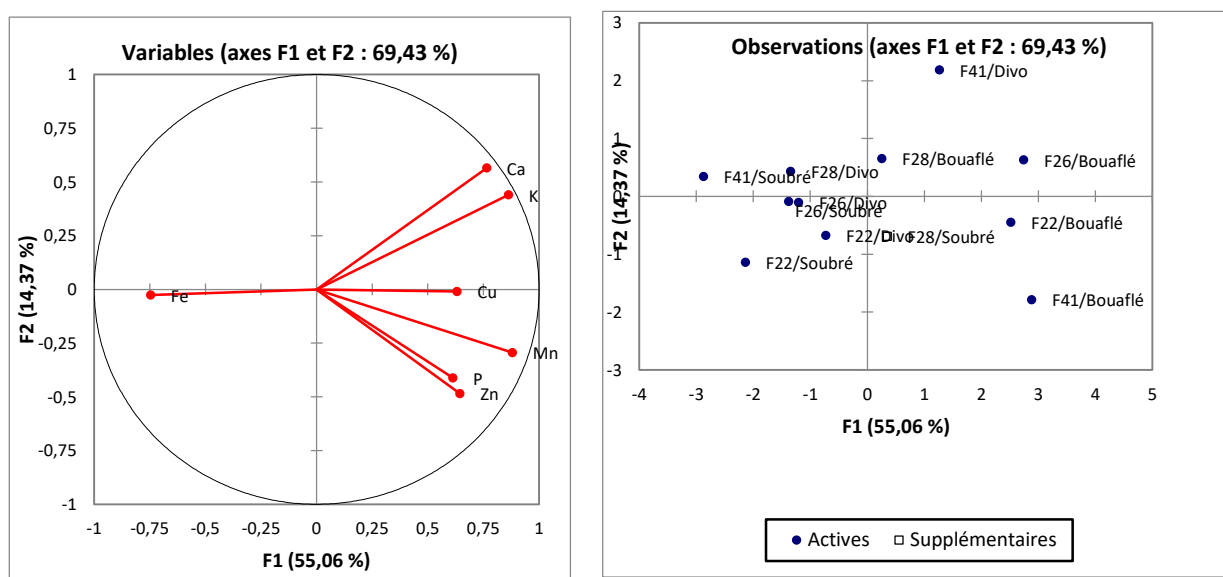
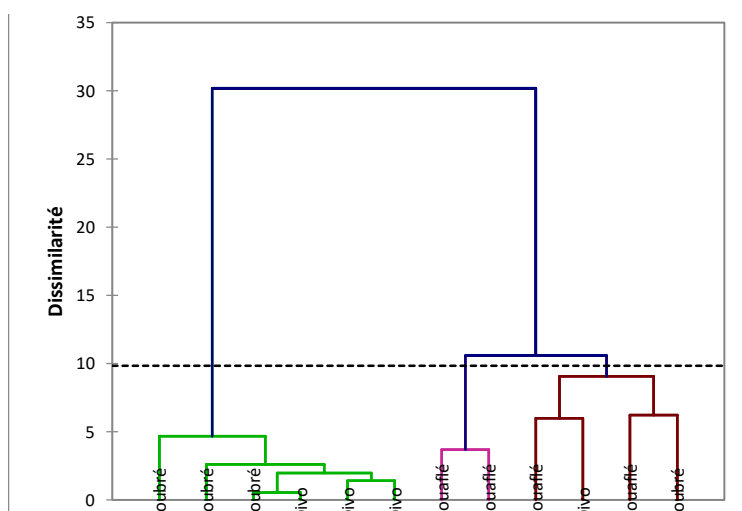
Le Groupe 1 a été formé de 4 variétés qui sont : F22/Bouaflé, F28/Bouaflé, F28/Soubré et F41/Divo. Parmi ces variétés, la famille F22/Bouaflé avec un cosinus carré de 0,49 a été bien représentée sur l'axe F1. Cependant, 2 des variétés du groupe 1 ont été bien représentés sur l'axe F2 avec un cosinus carré oscillant de 0,09 à 0,64. Ce sont F28/Bouaflé (0,09) et F41/Divo (0,64). De plus, la famille F28/Soubré avec un cosinus carré de 0,09 a été bien représentée sur l'axe F3.

Le Groupe 2 a été formé de 6 variétés qui sont : F22/Divo, F22/Soubré, F26/Divo, F26/Soubré, F28/Divo et F41/Soubré. Toutes ces variétés ont été bien représentés sur l'axe F1 avec un cosinus carré oscillant de 0,16 à 0,73. Ce sont : F22/Divo (0,19), F22/Soubré (0,69), F26/Divo (0,38), F26/Soubré (0,38), F28/Divo (0,74) et F41/Soubré (0,79). Cependant, aucune variété du groupe 2 n'a été représentée sur l'axe F2.

Le Groupe 3 a été formé de 2 variétés qui sont : F26/Bouaflé et F41/Bouaflé. Les 2 variétés ont été bien représentées sur l'axe F1 avec un cosinus carré 0,71 pour F26/Bouaflé et 0,65 F41/Bouaflé.

Tableau LXV. Valeurs propres et contribution des axes factoriels de 4 familles d'hybrides pour le profil des sels minéraux dans trois zones agroécologiques

	F1	F2
Valeur propre	3,854	1,006
Variabilité (%)	55,058	14,369
% cumulé	55,058	69,428

**Figure 50.** Cercle de corrélation et regroupement des variables pour le profil des sels minéraux dans trois zones agroécologiques**Figure 51.** Classification hiérarchique ascendante de quatre familles d'hybrides pour le profil des sels minéraux dans trois zones agroécologiques

3.3.1.3.3. Teneurs en théobromine, caféine polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves de cacao issues de trois zones de plantation

3.3.1.3.3.1. Effet de l'interaction « zone de plantation x famille » sur la teneur en théobromine, caféine, polyphénols et flavonoïdes totaux

Les effets de « zones » et « familles » ainsi que les effets d'interaction « zones x familles » ont été significative ($P < 0,05$) sur les teneurs en théobromine, caféine, polyphénols et les flavonoïdes totaux (**Tableau LXVII**).

Tableau LXVI. Interactions « zones x familles » sur la teneur en théobromine, caféine et en composés phytochimiques

	Zones			Familles			Zone x Famille		
	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F
Théobromine	2	24550,7	<0,0001	3	403450	<0,0001	6	70746,4	<0,0001
Caféine	2	12524,9	<0,0001	3	41399,2	<0,0001	6	13485,4	<0,0001
Polyphénols	2	6664,74	<0,0002	3	9523,04	<0,0001	6	6765,08	<0,0001
Flavonoïdes totaux	2	850,06	<0,0012	3	1057,42	<0,0001	6	2806,21	<0,0001

DDL : Degré de liberté ; F : Valeur de Fisher ; Pr : Probabilité

3.3.1.3.3.2. Comparaison dans les zones d'étude pour les teneurs en théobromine, caféine, polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves issues de trois zones de plantation

Pour la théobromine, la moyenne a été de 3908 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,06 %. La zone de Soubré avec 3908,74 mg/100 g a eu la teneur en théobromine la plus élevée alors que la zone de Bouaflé avec 3457,52 mg/100 g a obtenu la plus faible. Concernant la caféine, la moyenne a été de 506,26 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,32 %. La zone de Divo avec 603,97 mg/100 g a eu la teneur en caféine la plus élevée alors que la zone de Bouaflé avec 371,02 mg/100 g a enregistré la plus faible teneur. S'agissant des polyphénols totaux, la moyenne a été de 1460 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,16 %. La zone de Bouaflé avec 1528,01 mg/100 g a eu la teneur en polyphénols la plus élevée alors que la zone de Soubré avec 1402,64 mg/100 g a eu la plus faible teneur. Quant aux flavonoïdes totaux, la moyenne a été de 618,28 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,30 %. La zone de Bouaflé avec 646,95 mg/100 g a eu la teneur en flavonoïdes totaux la plus élevée alors que la zone de Soubré avec 591,67 mg/100 g a enregistré la plus faible teneur (**Tableau LXVIII**).

Tableau LXVII. Teneurs en théobromine, caféine, polyphénols et flavonoïdes des fèves issues de trois zones de plantation

Zones	Théobromine (mg/100g)	Caféine (mg/100g)	Polyphénols totaux (mg/100g)	Flavonoïdes totaux (mg/100g)
Soubré	3908,74±149,74 ^a	542,79±47,72 ^b	1402,64±39,17 ^c	591,67±16,82 ^c
Divo	3521,23±108,29 ^b	603,97±42,57 ^a	1451,58±32,76 ^b	601,22±13,02 ^b
Bouaflé	3457,52±152,95 ^c	371,02±6,30 ^c	1528,01±18,78 ^a	646,95±8,01 ^a
Moyenne	3629,16	506,26	1460	613,28
CV (%)	0,06	0,32	0,16	0,30
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

3.3.1.3.3. Comparaison des familles d'hybrides pour les teneurs en théobromine, caféine, polyphénols et flavonoïdes totaux des fèves issues de trois zones de plantation

L'analyse de variance a montré une différence significative entre les familles d'hybrides dans les zones de Soubré, Divo et Bouaflé portant sur les teneurs en théobromine, caféine, polyphénols et flavonoïdes totaux.

Pour la théobromine, les familles F41/Soubré (4604,94 mg/100g), F26/Divo (3761,38 mg/100 g) et F26/Bouaflé (4188,66 mg/100 g) ont eu les plus élevées alors que les familles F22/Soubré (3330,07 mg/100 g), F22/Divo (2900,00 mg/100 g) et F28/Bouaflé (2900,48 mg/100 g) ont eu les plus faibles. S'agissant de la caféine, les familles F28/Soubré (807,05 mg/100 g), F28/Divo (841,84 mg/100g) et F26/Bouaflé (392,10 mg/100g) ont eu les plus élevées alors que les familles F22/Soubré (407,35 mg/100 g), F26/Divo (471,21 mg/100 g) et F22/Bouaflé (340,13 mg/100 g) ont eu les plus faibles (**Tableau LXIX**).

Concernant les polyphénols, les familles F28/Soubré (1593,17 mg/100 g), F26/Divo (1555,01 mg/100 g) et F28/Bouaflé (1581,48 mg/100 g) ont eu les plus élevées alors que les familles F22/Soubré (1239,75 mg/100 g), F41/Divo (1269,60 mg/100 g) et F22/Bouaflé (1423,05 mg/100 g) ont eu les plus faibles. Quant aux flavonoïdes totaux, les familles F28/Soubré (672,80 mg/100 g), F22/Divo (659,16 mg/100 g) et F41/Bouaflé (681,12 mg/100 g) ont eu les plus élevées alors que les familles F22/Soubré (520,08 mg/100 g), F41/Divo (534,70 mg/100 g) et F26/Bouaflé (613,64 mg/100 g) ont eu les plus faibles (**Tableau LXX**).

Tableau LXVIII. Teneurs en théobromine et caféine des fèves de familles issues de trois zones de plantation

Familles	Théobromine (mg/100g)			Caféine (mg/100g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	4604,94±2,84 ^a	3715,53±1,67 ^b	3661,52±0,00 ^b	434,26±0,00 ^c	522,62±1,36 ^b	388,12±0,00 ^b
F26	4132,00±0,00 ^b	3761,38±1,66 ^a	4188,66±1,62 ^a	526,51±0,00 ^b	471,21±1,36 ^c	392,10±1,34 ^a
F28	3567,10±0,00 ^c	3707,86±0,00 ^c	2900,48±0,00 ^d	807,05±1,37 ^a	841,84±1,34 ^a	363,72±0,00 ^c
F22	3330,07±1,67 ^d	2900,00±0,00 ^d	3079,41±1,67 ^c	407,35±0,00 ^d	550,19±1,11 ^b	340,13±0,00 ^d
Moyenne	3908,74	3521,23	3457,52	543,79	603,97	371,02
CV	0,07	0,06	0,06	0,21	0,39	0,31
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

Tableau LXIX. Teneurs en polyphénols totaux et les flavonoïdes des fèves de familles issues de trois zones de plantation

Familles	Polyphénols totaux (mg/100g)			Flavonoïdes totaux (mg/100g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	1435,94±2,84 ^b	1269,60±1,41 ^d	1566,14±1,54 ^b	568,39±0,43 ^c	534,70±1,19 ^d	681,12±1,16 ^a
F26	1342,49±1,48 ^c	1555,01±0,93 ^a	1541,35±1,17 ^c	605,42±1,37 ^b	581,18±1,15 ^c	613,64±1,45 ^d
F28	1593,17±1,73 ^a	1503,53±0,89 ^b	1581,48±0,92 ^a	672,80±0,91 ^a	620,85±1,43 ^b	630,15±1,18 ^c
F22	1239,75±1,15 ^d	1478,17±1,19 ^c	1423,05±1,67 ^d	520,08±1,74 ^d	659,16±1,10 ^a	662,88±1,40 ^b
Moyenne	1402,64	1451,58	1528,01	591,67	601,22	646,95
CV	0,17	0,13	0,15	0,36	0,35	0,35
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

3.3.1.3.3.4. Structuration des familles suivant les teneurs en composés phytochimiques et protéines

Les deux composantes F1 avec 69,49 % et F2 avec 14,90 % de l'analyse en composantes principales (ACP) des 9 familles d'hybrides ont exprimé 84,38 % (**Tableau LXXI**) de la variance totale. Les variables polyphénols (Contribution : 27,81 % ; Cosinus carré : 0,77), flavonoïdes totaux (Contribution : 31,54 % ; Cosinus carré : 0,88), théobromine (Contribution : 20,53 % ; Cosinus carré : 0,57) et caféine (Contribution : 20,12 % ; Cosinus carré : 0,56) ont été bien représentées sur la composante F1 (**Tableau LXXII**). La **figure 52** présente la projection des variables sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Ces deux axes ont été retenus pour la projection des individus et des variables en raison de leur contribution (84,38 %) dans la variabilité totale. Les polyphénols et les flavonoïdes totaux se situent pratiquement au centre de l'axe 1 et du côté positif de l'axe 2. La théobromine se situe du côté positif des axes 1 et 2. Quant à la caféine, il se positionne du côté négatif de l'axe 1 et négatif de l'axe 2. L'analyse de cette figure indique par ailleurs qu'il existe une corrélation positive entre les polyphénols et les flavonoïdes totaux. La **figure 53** présente la distribution des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres évalués suivant le plan factoriel 1-2 de l'ACP. L'analyse de la figure confirme un regroupement équitable des familles d'hybrides autour du paramètre évalués, confirmant ainsi que les 9 familles d'hybrides retenus sont effectivement des potentielles qualités.

Tableau LXX. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité

	F1
Valeur propre	2,779
Variabilité (%)	69,486
% cumulé	69,486

Tableau LXXI. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité

	F1	
	Contribution	Cosinus carré
Polyphénol	27,808	0,773
Flavonoïdes totaux	31,541	0,877
Théobromine	20,530	0,571
Caféine	20,121	0,559

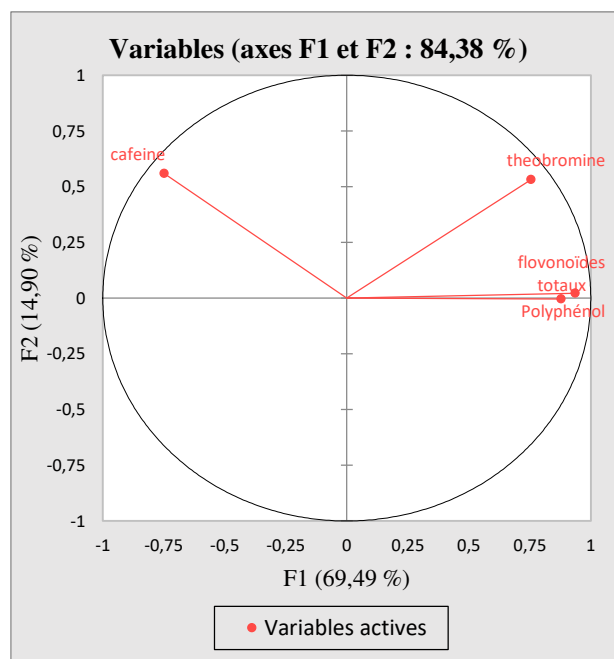


Figure 52. Projection des variables dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité

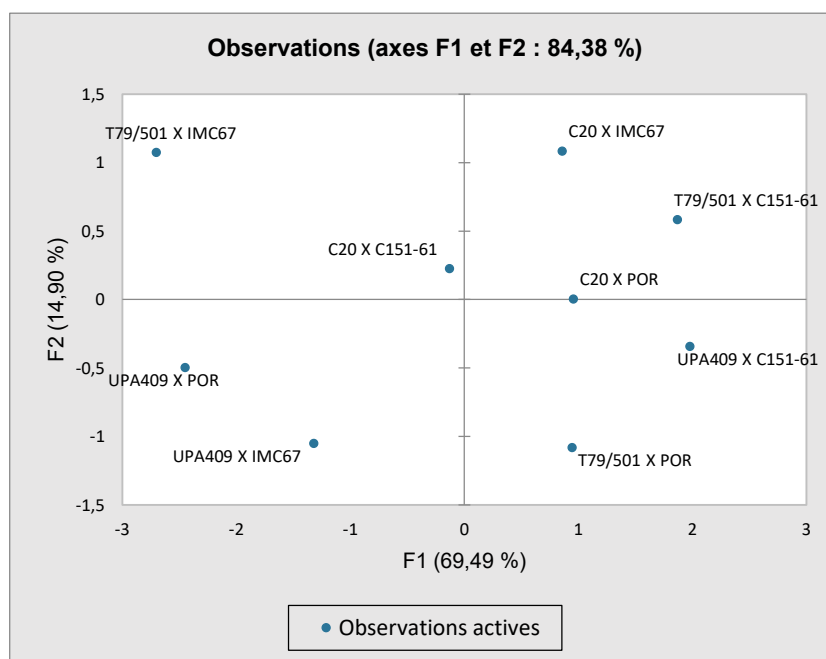


Figure 53. Représentation graphique de la distribution des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour les paramètres de qualité dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP

3.3.1.3.4. Comparaison des teneurs des profils en composés phénoliques des fèves de cacao issues de trois zones de plantation

3.3.1.3.4.1. Effet de l'interaction « zone de plantation x famille » sur le profil en composés phénoliques

Les effets des zones, des familles et de leur interaction ont été significatifs ($P < 0,05$) sur les teneurs du profil phénolique (l'épicatéchine, la catéchine, la caféine, la quercétine et de la proanthocyanidine) des fèves de cacao. Sur la teneur en théobromine, seul l'effet famille a été significatif (**Tableaux LXXIII**).

Tableau LXXII. Interactions « zones x des familles » pour la teneur en profil phénolique

Acides gras	Zones			Familles			Zone x Famille		
	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F
Epicatéchine	2	41793,4	<0,0001	3	2129146	<0,0001	6	inf	<0,0001
Catéchine	2	310995	<0,0001	3	8332503	<0,0001	6	658662	<0,0001
Théobromine	2	2,34	<0,1205	3	305,29	<0,0001	6	1,44	<0,4094
Caféine	2	1367530	<0,0001	3	inf	<0,0001	6	357524	<0,0088
Quercétine	2	583,60	<0,0001	3	18618	<0,0001	6	349,60	<0,0029
Proanthocyanidine	2	204574	<0,0001	3	382592	<0,0001	6	121209	<0,0657

DDL : Degré de liberté ; F : Valeur de Fisher ; Pr : Probabilité

3.3.1.3.4.2. Teneurs en composés phénoliques des fèves issues de trois zones de plantation

D'une zone à une autre, les teneurs en épicatéchine, catéchine, théobromine, caféine, quercétine et en proanthocyanidine ont varié significativement ($P < 0,05$) (**Tableau LXXIV**). Pour l'épicatéchine, la moyenne a été de 63,91 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,05 %. La zone de Bouaflé avec 70,22 mg/100g a enregistré la teneur la plus élevée alors que la zone de Divo avec 60,28 mg/100g a eu la plus faible. Concernant la catéchine, la moyenne a été de 19,54 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,03 %. La zone de Bouaflé avec 21,89 mg/100 g a obtenu la teneur en catéchine la plus élevée alors que la zone de Divo avec 17,89 mg/100g a eu la plus faible. Concernant la théobromine, la moyenne a été de 152,13 mg/100 g avec un coefficient de variation de 1,05 %. La zone de Soubré avec 154,75 mg/100 g a obtenu la teneur en théobromine la plus élevée alors que les zones de Divo et Bouaflé avec respectivement 151,01 mg/100 g et 150,61 mg/100 g ont eu les plus faibles. En ce qui concerne la caféine, la moyenne a été de 27,27 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,01 %. La zone de Soubré avec 31,21 mg/100 g a eu la teneur en caféine la plus élevée alors que la zone de Divo avec 22,76 mg/100 g a eu la plus faible. Quant à la quercétine, la moyenne a été de 4,67 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,70 %. La zone de Soubré avec 5,33 mg/100

g a eu la teneur en quercétine la plus élevée alors que la zone de Bouaflé avec 4,30 mg/100 g a eu la plus faible. Pour la proanthocyanidine, la moyenne a été de 93,63 mg/100 g avec un coefficient de variation de 0,04 %. La zone de Soubré avec 102,64 mg/100 g a obtenu la teneur en proanthocyanidine la plus élevée alors que la zone de Divo avec 77,25 mg/100 g a eu la plus faible.

Tableau LXXIII. Teneurs en épicatechine, catéchine, théobromine, caféine, quercétine et proanthocyanidine des fèves issues de trois zones de plantation

Zones	Epicatechine (mg/100 g)	Catéchine (mg/100 g)	Théobromine (mg/100 g)	Caféine (mg/100 g)	Quercétine (mg/100 g)	Proanthocya nidine (mg/100 g)
Soubré	61,22±5,34 ^b	18,84±1,79 ^b	154,75±5,23 ^a	31,21±2,72 ^a	5,33±0,63 ^a	102,64±4,50 ^a
Divo	60,28±6,10 ^c	17,89±1,79 ^c	151,01±7,14 ^b	22,76±2,62 ^c	4,36±0,25 ^b	77,25±3,25 ^c
Bouaflé	70,22±5,33 ^a	21,89±1,32 ^a	150,61±3,37 ^b	27,84±1,22 ^b	4,30±0,68 ^c	101,02±2,24 ^b
Moyenne	63,91	19,54	152,13	27,27	4,67	93,63
CV (%)	0,05	0,03	1,05	0,01	0,70	0,04
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.3.1.3.4.3. Comparaison des familles d'hybrides pour leurs teneurs en profil des composés phénoliques des fèves de cacao issues de trois zones de plantation

L'analyse de variance a montré une différence significative entre les familles d'hybrides dans les zones de Soubré, Divo et Bouaflé au niveau des teneurs en épicatechine, catéchine, théobromine, caféine, quercétine et de la proanthocyanidine.

Pour l'épicatechine, les familles F28/Soubré (88,11 mg/100 g), F22/Divo (86,18 mg/100 g) et F28/Bouaflé (87,55 mg/100 g) ont eu les teneurs les plus élevées alors que les familles F26/Soubré (38,35 mg/100 g), F41/Divo (35,54 mg/100 g) et F26/Bouaflé (42,65 mg/100 g) ont eu les plus faibles. S'agissant de la catéchine, les familles F28/Soubré (27,22 mg/100 g), F28/Divo (25,92 mg/100 g) et F28/Bouaflé (26,71 mg/100 g) ont eu les teneurs les plus élevées alors que les familles F26/Soubré (10,72 mg/100 g), F22/Divo (9,92 mg/100 g) et F41/Bouaflé (16,02 mg/100 g) ont eu les plus faibles. Concernant la théobromine, les familles F26/Soubré (176,40 mg/100 g), F22/Divo (184,37 mg/100 g), F41/Bouaflé (155,82 mg/100 g), F26/Bouaflé (153,98 mg/100 g) et F28/Bouaflé (160,53 mg/100 g) ont eu les teneurs les plus élevées alors

que les familles F41/Soubré (129,08 mg/100 g), F28/Divo (120,12 mg/100 g) et F22/Bouaflé (132,11 mg/100 g) ont eu les plus faibles (**Tableau LXXV**).

En ce qui concerne la caféine, les familles F41/Soubré (40,38 mg/100 g), F28/Divo (34,25 mg/100 g) et F22/Bouaflé (33,75 mg/100 g) ont eu les teneurs les plus élevées alors que les familles F26/Soubré (16,35 mg/100 g), F41/Divo (9,78 mg/100 g) et F26/Bouaflé (23,85 mg/100 g) ont enregistré les plus faibles. Quant à la quercétine, les familles F28/Soubré (8,45 mg/100 g), F22/Divo (5,07 mg/100 g) et F28/Bouaflé (7,20 mg/100 g) ont eu les teneurs les plus élevées alors que les familles F41/Soubré (2,63 mg/100 g), F26/Divo (2,94 mg/100 g) et F22/Bouaflé (1,52 mg/100 g) ont eu les plus faibles. Pour la proanthocyanidine, les familles F41/Soubré (122,34 mg/100 g), F26/Divo (94,44 mg/100 g) et F26/Bouaflé (113,16 mg/100 g) ont eu les teneurs les plus élevées alors que les familles F22/Soubré (84,24 mg/100 g), F28/Divo (66,35 mg/100 g) et F22/Bouaflé (90,63 mg/100 g) ont eu les plus faibles (**Tableau LXXVI**).

Tableau LXXIV. Teneurs en épicatechine, catéchine et théobromine des fèves de familles issues de trois zones de plantation

Familles	Epicatechine (mg/100 g)			Catéchine (mg/100 g)			Théobromine (mg/100 g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	60,74±0,01 ^b	35,54±0,00 ^d	83,63±0,00 ^b	20,42±0,00 ^b	15,22±0,00 ^c	16,02±0,00 ^d	129,08±0,00 ^d	140,35±0,00 ^c	155,82±0,00 ^a
F26	38,35±0,00 ^d	46,37±0,00 ^c	42,65±0,00 ^d	10,72±0,00 ^d	20,52±0,00 ^b	19,42±0,00 ^c	176,40±0,00 ^a	159,20±0,00 ^b	153,98±0,00 ^a
F28	88,11±0,00 ^a	73,02±0,00 ^b	87,55±0,00 ^a	27,22±0,00 ^a	25,92±0,00 ^a	26,71±0,00 ^a	162,75±0,00 ^b	120,12±0,00 ^d	160,53±0,00 ^a
F22	57,68±0,00 ^c	86,18±0,00 ^a	67,05±0,06 ^c	16,97±0,00 ^c	9,92±0,00 ^d	25,43±0,00 ^b	150,76±0,00 ^c	184,37±0,00 ^a	132,11±3,33 ^b
Moyenne	61,23	60,28	70,22	18,83	17,89	21,89	154,75	151,01	150,61
CV	0,02	0,01	0,08	0,03	0,02	0,03	0,003	0,003	1,91
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

Tableau LXXV. Teneurs en caféine, quercétine et proanthocyanidine des fèves de familles issues de trois zones de plantation

Familles	Caféine (mg/100 g)			Quercétine (mg/100 g)			Proanthocyanidine (mg/100 g)		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	40,38±0,00 ^a	9,78±0,00 ^d	24,27±0,00 ^c	2,63±0,00 ^d	4,56±0,00 ^c	5,71±0,00 ^b	122,34±0,00 ^a	78,00±0,08 ^b	97,44±0,00 ^c
F26	16,35±0,00 ^d	24,21±0,00 ^b	23,85±0,00 ^d	4,65±0,00 ^c	2,94±0,00 ^d	2,75±0,00 ^c	92,90±0,00 ^c	94,44±0,00 ^a	113,16±0,00 ^a
F28	35,79±0,00 ^b	34,25±0,00 ^a	29,47±0,00 ^b	8,45±0,00 ^a	4,87±0,00 ^b	7,20±0,00 ^a	111,06±0,00 ^b	66,35±0,00 ^d	102,82±0,00 ^b
F22	32,34±0,00 ^c	22,81±0,00 ^c	33,75±0,00 ^a	5,59±0,06 ^b	5,07±0,00 ^a	1,52±0,00 ^d	84,24±0,00 ^d	70,21±0,00 ^c	90,63±0,00 ^d
Moyenne	31,22	22,76	27,84	5,33	4,36	4,30	102,64	77,25	101,02
CV	0,02	0,03	0,02	1,09	0,12	0,16	0,003	0,09	0,01
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.3.1.3.4.4. Structuration des familles d'hybrides suivant les teneurs en profil de composés phénoliques

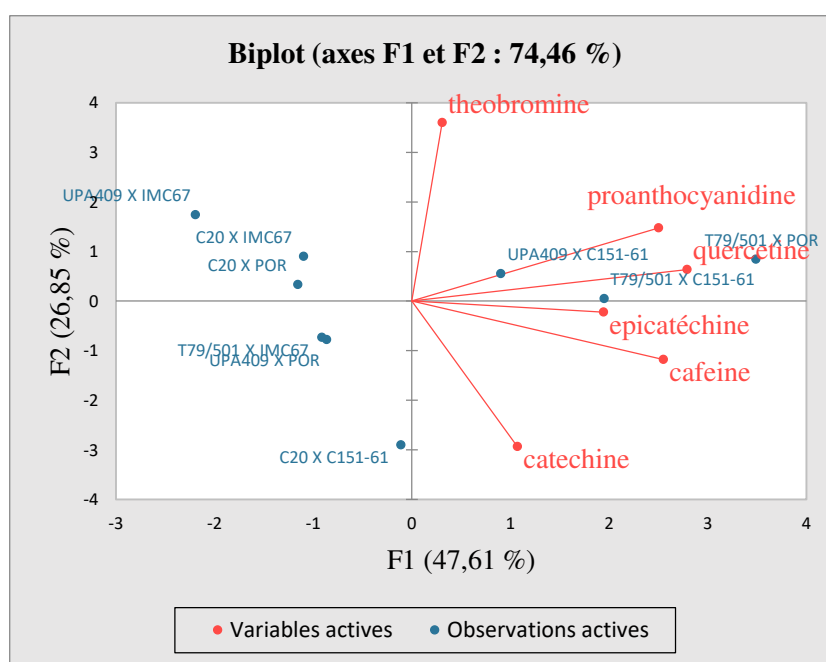
L'analyse de la matrice des valeurs propres de l'ACP (**Tableau LXXVII**) indique que les trois premiers axes (F1, F2 et F3) ont respectivement exprimé 47,61 % ; 26,85 % et 25,54 % de la variabilité totale. Ainsi, les deux premiers axes (F1 et F2) qui ont au total contribué à 74,46 % de la variabilité, ont été retenus pour la projection des individus. Le **tableau LXXVIII** présente la contribution des variables suivant les axes de l'ACP. Les variables caféine (Contribution : 25,44 % ; Cosinus carré : 0,73), quercétine (Contribution : 30,46 % ; Cosinus carré : 0,87) et proanthocyanidine (Contribution : 24,48 % ; Cosinus carré : 0,70) ont été bien représentées sur la composante F1. La variable catéchine (Contribution : 33,66 % ; Cosinus carré : 0,54) et théobromine (Contribution : 50,64 % ; Cosinus carré : 0,82) ont été bien représentée sur la composante F2. La variable épicatechine (Contribution : 47,23 % ; Cosinus carré : 0,47) et a été bien représentées sur la composante F3. La **figure 54** présente la projection du biplot sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Ces deux axes ont été retenus pour la projection des individus et des variables en raison de leur contribution (74,46 %) dans la variabilité totale. La théobromine, la quercétine et la proanthocyanidine se situent pratiquement du côté positif des axes 1 et 2. Ils sont caractérisés par les croisements T79/501 x POR, T79/501 x C151-61 et UPA409 x C151-61. Quant à la caféine, la catéchine et l'épicatechine, ils se positionnent du côté positif de l'axe 1 et négatif de l'axe 2. L'analyse de cette figure indique par ailleurs qu'il existe une corrélation positive entre la quercétine et la caféine puis entre la proanthocyanidine et la quercétine.

Tableau LXXVI. Matrice des valeurs propres entre les variables et les principaux axes de l'ACP relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique

	F1	F2	F3
Valeur propre	2,857	1,611	1,007
Variabilité (%)	47,610	26,846	16,775
% cumulé	47,610	74,456	91,231

Tableau LXXVII. Contribution des variables (%) et cosinus carré relative aux 9 familles d'hybrides issues de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique

	F1		F2		F3	
	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré	Contribution	Cosinus carré
Epicatechine	14,769	0,422	0,191	0,003	47,229	0,475
Catéchine	4,489	0,128	33,665	0,542	18,222	0,183
Théobromine	0,369	0,011	50,642	0,816	12,024	0,121
Caféine	25,439	0,727	5,408	0,087	17,581	0,177
Quercetine	30,455	0,870	1,585	0,026	2,286	0,023
Proanthocyanidine	24,480	0,699	8,510	0,137	2,659	0,027

**Figure 54.** Projection du biplot dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des 9 familles d'hybrides de cacaoyers issue de la pollinisation contrôlée pour le profil en composé phénolique

3.3.1.3.5. Activités antioxydantes des extraits de fèves de cacao de 4 meilleures familles d'hybrides issues de trois zones de plantation

3.3.1.3.5.1. Comparaison des activités antioxydantes par le test de DPPH de quatre meilleures familles

Les pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH par les poudres de cacao étudiées sont statistiquement différents (**Tableau LXXIX**).

Pour ces pourcentages d'inhibition du radical DPPH, la moyenne a été 80,78 % avec un coefficient de variation de 0,35%. La famille F28/Soubré avec 84,42 % a eu le pourcentage d'inhibition le plus élevé contrairement à la famille F41/Bouaflé (77,26 %). Quant à l'IC50, la moyenne a été 46,55 % avec un coefficient de variation de 0,01 %. La famille F41/Bouaflé avec 50,46 % a eu le pourcentage d'inhibition le plus élevé pendant que la famille F28/Soubré avec 41,74 % a enregistré le plus faible.

Tableau LXXVIII. Antioxydante des fèves issues des quatre meilleures familles

Familles	Antioxydants	
	DPPH (%)	IC50 (%)
F28/Soubré	84,42±0,33 ^a	41,74±0,00 ^d
F41/Soubré	83,37±0,00 ^b	46,05±0,00 ^c
F28/Divo	78,07±0,00 ^c	47,95±0,00 ^b
F41/Bouaflé	77,26±0,00 ^d	50,46±0,00 ^a
Moyenne	80,78	46,55
CV (%)	0,35	0,01
$P \leq 0.05$	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

DPPH : 2,2- diphényl-1-picrylhydrazyl

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.3.1.3.5.2. Concentration efficace des extraits éthanoliques des fèves de cacao

Le potentiel anti radicalaire global caractérisé par la méthode DPPH, des extraits testés a présenté des différences statistiques (**Figure 55**). La concentration efficace de la vitamine E (Trolox) a été de 12 mg/mL. Les fèves de cacao des quatre meilleures familles d'hybrides ont des IC50 (concentration d'antioxydant nécessaire pour inhiber 50 % de radicaux libres)

supérieur à celles de la valeur de la référence Trolox (vitamine E). Suivant le gradient de concentration variant de 28 à 32mg/mL

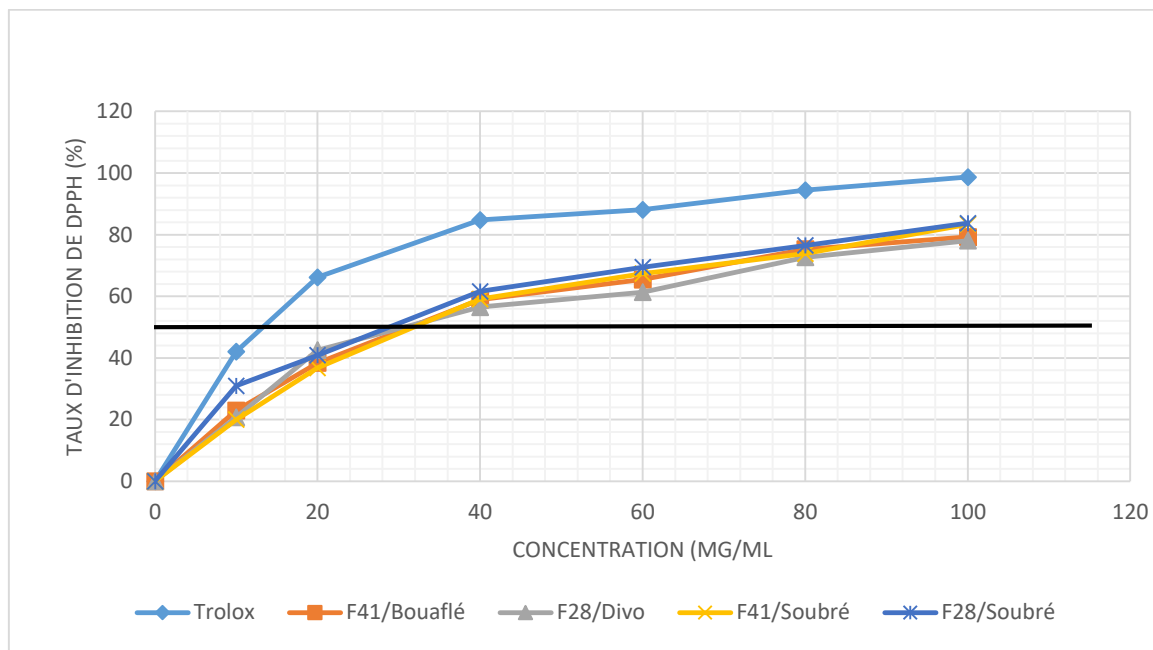


Figure 55. Taux d'inhibition du DPPH des extraits éthanoliques des fèves de cacao dans trois zones

F : Familles d'hybrides

3.3.1.4. Evaluation multilocale de quatre familles hybrides pour les caractéristiques sensorielles de la liqueur et des fèves de cacao

3.3.1.4.1. Profils sensoriels des fèves de familles hybrides issues de la localité de Soubré

Le profil sensoriel des différents hybrides de cacao en présentation radar a été réalisé à partir des moyennes des notes (0 à 10) attribuées aux descripteurs par les panélistes pour évaluer les liqueurs de cacaos fabriquées avec des fèves de cacao de la zone de Soubré (**Figure 56**). L'analyse a montré que la famille F41, ayant une intensité cacao moyenne, une acidité faible et une amertume moyenne a développée des intensités particulières intéressantes (fruit frais, fruit doré, florale et boisé). Cette famille a eu la note globale la plus élevée au niveau de la zone de Soubré.

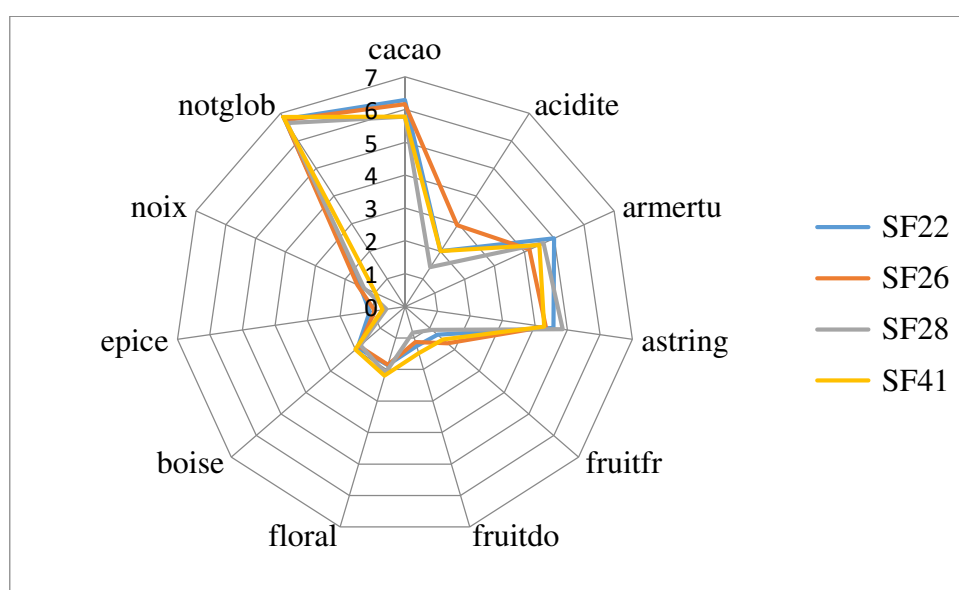


Figure 56. Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans la zone de Soubré

SF : Soubré familles d'hybrides

3.3.1.4.2. Profils sensoriels des fèves de familles hybrides issues de la localité de Divo

Le profil sensoriel des différents hybrides de cacao en présentation radar a été réalisé à partir des moyennes des notes (0 à 10) attribuées aux descripteurs par les panélistes pour évaluer les liqueurs de cacaos fabriqués avec des fèves de cacao de la zone de Divo (**Figure 57**). L'analyse a montré qu'il n'y a pas de grande différence de notes des descripteurs entre les liqueurs issues de la zone de Divo. Par contre, la famille F41 ayant une intensité cacao moyenne, une acidité et une amertume faible a développée des intensités particulières intéressantes (fruit frais, fruit doré, florale et boisé). Elle a également eu la note globale la plus élevée.

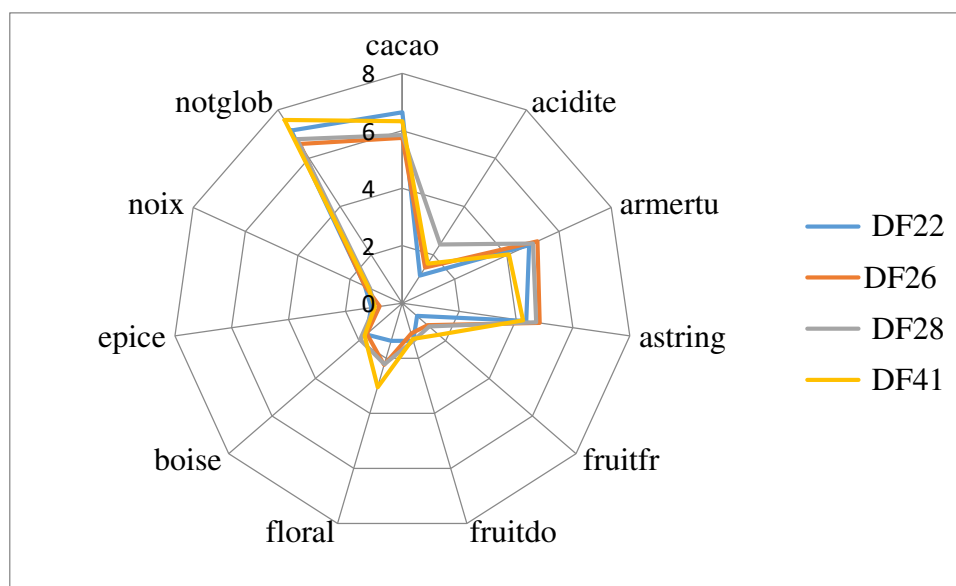


Figure 57. Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans la zone de Divo

DF : Divo familles d'hybrides

3.3.1.4.3. Profils sensoriels des fèves de familles hybrides issues de la localité de Bouaflé

Le profil sensoriel des différents hybrides de cacao en présentation radar a été réalisé à partir des moyennes des notes (0 à 10) attribuées aux descripteurs par les panélistes pour évaluer les liqueurs de cacao fabriqués avec des fèves de cacao de la zone de Bouaflé (**Figure 58**). L'analyse de la figure a montré qu'il n'y a pas de grande différence de notes des descripteurs entre les liqueurs issues de la zone de Bouaflé. Toutefois, la famille F41 ayant une intensité cacao élevée, une acidité faible et une amertume élevée a développé des intensités particulières intéressantes (fruit frais, fruit doré, florale, boisé, épice et noix). Elle a obtenu la note globale la plus élevée.

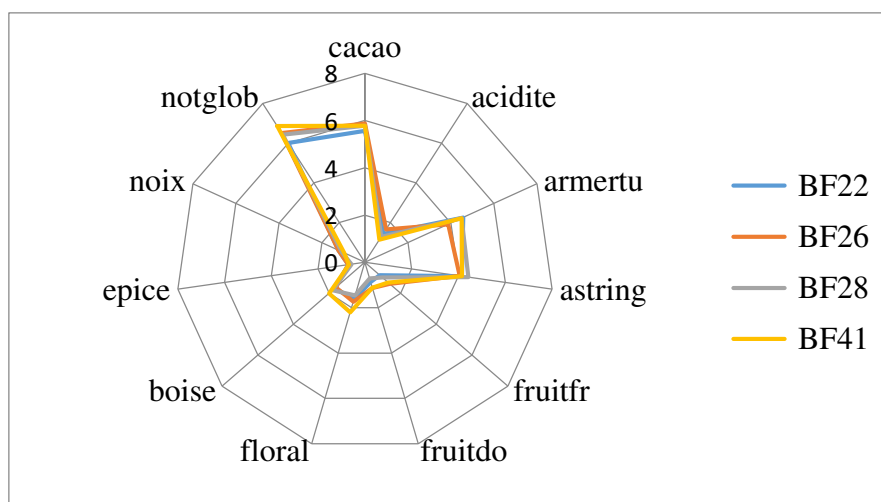


Figure 58. Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao de trois zones de plantation pour les caractères organoleptiques

BF : Bouaflé Familles d'hybrides

3.3.1.4.4. Profil radar de préférence des dégustateurs des liqueurs de trois zones de plantation

Le profil sensoriel des différents hybrides de cacao en présentation radar a été réalisé à partir des moyennes des notes (0 à 10) attribuées aux descripteurs par les panélistes pour évaluer les liqueurs de cacao fabriqués avec des fèves de cacao dans les trois zones d'étude (**Figure 59**). L'analyse de la figure indique qu'il n'y a pas de grande différence de notes des descripteurs entre les liqueurs issues des 3 zones d'étude. Par contre, la note globale de la zone de Divo est la plus élevée.

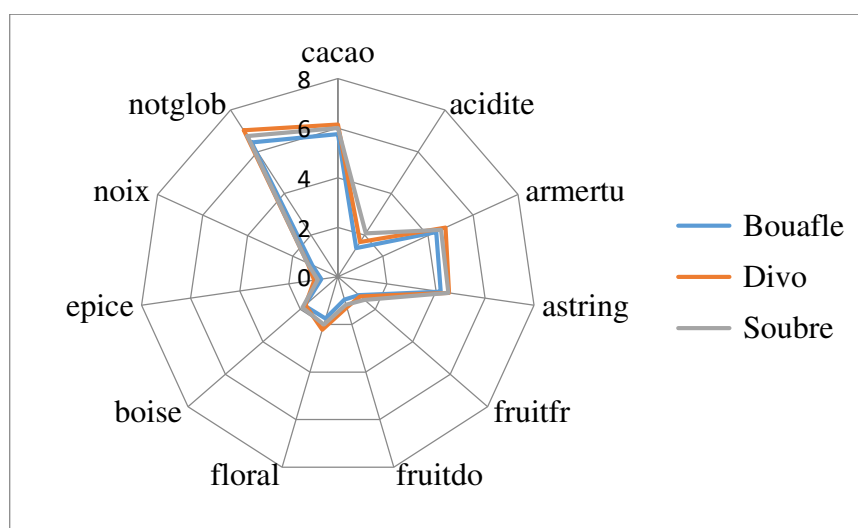


Figure 59. Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao de trois zones de plantation pour les caractères organoleptiques

3.3.1.4.5. Caractères organoleptiques des familles hybrides issues de trois zones de plantation

3.3.1.4.5.1. Effet de la zone et de la famille sur les caractéristiques organoleptiques des familles hybrides issues de trois zones de plantation

Les effets principaux de la zone et ceux d'interaction zone*famille non pas été significatifs sur les descripteurs sensoriels évalués. En outre, les effets principaux de la famille n'ont été significatifs que sur la note globale (**Tableau LXXX**).

Tableau LXXIX. Interaction zones x familles pour les saveurs détectées sur la liqueur de cacao

Saveurs	Zones			Familles			Zone x Famille		
	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F	DDL	F	Pr > F
Cacao	2	0,38	<0,6871	3	0,67	<0,5743	6	0,98	<0,4479
Acidité	2	1,64	<0,2021	3	0,85	<0,4734	6	1,70	<0,1340
Amertume	2	2,00	<0,1433	3	1,95	<0,1301	6	2,01	<0,0764
Astringence	2	1,29	<0,2810	3	2,37	<0,0776	6	0,83	<0,5524
Fruits frais	2	2,14	<0,1254	3	2,09	<0,1101	6	0,49	<0,8134
Fruits dorés	2	0,45	<0,6371	3	1,63	<0,1901	6	1,11	<0,3411
Floral	2	0,02	<0,9809	3	2,36	<0,0794	6	0,66	<0,6847
Boisé	2	0,37	<0,6942	3	0,52	<0,6696	6	0,29	<0,9382
Epicé	2	0,05	<0,9477	3	0,62	<0,6054	6	0,33	<0,9188
Noisette	2	0,47	<0,6279	3	1,13	<0,3446	6	0,22	<0,9686
Note globale	2	0,21	<0,8100	3	2,78	<0,0473	6	0,44	<0,6466

DDL : Degré de liberté ; F : Valeur de Fisher ; Pr : Probabilité

3.3.1.4.5.2. Comparaison des zones sur la base des caractéristiques organoleptiques des liqueurs de cacao

La zone n'a eu aucun effet sur les descripteurs sensoriels des liqueurs de cacao issues des familles d'hybrides (**Tableau LXXXI**).

Tableau LXXX. Intensité des saveurs de la liqueur issue de trois zones de plantation

Saveurs	Zones			Moyenne	CV	P
	Soubré	Divo	Bouaflé			
Cacao	6,01±0,14 ^a	6,15±0,19 ^a	5,75±0,13 ^a	5,97	13,86	<0,4973
Acidité	2,09±0,27 ^a	1,67±0,19 ^{ab}	1,37±0,16 ^b	1,71	27,12	<0,3038
Amertume	4,58±0,14 ^a	4,78±0,16 ^a	4,36±0,14 ^a	4,57	15,90	<0,2720
Astringence	4,51±0,12 ^a	4,54±0,16 ^a	4,19±0,06 ^a	4,41	12,40	<0,0789
Fruits frais	1,41±0,17 ^a	1,20±0,18 ^a	1,12±0,13 ^a	1,24	26,45	<0,4682
Fruits dorés	1,18±0,11 ^{ab}	1,29±0,09 ^a	0,95±0,07 ^b	1,13	42,65	<0,1710
Floral	2,00±0,20 ^a	2,22±0,21 ^a	1,75±0,21 ^a	1,99	24,19	<0,9618
Boisé	1,89±0,12 ^a	1,74±0,10 ^a	1,78±0,11 ^a	1,80	32,50	<0,2506

Épicé	0,82±0,12 ^a	0,96±0,10 ^a	0,67±0,11 ^a	0,81	26,67	<0,7005
Noisette	1,36±0,14 ^a	1,35±0,12 ^a	1,13±0,12 ^a	1,27	21,12	<0,4743
Note globale	6,76±0,10 ^{ab}	7,03±0,13 ^a	6,45±0,15 ^b	6,74	9,67	<0,6749

3.3.1.4.5.3. Comparaison des familles d'hybrides sur la base des caractéristiques organoleptiques des liqueurs de cacao

L'analyse de variance a montré une homogénéité entre les familles dans les régions de Soubré, Divo et Bouaflé pour les notes cacao, acidité, amertume, astringence, fruit frais, fruit doré, boisé, épicée noisette. Pour la note florale et la note globale, l'analyse de variance a montré une différence significative entre familles dans la région de Divo et uniquement sur les familles.

Pour la note cacao, les notes ont oscillé de 5,78 à 6,28 dans la zone de Soubré, de 5,75 à 6,64 dans la zone de Divo et de 1,42 à 5,89 dans la zone de Bouaflé. S'agissant de la note acidité, les notes ont varié de 1,42 à 2,94 dans la zone de Soubré, de 1,14 à 2,42 dans la zone de Divo et de 1,14 à 1,66 dans la zone de Bouaflé. En ce qui concerne l'amertume, les valeurs ont varié de 4,17 à 5,00 dans la zone de Soubré, de 4,08 à 5,17 dans la zone de Divo et de 3,88 à 4,57 dans la zone de Bouaflé (**Tableau LXXXII**).

Concernant l'astringence, les notes ont varié de 4,28 à 4,85 dans la zone de Soubré, de 4,25 à 4,82 dans la zone de Divo et de 4,04 à 4,43 dans la zone de Bouaflé. Pour les fruits frais, les notes ont varié de 1,08 à 1,71 dans la zone de Soubré, de 0,68 à 1,68 dans la zone de Divo et de 0,83 à 1,39 dans la zone de Bouaflé. Pour les fruits dorés, les notes ont varié de 0,82 à 1,48 dans la zone de Soubré, de 1,10 à 1,37 dans la zone de Divo et de 0,71 à 1,13 dans la zone de Bouaflé (**Tableau LXXXIII**).

En ce qui concerne le goût floral dans la zone de Divo, la moyenne a été de 2,21 avec un coefficient de variation de 43,96 %. La famille F41 avec 3,04 a eu la plus grande note du goût floral alors que la famille F22 avec 1,37 a eu la plus faible. Pour la note épicée, les notes ont varié de 0,57 à 1,08 dans la zone de Soubré, de 0,80 à 1,08 dans la zone de Divo et de 0,57 à 0,71 dans la zone de Bouaflé (**Tableau LXXXIV**).

S'agissant de la noisette, les notes ont varié de 0,97 à 1,51 dans la zone de Soubré, de 1,22 à 1,42 dans la zone de Divo et de 0,97 à 1,23 dans la zone de Bouaflé. Quant à la note globale, dans la zone de Divo, la moyenne a été de 7,02 avec un coefficient de variation de 8,57 %. La famille F41 avec 7,58 a eu la plus grande note d'appréciation alors que la famille F26 avec 6,58 a eu la plus faible (**Tableau LXXXV**).

Tableau LXXXI. Notes d'arômes identifiées chez 4 familles d'hybrides pour les intensités cacao, acidité, amertume

Familles	Cacao			Acidité			Amertume		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	5,78±0,14 ^a	6,32±0,30 ^a	5,79±0,15 ^a	2,00±0,61 ^a	1,62±0,28 ^a	1,14±0,40 ^a	4,50±0,15 ^a	4,08±0,22 ^a	4,50±0,12 ^a
F26	6,17±0,25 ^a	5,75±0,53 ^a	5,89±0,26 ^a	2,94±0,61 ^a	1,47±0,36 ^a	1,66±0,25 ^a	4,17±0,33 ^a	5,17±0,17 ^a	3,88±0,22 ^a
F28	5,78±0,34 ^a	5,85±0,35 ^a	5,79±0,34 ^a	1,42±0,48 ^a	2,42±0,52 ^a	1,29±0,42 ^a	4,64±0,21 ^a	5,00±0,37 ^a	4,50±0,31 ^a
F22	6,28±0,35 ^a	6,64±0,17 ^a	5,57±0,30 ^a	2,00±0,30 ^a	1,14±0,14 ^a	1,43±0,20 ^a	5,00±0,36 ^a	4,85±0,34 ^a	4,57±0,40 ^a
Moyenne	6,00	6,14	5,75	2,09	1,66	1,37	4,57	4,77	4,36
CV	12,76	15,72	12,54	29,86	23,80	25,62	16,19	16,20	15,97
P	<0,5041	<0,3019	<0,8707	<0,2552	<0,0998	<0,7293	<0,2395	<0,0695	<0,2444

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

Tableau LXXXII. Notes d'arômes identifiées chez 4 familles d'hybrides pour l'astringence, la saveur fruit frais et fruit doré

Familles	Astringence			Fruit frais			Fruit doré		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	4,28±0,14 ^a	4,25±0,14 ^a	4,14±0,09 ^a	1,52±0,19 ^a	1,68±0,38 ^a	1,30±0,19 ^a	1,48±0,26 ^a	1,30±0,16 ^a	1,11±0,11 ^a
F26	4,32±0,28 ^a	4,82±0,28 ^a	4,04±0,04 ^a	1,71±0,40 ^a	1,17±0,33 ^a	1,39±0,29 ^a	1,12±0,11 ^a	1,10±0,22 ^a	1,13±0,11 ^a
F28	4,85±0,32 ^a	4,71±0,14 ^a	4,43±0,17 ^a	1,08±0,37 ^a	1,24±0,39 ^a	0,97±0,29 ^a	0,82±0,24 ^a	1,37±0,17 ^a	0,71±0,18 ^a
F22	4,57±0,20 ^a	4,35±0,28 ^a	4,14±0,14 ^a	1,31±0,39 ^a	0,68±0,26 ^a	0,83±0,24 ^a	1,25±0,16 ^a	1,37±0,28 ^a	0,86±0,14 ^a
Moyenne	4,51	4,53	4,18	1,41	1,19	1,12	1,17	1,28	0,95
CV	14,54	13,10	7,71	27,42	28,44	23,79	46,00	38,72	39,28
P	<0,3589	<0,2408	<0,1642	<0,6216	<0,2660	<0,3846	<0,1741	<0,7094	<0,1343

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

Tableau LXXXIII. Notes d'arômes identifiées chez 4 familles d'hybrides pour les saveurs florales, boisé, épicé

Familles	Floral			Boisé			Épicé		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	2,20±0,56 ^a	3,04±0,38 ^a	2,20±0,57 ^a	2,00±0,23 ^a	1,72±0,12 ^a	2,00±0,24 ^a	0,68±0,26 ^a	0,97±0,19 ^a	0,69±0,26 ^a
F26	1,84±0,55 ^a	2,24±0,26 ^{ab}	1,73±0,53 ^a	1,85±0,27 ^a	1,62±0,25 ^a	1,63±0,26 ^a	0,92±0,27 ^a	0,80±0,23 ^a	0,70±0,28 ^a
F28	2,11±0,26 ^a	2,21±0,49 ^{ab}	1,46±0,33 ^a	1,80±0,23 ^a	1,94±0,03 ^a	1,80±0,24 ^a	0,57±0,20 ^a	0,97±0,19 ^a	0,57±0,20 ^a
F22	1,85±0,19 ^a	1,37±0,17 ^b	1,63±0,26 ^a	1,91±0,27 ^a	1,65±0,26 ^a	1,69±0,18 ^a	1,08±0,23 ^a	1,08±0,23 ^a	0,71±0,18 ^a
Moyenne	2,00	2,21	1,75	1,89	1,73	1,77	0,81	0,95	0,66
CV	24,53	43,96	27,73	36,29	29,78	34,24	27,49	22,25	29,14
P	<0,9105	<0,0330	<0,6737	<0,9546	<0,6684	<0,6811	0,4579	0,8284	<0,9725

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

Tableau LXXXIV. Notes d'arômes de 4 familles d'hybrides pour les saveurs noisette et la note globale

Familles	Noisette			Note globale		
	Soubré	Divo	Bouaflé	Soubré	Divo	Bouaflé
F41	0,97±0,29 ^a	1,30±0,25 ^a	0,97±0,29 ^a	6,85±0,32 ^a	7,58±0,25 ^a	6,86±0,32 ^a
F26	1,60±0,25 ^a	1,42±0,25 ^a	1,23±0,15 ^a	6,75±0,14 ^a	6,58±0,25 ^b	6,50±0,19 ^a
F28	1,37±0,28 ^a	1,22±0,26 ^a	1,09±0,23 ^a	6,64±0,21 ^a	6,78±0,18 ^{ab}	6,43±0,32 ^a
F22	1,51±0,28 ^a	1,42±0,20 ^a	1,23±0,26 ^a	6,78±0,14 ^a	7,14±0,21 ^{ab}	6,00±0,31 ^a
Moyenne	1,36	1,34	1,12	6,76	7,02	6,44
CV	23,11	48,13	22,12	8,55	8,57	11,87
P	0,4125	<0,9195	<0,8487	<0,9180	<0,0250	<0,2458

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

F : Familles d'hybrides ; ; CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

3.3.1.4.5.4. Structuration des familles suivant les caractères organoleptiques des liqueurs de cacao évaluées

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de sélectionner 4 composantes principales dont les valeurs propres sont supérieures à 1 (**Tableau LXXXVI**). Ce sont les axes F1, F2, F3 et F4. Elle a montré que les deux premiers axes (F1 et F2) ont exprimés 56 % de la variabilité totale (**Figure 60**). L'axe F1 qui a contribué à l'analyse pour 35,92 %, a été construit par les variables Cacao (Contribution : 15,83 % ; Cosinus carré : 0,63), Fruit doré (Contribution : 18,88 % ; Cosinus carré : 0,75), Epicé (Contribution : 19,60 % ; Cosinus carré : 0,76), Noix (Contribution : 8,54 % ; Cosinus carré : 0,34) et la note globale (Contribution : 15,99 % ; Cosinus carré : 0,63). L'axe 2 avec 20,08 % de contribution à l'analyse, a été constitué par les variables Amertume (Contribution : 33,84 % ; Cosinus carré : 0,75) Astringence (Contribution : 18,58 % ; Cosinus carré : 0,41) et Fruit frais (Contribution : 20,42 % ; Cosinus carré : 0,45). La classification ascendante hiérarchique (CAH) a révélé trois groupes à la troncature 18,21 (**Figure 61**). Le groupe 1 est formé de 5 variétés qui sont : BF22, BF26, BF28, DF26 et SF28. Parmi ces variétés, 3 sont bien représentés sur l'axe F1 avec un cosinus carré oscillant de 0,31 à 0,87. Ce sont BF22 (0,77), BF28 (0,87) et SF28 (0,31). Cependant, 2 des variétés du groupe 1 ont été bien représentés sur l'axe F2 avec un cosinus carré oscillant de 0,37 à 0,39. Ce sont BF26 (0,39), et DF26 (0,37). Le groupe 2 a été formé de 3 variétés qui sont : BF41, DF41 et SF41. Parmi ces variétés, la variété DF41(0,47) est bien représentée sur l'axe F1. Cependant, la variété SF41(0,29) du groupe 2 est bien représentée sur l'axe F2. De plus la variété BF41(0,36) du groupe 2 est bien représentée sur l'axe F4. Le groupe 3 a été formé de 4 variétés qui sont : DF22, DF28, SF22 et SF26. Parmi ces variétés, la variété SF22 (0,53) est bien représentée sur l'axe F1. Cependant, 2 variétés du groupe 3 est bien représentée sur l'axe F3 avec un cosinus carré oscillant de 0,42 à 0,52. Ce sont DF22 (0,52) et DF28 (0,42). De plus la variété SF26 (0,51) du groupe 3 est bien représentée sur l'axe F4

Tableau LXXXV: Valeurs propres et contribution des axes factoriels de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans trois zones agroécologiques

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	3,951	2,209	1,720	1,370
Variabilité (%)	35,918	20,084	15,636	12,457
% cumulé	35,918	56,003	71,638	84,096

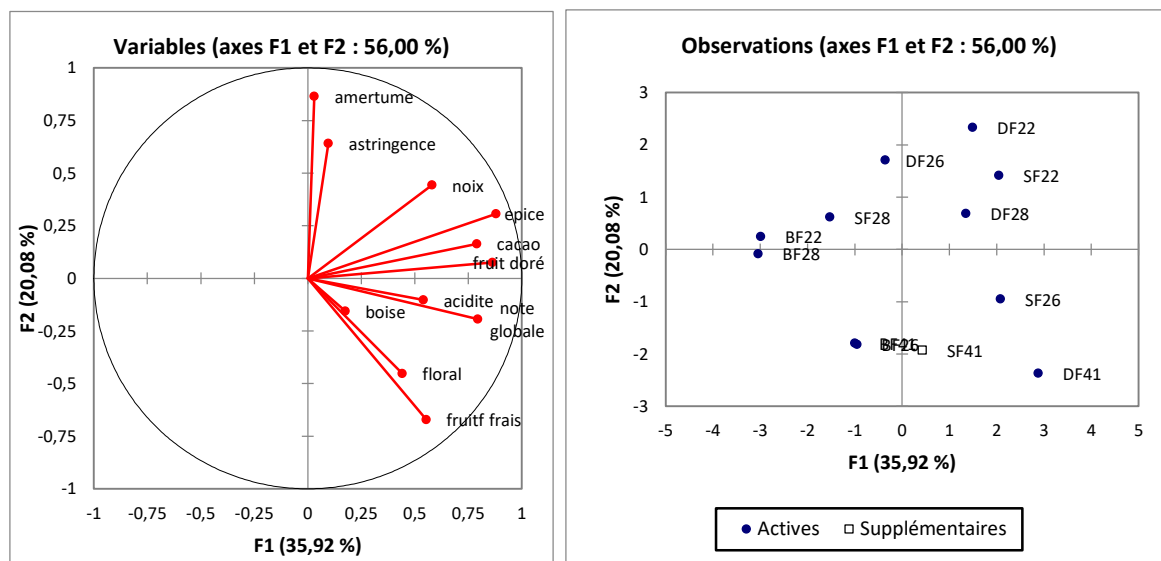


Figure 60. Cercle de corrélation et regroupement des variables de quatre familles d'hybride pour les caractères organoleptiques dans trois zones agroécologiques

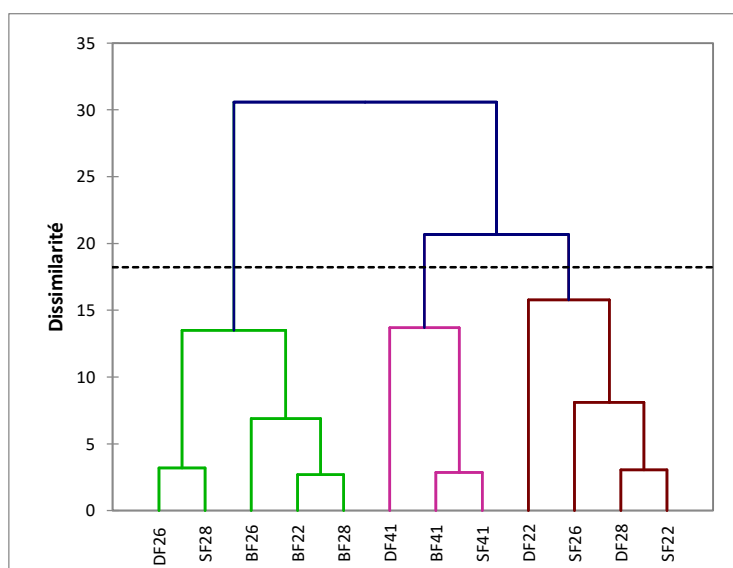


Figure 61. classification hiérarchique ascendante de quatre familles d'hybrides pour les caractères organoleptiques dans trois zones agroécologiques

3.3.2. Discussion

Dans ce chapitre, il était question de savoir si la zone d'étude pouvait impacter la qualité du cacao. Pour cela, les quatre familles d'hybrides précédemment évaluées en Station de Recherche à Divo (dans le chapitre 1 de nos travaux) et également plantées dans deux autres zones de plantation (Soubré, une zone à pluviométrie normale et, Bouaflé, une zone à pluviométrie déficitaire), ont été évaluées pour leurs qualités (technologiques, physico-chimiques, phytochimiques et sensorielles).

S'agissant des caractères technologiques des fèves, l'analyse a révélé un effet non significatif pour la zone de plantation sur le paramètre NFFN et un effet hautement significatif sur les paramètres PFFN et P1FS. Dans les zones de Soubré et de Divo, le poids de fèves fraîches normales (PFFN) d'une cabosse a été significativement plus élevé qu'à Bouaflé. Cela s'explique par le fait que Soubré et Divo sont deux zones à pluviométrie normale, c'est-à-dire des zones où la pluviométrie est supérieure ou égale à 1200 mm (Tahi *et al.*, 2019). Par contre, dans la zone de Bouaflé, une zone à pluviométrie déficitaire, le P1FS a été le plus faible (112,31 g). Cette tendance s'est confirmée avec le P1FS.

L'effet famille et l'effet d'interaction Zone x famille ont été significatifs pour les trois paramètres évalués, révélant ainsi que le classement des familles varie d'une zone de plantation à une autre. En effet, on note que pour le NFFN, toutes les quatre familles ont la même performance à Divo. Par contre, à Soubré et à Bouaflé, la famille F41 a été en tête de classement pour ce paramètre. S'agissant de PFFN, la famille F26 s'est révélée la plus performante à la fois à Soubré et à Divo, avec des moyennes respectives de 158,7 g et 171,63 g. Relativement au paramètre P1FS, cette même famille a été en tête de classement dans les trois zones de plantation, confirmant ainsi sa performance déjà signalée dans le chapitre 1. Il est intéressant de préciser que pour le P1FS, la famille F26 a été la plus performante à Soubré et à Divo avec des valeurs moyennes comparables respectivement de 1,7 g et 1,69 g tandis qu'à Bouaflé, bien que la plus performante pour ce même paramètre, elle a enregistré une valeur moyenne de 1,40 g relativement que celles des deux autres localités, justifiant ainsi l'effet de l'environnement sur la grosseur des fèves de cacao marchand comme cela a été montré dans d'autres travaux antérieurs (De Reffye *et al.*, 1978 ; Falque *et al.*, 1995). Ce résultat est en cohérence avec ceux de Biehl *et al.*, (1993) selon lesquels, le sol, le climat, la gestion des parcelles, le génotype et les conditions de récolte exercent des influences significatives sur les caractéristiques du cacao. En outre, la comparaison des moyennes du P1FS des trois zones de plantation confirment que les conditions de culture à Bouaflé ont été plus sèches qu'à Divo et à Soubré, ce qui est en

accord avec les résultats des recherches conduites par Tahi *et al.* (2019), qui ont démontré la supériorité des familles provenant d'une région à pluviométrie normale par rapport à celles d'une région à pluviométrie déficitaire.

Concernant les caractéristiques physicochimiques des fèves dans les trois zones de plantation, les résultats ont révélé un effet significatif de la zone sur le pH, le taux de cendre, les lipides, les fibres et les protéines. L'effet famille a été significatif sur tous les composés physicochimiques à l'exception de l'acidité titrable. A l'exception de l'acidité titrable et des sucres totaux, un effet d'interaction Zone x famille a été observé sur tous les autres composés physicochimiques. Le pH a fluctué entre 4,62 et 6,73 dans les zones étudiées. Cette variabilité pourrait être attribuée à divers facteurs, notamment l'effet de l'ombrage dans les parcelles mises en place. Les fèves de cacao séchées provenant des zones de Soubré et de Bouaflé, affichant un pH légèrement acide, pourraient constituer un bon potentiel pour la production de chocolat. En effet, certains chocolatiers privilégient une poudre dont le pH se situe entre 5,5 et 8 (Théry, 1995). De plus, ces fèves pourraient également être avantageuses pour l'industrie cosmétique dans la fabrication de crèmes, en raison de leur compatibilité avec les valeurs de pH de la peau (5,2 à 7) (Getachew *et al.*, 2023). En ce qui concerne les teneurs en cendres, les résultats ont montré des variations de 3,04 à 3,55 % à Soubré, de 3,24 à 4,14 % à Divo, et de 3,75 à 4,11 % à Bouaflé. Ces valeurs dépassent celles rapportées par Karim *et al.* (2012), qui avaient observé un taux de cendres de $2,36 \pm 0,22$ % pour le genre "Theobroma" à Divo, $2,97 \pm 0,48$ % à Abengourou, $2,06 \pm 0,02$ % pour spécifiquement le cacao "Mercedes" à Divo, et $2,95 \pm 0,09$ % à Abengourou. Les teneurs obtenues surpassent également celles rapportées pour la patate, qui s'élèvent à $0,95 \pm 0,02$ % selon Lorbarido *et al.* (2011), ainsi que celles de la farine de taro (sosso), qui est de $1,73 \pm 0,09$ % (Himeda *et al.*, 2012). Le taux de cendre des différentes familles a varié entre 3,30 (Soubré) et 4,15 (Divo) pour la famille F41, de 3,04 (Soubré) à 4,11 (Bouaflé) pour la famille F26, de 3,39 (Divo) à 3,75 (Bouaflé) pour la famille F28, et de 3,04 (Soubré) à 3,87 (Bouaflé) pour la famille F22. À l'exception des familles F41/Divo et F26/Bouaflé, le taux de cendres des familles étudiées sont conformes à ceux de Afoakwa *et al.* (2013), qui ont observé une teneur variante entre 3 et 4 % dans les fèves de cacao. En ce qui concerne les sucres réducteurs, les résultats indiquent que les familles ont présenté des valeurs allant de 0,79 à 1,09 % à Soubré, de 0,76 à 1,32 % à Divo, et de 0,96 à 1,17 % à Bouaflé. Ces variations peuvent être attribuées à l'origine géographique des zones de plantation, aux pratiques post-récolte et aux conditions de culture (Diomandé *et al.*, 2017). Ces facteurs peuvent influencer la composition physico-chimique d'un aliment, car les sucres réducteurs sont des éléments clés

dans le développement des arômes. Concernant les protéines, les résultats ont montré des valeurs allant de 8,74 à 13,44% dans la région de Soubré, de 9,22 à 13,54% dans la région de Divo, et de 10,33 à 13,23% dans la région de Bouaflé. Karim *et al.* (2022) ont rapporté une teneur en protéines de $9,66 \pm 0,03\%$ pour les fèves de l'espèce "Theobroma cacao" provenant de la région du Lôh Djiboua (Divo), ce qui est inférieur à nos propres résultats, à l'exception des familles F26/Divo et F28/Soubré. Les données ont également révélé que les familles présentant des teneurs en protéines élevées incluent la famille F28/Divo avec 13,54 %, la famille F22/Soubré avec 13,44 % et la famille F22/Bouaflé avec 13,23 %. Ces valeurs élevées pourraient être attribuées à l'origine géographique des familles et peuvent varier entre 11,8 et 15,7 (Timbie & Keeney, 1977 ; Bertazzo *et al.*, 2011). Les analyses des lipides ont révélé des variations de teneur allant de 19,20 à 26,49 % à Divo, de 20,12 à 22,08 % à Soubré, deux régions bénéficiant d'une pluviométrie normale, et de 16,85 à 19,42 % à Bouaflé, une zone caractérisée par un déficit pluviométrique. Ces valeurs sont inférieures à celles rapportées par Zelewicz *et al.* (2014). Ces chercheurs soulignent que la concentration en lipides fluctue considérablement en fonction de divers facteurs, notamment le climat (variations saisonnières et annuelles) et les zones de plantation. Il est à noter que la famille F22 a affiché des teneurs de 22,08 % à Soubré, 26,49 % à Divo et 19,42 % à Bouaflé, se distinguant ainsi par les meilleures concentrations en lipides dans chacune des zones étudiées. La famille F22 pourrait de ce fait être recommandée pour les secteurs de la chocolaterie et des cosmétiques, étant donné que le beurre de cacao représente l'élément le plus précieux des fèves de cacao sur le plan industriel. Son coût est supérieur à celui des autres graisses et huiles végétales, en raison de ses propriétés physiques et chimiques, ainsi que de ses qualités organoleptiques. Ces caractéristiques font de la graisse de cacao un ingrédient particulièrement adapté à la fabrication d'une large gamme de produits dans les industries du chocolat, de la confiserie, de la cosmétique et de la pharmacie (Jahurul *et al.*, 2013 ; CAOBISCO/ECA/FCC 2015 ; Riano *et al.*, 2016).

S'agissant des paramètres biochimiques et phytochimiques des fèves dans les trois zones de plantation, les résultats ont indiqué des teneurs assez élevées en théobromine et en caféine dans les trois zones étudiées. Les niveaux élevés de théobromine et de caféine contribuent à l'amertume et à l'astringence des produits (Stark *et al.*, 2006). Ce goût, apprécié par plusieurs chocolatiers, offre également des bienfaits pour la santé. La théobromine et la caféine agissent comme des stimulants, interagissant pour créer un effet énergisant tout en possédant des propriétés antioxydantes (Katz *et al.*, 2011). Les analyses ont révélé une variation des teneurs en polyphénols et en flavonoïdes d'une région à l'autre. Ces différences peuvent être attribuées

aux microclimats, à l'ensoleillement, à l'intensité lumineuse influencée par la position des cabosses sur l'arbre et à l'exposition directe au soleil (Niemenak *et al.*, 2006). Elles résultent également des conditions de croissance, du degré de maturité des fruits de cacao et de l'origine du matériel végétal (Rusconi *et al.*, 2010 ; Zyzelewicz *et al.*, 2016). Les résultats ont indiqué que la concentration la plus élevée en polyphénols a été observée dans la famille F28 (1593,17 mg/100 g) dans la région de Soubré. Cette famille est particulièrement recherchée par les industries agroalimentaires et chocolatières, car, selon Khan *et al.* (2014) et Tsang *et al.* (2019), la forte teneur en polyphénols du cacao et sa présence dans divers produits alimentaires sont d'un grand intérêt sur le plan nutritionnel et sanitaire. Les résultats ont indiqué d'importantes variations au niveau des teneurs en sels minéraux (macro et oligo éléments) dans les trois zones de plantation. Les résultats sont similaires avec ceux obtenus par Noor & Fan zhua (2022) pour la teneur en Fer. Cependant, ces auteurs ont obtenu des valeurs supérieures pour le sodium et le magnésium, et des valeurs inférieures aux nôtres pour le zinc, le cuivre et le manganèse. Les concentrations mesurées par Noor & Fan zhua (2022) variaient entre 2,2 et 15,6 mg/100g pour ces minéraux. Les résultats de cette recherche corroborent ceux d'Afoakwo *et al.* (2013) relatifs à une étude sur des fèves de cacao du Ghana. Les niveaux de ces minéraux sont influencés par des facteurs géographiques tels que le climat, la nature du sol et le stress environnemental (Martinez-Ballesta *et al.*, 2010). Les résultats ont révélé que les familles présentant les concentrations les plus élevées en potassium étaient F28/Soubré (340,35 mg/100 g), F41/Divo (630,76 mg/100 g) et F26/Bouaflé (690,48 mg/100 g). En ce qui concerne le magnésium, les familles avec les plus fortes concentrations étaient F41/Soubré (287,21 mg/100 g), F26/Divo (430,29 mg/100 g) et F26/Bouaflé (351,71 mg/100 g). En effet, le potassium et le magnésium sont reconnus pour leurs effets bénéfiques sur la santé, contribuant au métabolisme énergétique des tissus humains (Martinez-Ballesta *et al.*, 2010). Les résultats ont également montré que la teneur en cuivre dans les trois zones analysées variait de 0,02 à 1,05 mg/100 g, lesquelles valeurs sont inférieures à celles (3,12 mg/100 g) rapportées par Dion-Laine *et al.* (2015) dans les fèves de cacao, d'une zone à une autre. Concernant le phosphore et le calcium, les résultats ont indiqué des variations. Cette variabilité des teneurs en phosphore et calcium des fèves pourrait être attribuée à l'origine géographique des parcelles cultivées et aux géotypes des familles (Noor & Fan zhua, 2022). Le phosphore, en synergie avec le calcium, joue un rôle crucial dans la structure des os et des dents. Le calcium est essentiel pour le fonctionnement cellulaire, la contraction musculaire, y compris celle du cœur, le bon fonctionnement du système nerveux, l'activité enzymatique et la coagulation sanguine. S'agissant du profil des composés phénoliques, les résultats ont indiqué une variation entre les zones. Cette variation

peut être attribuée à divers facteurs tels que la région de plantation, le degré de maturité des fruits et les conditions climatiques durant leur croissance (Counet *et al.*, 2004 ; Brunetto *et al.*, 2007 ; Cooper *et al.*, 2007). En outre, il a été observé que la famille F28 présentait la concentration la plus élevée en catéchine dans les zones de Soubré (27,22 mg/100 g), de Divo (25,92 mg/100 g) et de Bouaflé (26,71 mg/100 g). Cette famille se distingue par sa teneur élevée en catéchine dans les trois zones étudiées. La catéchine, un élément des tanins présents dans le cacao (Pedan *et al.*, 2015), joue un rôle essentiel dans la couleur et l'astringence des fèves. Sa teneur est influencée par des facteurs tels que le climat et les conditions de stockage des fèves (De Pascual-Teresa *et al.*, 2000 ; Prior & Gu, 2005 ; Rusconi & Conti, 2010).

Quant aux profils sensoriels de la liqueur de cacao les zones de productions, les outils sensoriels utilisés dans l'évaluation de la liqueur de cacao de cette étude sont semblables à ceux de Sukha *et al.*, (2014), qui a utilisé les descripteurs sensoriels « acidité, amertume, astringence, sucré/caramel, noix/amande fruit frais, fruit mûr, boisé, épicé et floral » pour évaluer le chocolat noir. Concernant l'intensité cacao, la moyenne a été la plus élevée zone de Divo Soubré (6,14). La variabilité de la saveur cacao dans les régions pourrait être le résultat de la variation de l'acidité de la liqueur dans ces régions (Biehl *et al.*, 1985). Dans la présente étude, l'acidité des liqueur de cacao a varié selon les zones de production du cacao. Les résultats de cette recherche corroborent celui de Andrade *et al.* (2021) relatant que les fèves de différentes origines ont des caractéristiques gustatives distinctes sur l'acidité. Les résultats ont montré que l'amertume était de 4,57 dans la zone de Soubré, de 4,77 dans la zone de Divo et de 4,36 dans la zone de Bouaflé. Les résultats obtenus par le panel sont cohérents avec les données biochimiques, puisque les zones de Soubré, Divo et Bouaflé ont des valeurs plus élevées et des niveaux inférieurs de composés phénoliques, sont directement liés à l'attribut d'amertume (Andrade *et al.*, 2021). Le goût amer plus intense enregistré dans la zone de Divo se traduirait par la présence des benzaldéhydes issu des aldéhydes (Bonvehí, 2005). Par ailleurs, les résultats ont révélé que les familles d'hybrides plantées à Bouaflé ont enregistré la plus petite note d'astringence avec une moyenne de 4,51. La petite note de l'astringence dans cette zone pourrait être due à la perte de polyphénols par oxydation des fèves de cacao pendant le traitement, mais aussi par les interactions avec les protéines tout au long du processus. Cette interaction réduirait la capacité du polyphénol à précipiter les protéines salivaires riches en proline, diminuant ainsi la sensation astringente (Misnawi *et al.*, 2005). L'analyse des arômes particuliers tels que fruit frais, fruit doré, boisé, épicé et noisette a révélé une différence non significative entre les familles dans les zones. Toutefois, ils sont présents dans toutes les familles d'hybrides et donnent une valeur

ajoutée (CoEx, 2021). Par exemple, les aliments tels que les bombons et les desserts contiennent des sucres qui sont des caractéristiques des fruits frais et dorés (Lanza *et al.*, 2011 ; Lenfant *et al.*, 2013). Les résultats ont été confirmés par le test d'acceptation, démontrant une acceptation similaire de ces attributs dans les zones et dans les familles. Cependant, les analyses ont indiqué que la note florale dans la zone de Divo a fluctué de 1,37 à 3,04.

3.3.3. Conclusion partielle

L'étude de l'interaction entre le génotype et l'environnement concernant les propriétés physico-chimiques, technologiques, biochimiques et sensorielles des fèves de cacao a été réalisée en évaluant quatre familles d'hybrides dans des environnements contrastés au niveau climatique, à savoir Bouaflé, une zone à pluviométrie déficitaire, ainsi que Divo et Soubré, des zones à pluviométries normales. Les résultats obtenus dans cette étude ont permis d'approfondir les connaissances scientifiques relatives au matériel végétal.

Il a été observé que la famille F41 (GU 139 A X (E4/3-2 x C2/1-1)) a présenté un bon remplissage des cabosses, tant à Soubré (47,46 fèves par cabosse) qu'à Divo (45,47 fèves par cabosse). La F26 (UPA 409 x POR) a également confirmé ses performances élevées en matière de grainage. Les familles F41 et F21 se distinguent par leur bon remplissage et grainage au plan multi local. Ces résultats fournissent des indications précieuses pour les sélectionneurs dans le cadre de l'amélioration génétique du cacaoyer en Côte d'Ivoire, en ce qui concerne le grainage et le remplissage des cabosses. La famille F26 utilisée comme témoin pour la grosseur de ses fèves, a maintenu sa performance dans chacune des trois zones, bien que ses résultats à Bouaflé (zone de sécheresse) aient été inférieurs à ceux observés à Divo et Soubré. En outre, les familles évaluées dans les zones agro écologiques présentent des caractéristiques physicochimiques variées, ce qui doit être pris en compte par les industries qui envisagent d'utiliser ces familles comme matière première pour la production de divers produits.

En ce qui concerne les caractéristiques biochimiques et phytochimiques, notamment la composition en acides gras dans la zone de Bouaflé, caractérisée par une pluviométrie déficitaire, une faible teneur en acides palmitique, stéarique et linoléique a été notée dans les fèves de cacao. Cependant, cette même zone a enregistré des teneurs élevées en sels minéraux, ce qui doit être pris en considération par les industries qui produisent des compléments alimentaires. Les concentrations en théobromine et caféine, en zone à pluviométrie déficitaire (Bouaflé) sont inférieures à celles des zones à pluviométries normales (Divo et Soubré). En revanche, les teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux dans la zone à pluviométrie

déficitaire (Bouaflé) surpassent celles des zones à pluviométrie normale (Divo et Soubré). Les concentrations en profil des composés phénoliques tels que l'épicatéchine et la catéchine, dans la zone à pluviométrie déficitaire (Bouaflé) sont également inférieures à celles des zones à pluviométries normales (Divo et Soubré).

Les résultats de cette étude sur la qualité sensorielle de la liqueur de cacao, évaluée par un panel mettent en lumière l'absence d'effet zone pour les principaux attributs aromatiques examinés. Cela suggère que la qualité aromatique des fèves de cacao est principalement influencée par le génotype. Dans le cadre de l'étude, les récoltes ont été réalisées simultanément et le cabossage, la fermentation ainsi que le séchage ont eu lieu sur le même site.

3.4. Chapitre 4 : Impact de l'ajout de substances aromatiques pendant la fermentation sur les qualités physico-chimique et sensorielle des fèves de cacao

3.4.1. Résultats

3.4.1.1. Evolution de la température des clones pendant la fermentation (ANIMA)

➤ Clone IMC67

La fermentation des fèves de cacao du clone IMC67 sous ajout de substances aromatiques a duré cinq jours et demi. La température sous addition de mandarine a évolué de 29 °C (J1 matin) à 46 °C (J 6matin). Concernant la température sous addition d'Akpi, elle a évolué de 30 °C (J1 matin) à 38 °C (J6 matin). Quant à la température sous addition de banane douce, de banane plantain, elle a évolué de 29 °C (J1 matin) à 44 °C (J6 matin) (**Figure 62**).

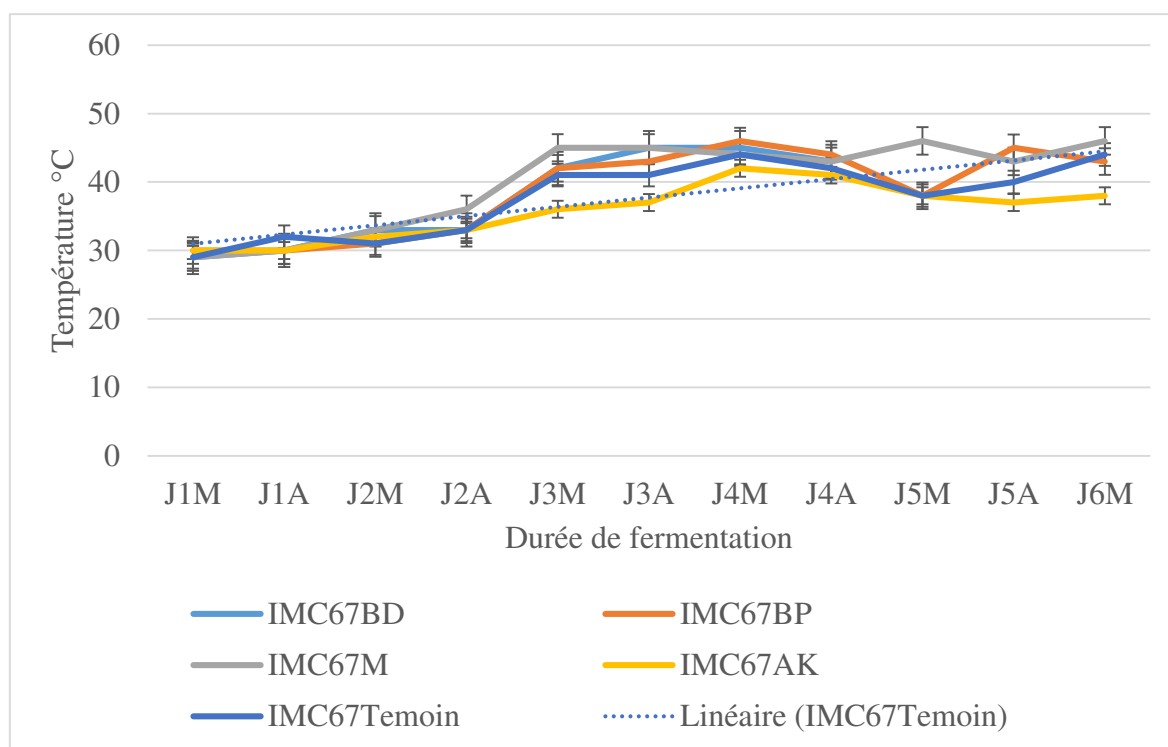


Figure 62. Evolution de la température au cours de la fermentation des fèves avec ajout de substances aromatiques

BD : Banane douce ; AK : Akpi ; BP : Banane plantain ; M : Mandarine ; JiM : jour i matin ; JiA : jour i Après midi

➤ Clone IFC5

La fermentation des fèves de cacao du clone IFC5 sous ajout de substances aromatiques a duré trois jours et demi pour les clones sous addition de banane douce, banane plantain et de mandarine, quatre jours pour le clone sous addition d'Akpi et six jours pour le témoin. La température sous addition de la banane douce a évolué de 30° C (J1 matin) à 45° C (J4 matin). Concernant la température sous addition de banane plantain, elle a évolué de 29 °C (J1 matin) à 42 °C (J4 matin). S'agissant de la température sous addition de mandarine, elle a évolué de 29 °C (J1 matin) à 35 °C (J4 matin). En ce qui concerne la température sous addition d'Akpi, elle a évolué de 29° C (J1 matin) à 40 °C (J4 après-midi). Quant à la température du témoin, elle a évolué de 29 °C (J1matin) à 37 °C (J6 matin) (**Figure 63**).

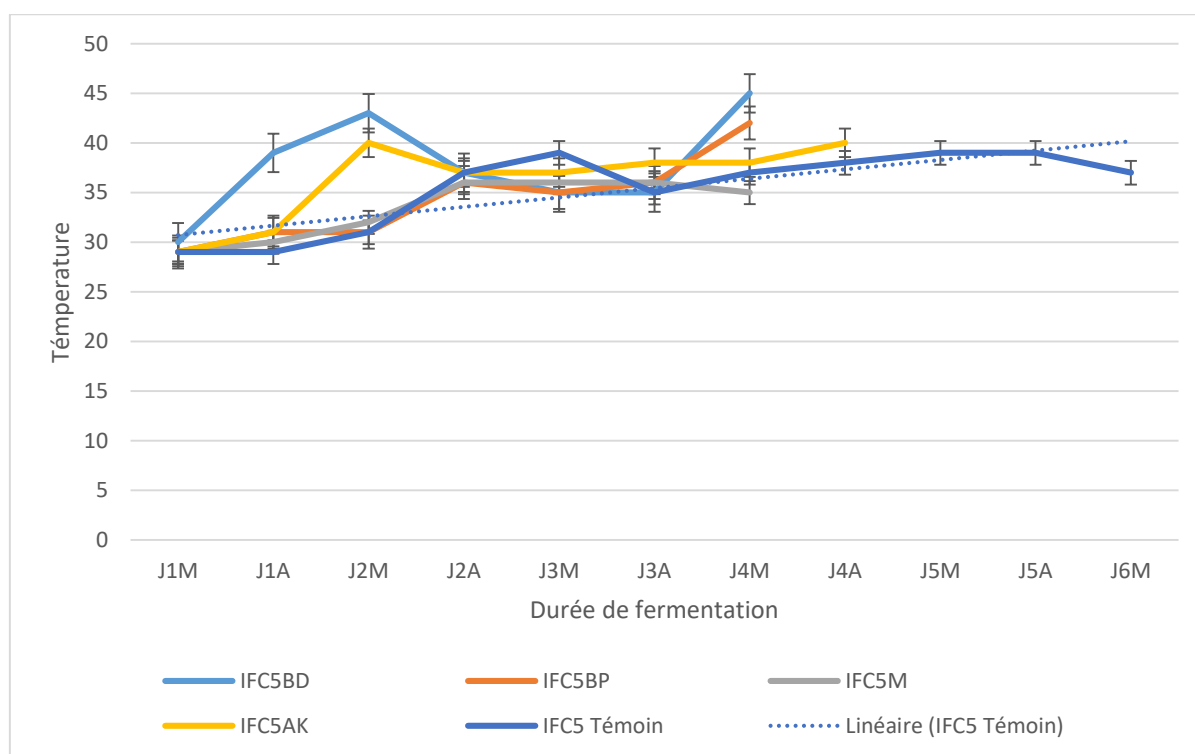


Figure 63. Evolution de la température au cours de la fermentation des fèves avec ajout de substances aromatiques du clone IFC5.

3.4.1.2. Propriétés physico-chimiques des fèves des clones

➤ Clone IMC67

L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les quatre traitements du clone IMC67 sous ajout de substances aromatiques pour les paramètres pH, sucres réducteurs, taux de cendre et matière grasse. Une homogénéité a été notée entre eux pour les paramètres acidité titrable et sucre totaux (**Tableau LXXXVII**). Pour le pH, la moyenne a été de 4,94 avec un coefficient de variation de 0,42 %. Le clone IMC67/Mandarine avec une valeur

de 5,06 a eu le pH le plus élevé. Par contre, le clone IMC67/Banane douce avec 4,68 a eu la plus petite valeur de pH. S'agissant de l'acidité titrable, la moyenne a été de 0,38 avec un coefficient de variation de 10,51 %. Les valeurs ont varié de 0,20 à 0,56. En ce qui concerne les sucres totaux, la moyenne a été de 0,73 g/ml avec un coefficient de variation de 13,67 %. Les valeurs ont varié de 0,63 à 0,79. S'agissant des sucres réducteurs, la moyenne a été de 4,03 % avec un coefficient de variation de 0,04 %. Le clone IMC67/Mandarine avec 4,06 % a eu la plus grande teneur en sucres réducteurs. Par contre, le clone IMC67/Akpi avec 4,00 % a eu la plus petite teneur en sucres réducteurs. Concernant le taux de cendre, la moyenne a été de 2,61 avec un coefficient de variation de 6,22 %. Le clone IMC67/Témoin avec 3,10 % eu le plus grand taux de cendre. Par contre, les clones IMC67/Mandarine (2,50 %), IMC67/Banane plantain (2,36 %), IMC67/Akpi (2,50 %) et IMC67/Banane douce (2,60 %) ont enregistré les plus petites teneurs en cendre. S'agissant de la teneur en matière grasse, la moyenne a été 76,82 %. Le clone IMC67/Banane plantain avec 82,00 % a eu la plus grande teneur de matière grasse. Par contre, le clone IMC67/Akpi avec 73,20 % a obtenu la plus faible valeur.

Tableau LXXXVI. Paramètres physico chimiques des fèves du clone IMC67 avec ajout de substances aromatiques

Clones IMC67	pH	Acidité titrable (%)	Sucre totaux (%)	Sucre réducteur (%)	Taux cendre (%)	Matière grasse (%)
IMC67/Mandarine	5,06±0,01 ^a	0,20±0,00 ^a	0,72±0,00 ^a	4,06±0,02 ^a	2,50±0,05 ^b	79,10±0,00 ^b
IMC67/Témoin	5,03±0,00 ^{ab}	0,56±0,21 ^a	0,74±0,03 ^a	4,03±0,00 ^c	3,10±0,19 ^a	74,40±0,00 ^d
IMC67/Banane plantain	5,00±0,01 ^b	0,53±0,03 ^a	0,63±0,06 ^a	4,02±0,00 ^d	2,36±0,03 ^b	82,00±0,00 ^a
IMC67/Akpi	4,96±0,01 ^c	0,30±0,11 ^a	0,76±0,04 ^a	4,00±0,00 ^e	2,50±0,05 ^b	73,20±0,00 ^e
IMC67/Banane douce	4,68±0,01 ^d	0,30±0,05 ^a	0,79±0,09 ^a	4,05±0,00 ^b	2,60±0,00 ^b	75,40±0,00 ^c
Moyenne	4,94	0,38	0,73	4,03	2,61	76,82
CV (%)	0,42	10,51	13,67	0,04	6,22	0
P	< 0,0001	< 0,1746	< 0,3686	< 0,0001	< 0,0021	< 0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

➤ Clone IFC5

L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les quatre traitements du clone IFC5 sur ajout de substances aromatiques pour les caractères pH, sucre totaux, sucre réducteur, taux de cendre et matière grasse. Une homogénéité a été observée entre eux pour le caractère acidité titrable (**Tableau LXXXVIII**). Pour le pH, la moyenne a été de 4,97 avec un coefficient de variation de 0,46 %. Le clone IFC5/Mandarine avec 5,20 a eu la plus grande valeur de pH. Par contre, le clone IFC5/Akpi avec 4,8 a eu la plus petite valeur de pH. S'agissant

de l'acidité titrable, la moyenne a été de 0,42 avec un coefficient de variation de 40,77 %. Les valeurs ont varié de 0,23 à 0,56. En ce qui concerne les sucres totaux, la moyenne a été de 0,82 % avec un coefficient de variation de 8,36 %. Le clone IFC5/Banane plantain avec 0,98 % a eu le plus grand taux de sucre totaux. Par contre, les clones IFC5/Mandarine (0,82 %), IFC5/Témoin (0,76 %), IFC5/Akpi (0,73 %) et IFC5/Banane douce (0,81 %) ont eu les plus petits taux de sucre totaux. S'agissant des sucres réducteurs, la moyenne a été de 4,02 % avec un coefficient de variation de 0,04 %. Le clone IFC5/Akpi avec 4,04 % a eu la plus grande teneur en sucre réducteur. Par contre, le clone IFC5/Banane douce avec 4,00 % a obtenu la plus petite teneur en sucre réducteur. Concernant le taux de cendres, la moyenne a été de 2,64 avec un coefficient de variation de 7,03 %. Le clone IFC5/Banane plantain avec 2,93 % a enregistré le plus grand taux de cendres. Par contre, les clones IFC5/Témoin (2,33 %) a eu le plus petit taux de cendre. S'agissant de la teneur en matière grasse. Le clone IFC5/Banane plantain avec 91,90 % a eu la plus grande teneur de matière grasse. Par contre, le clone IFC5/Banane douce avec 77,70 % a eu la plus petite teneur de matière grasse.

Tableau LXXXVII. Paramètres physico chimiques des fèves du clone IFC5

Clones IFC5	pH	Acidité titrable (%)	Sucre totaux (%)	Sucre réducteur (%)	Taux cendre (%)	Matière grasse (%)
IFC5/Mandarine	5,20±0,01 ^a	0,56±0,08 ^a	0,82±0,04 ^b	4,01±0,00 ^d	2,73±0,03 ^{ab}	85,90±0,00 ^b
IFC5/Témoin	4,97±0,01 ^b	0,40±0,10 ^a	0,76±0,04 ^b	4,02±0,00 ^c	2,33±0,08 ^b	78,90±0,00 ^c
IFC5/Banane plantain	4,91±0,00 ^c	0,40±0,00 ^a	0,98±0,01 ^a	4,04±0,00 ^b	2,93±0,21 ^a	91,90±0,00 ^a
IFC5/Banane douce	4,87±0,01 ^{cd}	0,23±0,08 ^a	0,81±0,27 ^b	4,00±0,00 ^c	2,63±0,03 ^{ab}	77,70±0,00 ^d
IFC5/Akpi	4,85±0,00 ^d	0,50±0,15 ^a	0,73±0,05 ^b	4,04±0,00 ^a	2,60±0,00 ^{ab}	78,90±0,00 ^c
Moyenne	4,97	0,42	0,82	4,02	2,64	82,66
CV	0,46	40,77	8,36	0,04	7,03	0,00
P	< 0,0001	< 0,2428	< 0,0114	< 0,0001	< 0,0317	< 0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

3.4.1.3. Profils sensoriels (radar) de la liqueur de cacao des clones

➤ Clone IMC67

Le profil radar du clone IMC67 sous addition de substances aromatiques a montré qu'il n'y a pas de grande différence de notes des descripteurs entre les liqueurs. Cependant, le clone IMC67/Banane plantain avec une note globale de 7,07, a développé une acidité très faible (0,43), une intensité cacao élevée de 6,64 et une intensité florale élevée (2,16). Le clone IMC67/Akpi a également eu une note d'intensité cacao élevée de 6,76 et une note globale élevée

de 7,17. Pour l'ensemble des liqueurs testées, il y'a eu un équilibre entre l'amertume (4,0 à 5,28) et l'astringence (4,25 à 5,24) et une acidité faible (0,14 à 1,30) (**Figure 64**).

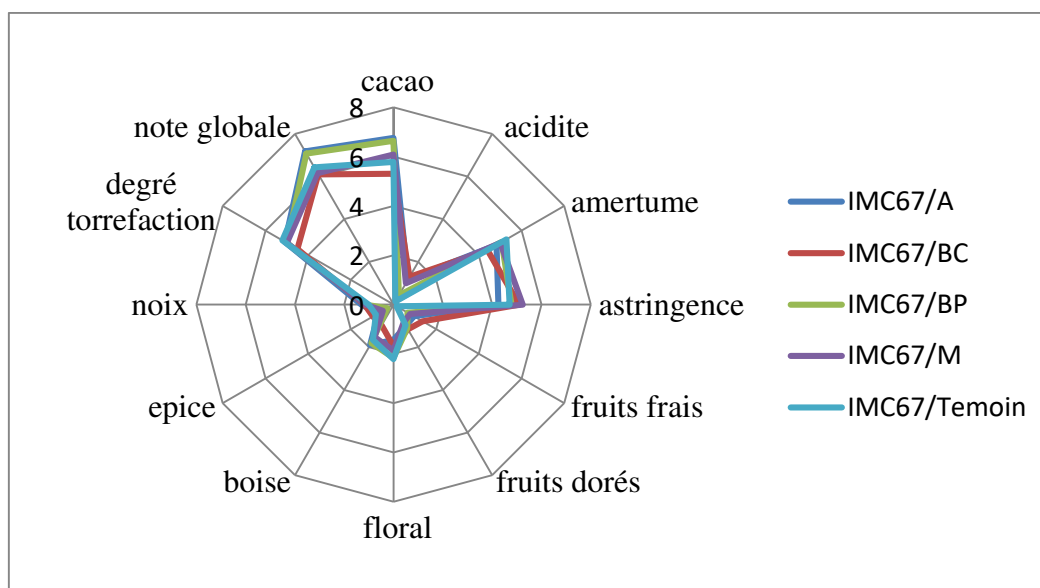


Figure 64. Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao du clone IMC67 sous addition de substance aromatique

Légende : IMC67/A= IMC67/Akpi ; IMC67/BC= IMC67/Banane douce ; IMC67/BP= IMC67/Banane plantain ; IMC67/M = IMC67/Mandarine ; IMC67/Témoin

➤ Clone IFC5

Le profil radar du clone IFC5 sous addition de substances aromatiques en présentation radar par le test d'acceptation a montré qu'il n'y a pas de grande différence de notes des descripteurs entre les liqueurs sous addition de substance aromatique. Toutefois, le clone IFC5/Banane plantain avec une note globale de 7, a développé une acidité élevée (1,5), une intensité cacao élevée de 6,58 et une intensité florale élevée (1,40). Le clone IFC5/Banane douce avec une note globale de 6,75, a développé une acidité (1,00), une intensité cacao élevée de 5,92 et une intensité florale élevée (2,03). Pour l'ensemble des liqueurs testées, il y'a eu un équilibre entre l'amertume (4,75 à 5,17) et l'astringence (4,75 à 5,10) et une faible acidité (0,80 à 1,50) (**Figure 65**).

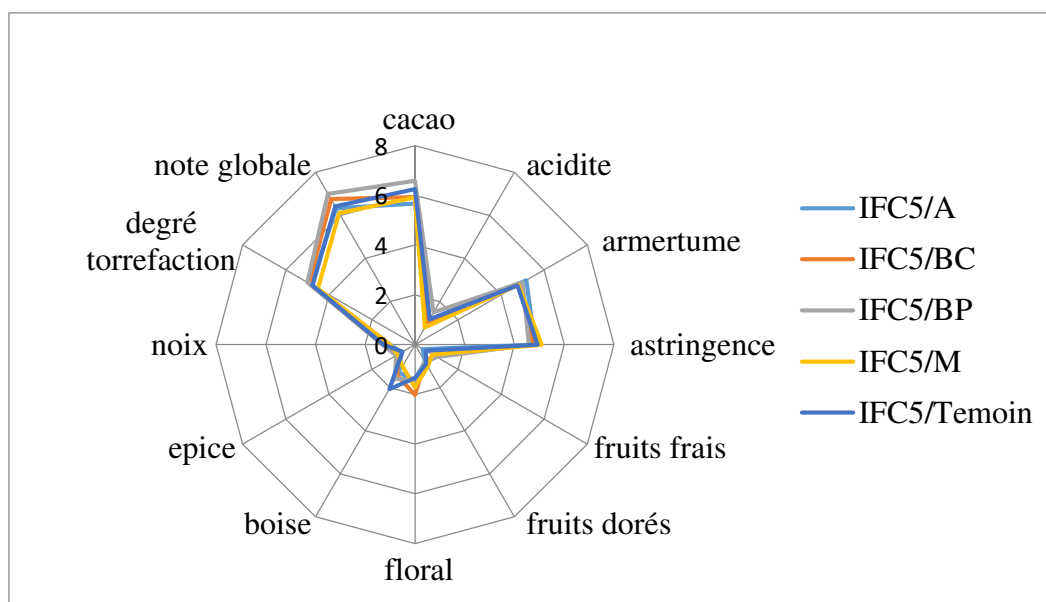


Figure 65. Profil radar de la préférence des dégustateurs des liqueurs de cacao du clone IFC5 sous addition de substance aromatique

Légende : IFC5/A= IFC5/Akpi ; IFC5/BC= IFC5/Banane douce ; IFC5/BP= IFC5/Banane plantain ; IFC5/M = IFC5/Mandarine ; IFC5/Témoin

3.4.1.4. Evaluation des caractères organoleptiques des clones sous ajout de substances aromatiques

➤ Clone IMC67

L'analyse de la variance sur le paramètre étudié a indiqué une différence significative entre les quatre traitements du clone IMC67 sur ajout de substances aromatiques et le témoin IMC67 sans ajout de substances aromatiques pour le descripteur "Cacao", le « Fruit Frais » et « a préférence globale ». Une homogénéité est observée pour les descripteurs "acidité, amertume, astringence, fruit doré, fruit frais, floral, boisé, épicé et noix " (**Tableau LXXXIX**).

Pour l'intensité cacao, la note moyenne a été de 6,14 avec un coefficient de variation de 10,98 %. Les clones IMC67/Akpi (6,75) et IMC67/Banane plantain (6,64) ont eu les plus fortes notes cacao. Par contre, l'IMC67/Banane douce avec 5,30 a eu la plus petite note cacao.

Tableau LXXXVIII. Notes d'arômes et d'appréciation identifiées chez le clone IMC67 avec ajout de substance additionnelle par un panel.

Clones	Cacao	Acidité	Amertume	Astringence	Fruit frais	Fruit doré	Floral	Boisé	Épicé	Noix	Degré T	Note globale
IMC67/Akpi	6,75±0,1 ^a	1,17±0,9 ^a	4,83±0,2 ^a	4,26±0,3 ^a	0,95±0,3 ^a	1,00±0,0 ^a	1,43±0,4 ^a	1,90±0,2 ^a	0,71±0,8 ^a	1,30±0,2 ^a	5,08±0,2 ^{ab}	7,17±0,2 ^a
IMC67/Banane plantain	6,64±0,2 ^a	0,43±0,3 ^a	5,07±0,3 ^a	4,78±0,4 ^a	0,65±0,3 ^a	1,11±0,1 ^a	2,16±0,3 ^a	1,80±0,2 ^a	0,28±0,2 ^a	1,11±0,1 ^a	5,00±0,2 ^{ab}	7,01±0,3 ^a
IMC67/Mandarine	6,08±0,2 ^{ab}	1,00±0,3 ^a	5,00±0,3 ^a	4,71±0,3 ^a	0,77±0,3 ^a	0,83±0,1 ^a	1,85±0,2 ^a	1,53±0,3 ^a	0,50±0,2 ^a	1,13±0,2 ^a	5,00±0,1 ^{ab}	6,16±0,2 ^a
IMC67/Témoin	5,78±0,3 ^{ab}	0,14±0,1 ^a	5,28±0,3 ^a	5,24±0,2 ^a	0,14±0,1 ^a	0,97±0,3 ^a	2,21±0,3 ^a	1,65±0,3 ^a	0,83±0,2 ^a	1,00±0,0 ^a	5,21±0,1 ^a	6,43±0,2 ^a
IMC67/Banane douce	5,30±0,4 ^b	1,30±0,8 ^a	4,40±0,2 ^a	5,10±0,2 ^a	1,37±0,5 ^a	1,16±0,1 ^a	1,68±0,4 ^a	0,96±0,3 ^a	0,96±0,3 ^a	1,16±0,3 ^a	4,50±0,2 ^b	6,10±0,5 ^a
Moyenne	6,14	0,79	4,93	4,81	0,76	1,01	1,87	1,58	0,65	1,14	4,97	6,60
CV	10,98	38,56	14,42	16,51	33,57	43,16	35,16	48,21	30,56	42,10	8,04	10,82
$P \leq 0.05$	<0,0026	<0,2276	<0,2614	<0,2027	<0,1570	<0,6592	<0,1732	<0,2469	<0,3915	<0,8397	<0,0396	<0,0216

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

CV : Coefficient de variation ; P : Probabilité

➤ **Clone IFC5**

L'analyse met en évidence aucune différence significative entre les quatre traitements appliqués au clone IFC5 pour l'ensemble des attributs sensoriels analysés (Cacao, acidité, amertume, astringence, fruit frais, fruit doré, floral, boisé, épicé et noix ") sous ajout de substances aromatiques (**Tableau XC**).

Tableau LXXXIX. Notes d'arômes et d'appréciation identifiées chez le clone IFC5 avec ajout de substance additionnelle par un panel.

Clones	Cacao	Acidité	Amertume	Astringence	Fruit frais	Fruit doré	Floral	Boisé	Épicé	Noix	Degré T	Note globale
IFC5/Banane plantain	6,59±0,2 ^a	1,50±0,4 ^a	5,00±0,3 ^a	4,59±0,3 ^a	1,00±0,3 ^a	0,83±0,1 ^a	1,40±0,2 ^a	1,60±0,3 ^a	0,88±0,3 ^a	1,30±0,2 ^a	5,00±0,0 ^a	7,00±0,2 ^a
IFC5/Témoin	6,25±0,3 ^a	1,17±0,4 ^a	5,17±0,3 ^a	5,10±0,3 ^a	0,50±0,2 ^a	0,90±0,2 ^a	1,34±0,1 ^a	2,07±0,2 ^a	0,58±0,2 ^a	1,25±0,2 ^a	4,76±0,1 ^a	6,41±0,3 ^a
IFC5/Banane douce	5,93±0,4 ^a	1,00±0,4 ^a	4,85±0,2 ^a	4,75±0,3 ^a	0,85±0,3 ^a	0,82±0,1 ^a	2,02±0,3 ^a	1,43±0,4 ^a	0,80±0,4 ^a	1,30±0,2 ^a	4,93±0,1 ^a	6,75±0,1 ^a
IFC5/Mandarine	5,91±0,3 ^a	0,80±0,5 ^a	4,80±0,2 ^a	4,70±0,3 ^a	0,80±0,2 ^a	1,01±0,5 ^a	1,71±0,4 ^a	1,00±0,3 ^a	0,80±0,3 ^a	1,00±0,3 ^a	4,50±0,2 ^a	6,10±0,3 ^a
IFC5/Akpi	5,67±0,4 ^a	1,17±0,4 ^a	4,75±0,2 ^a	4,83±0,3 ^a	0,36±0,2 ^a	0,80±0,2 ^a	1,43±0,3 ^a	1,30±0,3 ^a	0,62±0,3 ^a	1,00±0,2 ^a	4,82±0,2 ^a	6,32±0,2 ^a
Moyenne	6,08	1,14	4,92	4,83	0,70	0,87	1,58	1,49	0,73	1,18	4,81	6,53
CV	14,44	34,76	13,00	15,77	26,96	24,18	42,64	21,01	30,74	44,85	7,14	9,26
<i>P</i> ≤0.05	<0,3595	<0,8253	<0,7496	<0,7975	<0,2736	<0,9737	<0,3049	<0,1600	<0,9319	<0,6684	<0,1194	<0,0809

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5 %

CV : Coefficient de variation ; *P* : Probabilité

3.4.1.5. Evaluation des saveurs particulières développées par les clones

Pour la liqueur de cacao, les saveurs particulières sont déterminées à partir du barème établi par « Cocoa of Excellence » pour tous les descripteurs. Ainsi, sur la base des résultats de dégustation du panel (**tableau XCI**) seuls les descripteurs « fruits frais, fruit doré, floral, épicé et noix » ont présenté des notes supérieures à la norme selon « Cocoa of Excellence ». Pour le descripteur fruits frais, les deux clones IMC67 et IFC5 avec leurs ajouts de substances aromatiques ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur fruit doré, le clone IMC67 avec ajout de solution de banane plantain et de banane douce ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur floral, le clone IMC67 avec ajout de solution de banane plantain, mandarine, banane douce, lui-même sans ajout de solution et le clone IFC5 avec ajout de solution de banane douce, mandarine ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur épicé, aucun clone avec ajout de solution, n'a influencé la valeur de la norme. Pour le descripteur noix, tous les deux clones ont eu des valeurs supérieures à la norme (**Tableau XCII**).

Tableau XC. Saveurs particulières détectées chez le clone IMC67 avec ajout de substances aromatiques selon les normes de Cocoa of Excellence.

Saveurs	IMC67 sous ajout de substances naturelles					Normes
	IMC67/Akpi	IMC67/Banane plantain	IMC67/Mandarine	IMC67/Témoin	IMC67/Banane douce	
Fruits frais	0,95	0,65	0,77	0,14	1,37	0,0
Fruit doré	1,00	1,11	0,83	0,97	1,16	1,1
Floral	1,43	2,16	1,85	2,21	1,68	1,6
Epicé	0,71	0,28	0,50	0,83	0,96	1,1
Noix	1,30	1,1	1,13	1,00	1,16	0,9

Tableau XCI. Saveurs particulières détectées chez le clone IFC5 avec ajout de substances aromatiques selon les normes de Cocoa of Excellence

Saveurs	IFC5 sous ajout de substances naturelles					Normes
	IFC5/Akpi	IFC5/Banane plantain	IFC5/Mandarine	IFC5/Témoin	IFC5/Banane douce	
Fruits frais	0,36	1,00	0,80	0,5	0,85	0,0
Fruit doré	0,80	0,83	1,01	0,90	0,82	1,1
Floral	1,43	1,40	1,71	1,34	2,02	1,6
Epicé	0,62	0,88	0,80	0,58	0,80	1,1
Noix	1,00	1,30	1,00	1,25	1,30	0,9

3.4.1.6. Structuration des clones sous l'addition de substances aromatiques

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de sélectionner 3 composantes principales dont les valeurs propres sont supérieures à 1 (**Tableau XCIII**). Ce sont les axes F1, F2 et F3. Elle a montré que les deux premiers axes (F1 et F2) ont exprimé 66,01 % de la variabilité totale (**Figure 66**). L'axe F1 qui a contribué à l'analyse pour 39,97 %, a été construit par les variables Cacao (Contribution : 16,61 % ; Cosinus carré : 0,80), Amertume (Contribution : 8,53 % ; Cosinus carré : 0,41), Astringence (Contribution : 10,60 % ; Cosinus carré : 0,51), Boisé (Contribution : 15,35 % ; Cosinus carré : 0,74), Degré de torréfaction (Contribution : 17,31 % ; Cosinus carré : 0,83) et la note globale (Contribution : 15,05 % ; Cosinus carré : 0,72). L'axe 2 avec 26,04 % de contribution à l'analyse, a été constitué par les variables Acidité (Contribution : 21,30 % ; Cosinus carré : 0,66), Fruit frais (Contribution : 13,14 % ; Cosinus carré : 0,41), épicé (Contribution : 18,83 % ; Cosinus carré : 0,59) et Noix (Contribution : 17,39 % ; Cosinus carré : 0,54).

La classification ascendante hiérarchique (CAH) a révélé trois groupes à la troncature 19,37 (**Figure 67**). Le Groupe 1 a été formé de cinq variétés qui sont : IFC5/A, IFC5/BC, IFC5/BP, IFC5/Témoin, IMC67/A et IMC67/M. Parmi ces variétés, la variété IMC67/A (0,52) est bien représentée sur l'axe F1. Cependant, 3 des variétés du groupe 1 ont été bien représentés sur l'axe F2 avec un cosinus carré oscillant de 0,03 à 0,56. Ce sont IFC5/BC (0,03), IFC5/BP (0,56), et IMC67/M (0,43). De plus, 2 des variétés du groupe 1 ont été bien représentées sur l'axe F3 avec un cosinus carré oscillant de 0,15 à 0,65. Ce sont IFC5/A (0,65) et IFC5/Témoin (0,15).

Le Groupe 2 a été formé de 2 variétés IFC5/M et IMC67/BC qui sont bien représentée sur l'axe F1 avec un cosinus carré oscillant de 0,70 à 0,78. Ce sont IFC5/M (0,70) et IMC67/BC (0,78).

Le Groupe 3 a été formé de 2 variétés qui sont : IMC67/BP et IMC67/Témoin qui sont bien représentée sur l'axe F2 avec un cosinus carré oscillant de 0,41 à 0,62. Ce sont : IMC67/BP (0,41) et IMC67/Témoin (0,62).

Tableau XCII. Valeurs propres et contribution des axes factoriels des clones IMC67 et IFC5 sous l'addition de substance aromatique

	F1	F2	F3
Valeur propre	4,797	3,125	2,009
Variabilité (%)	39,971	26,041	16,739
% cumulé	39,971	66,012	82,751

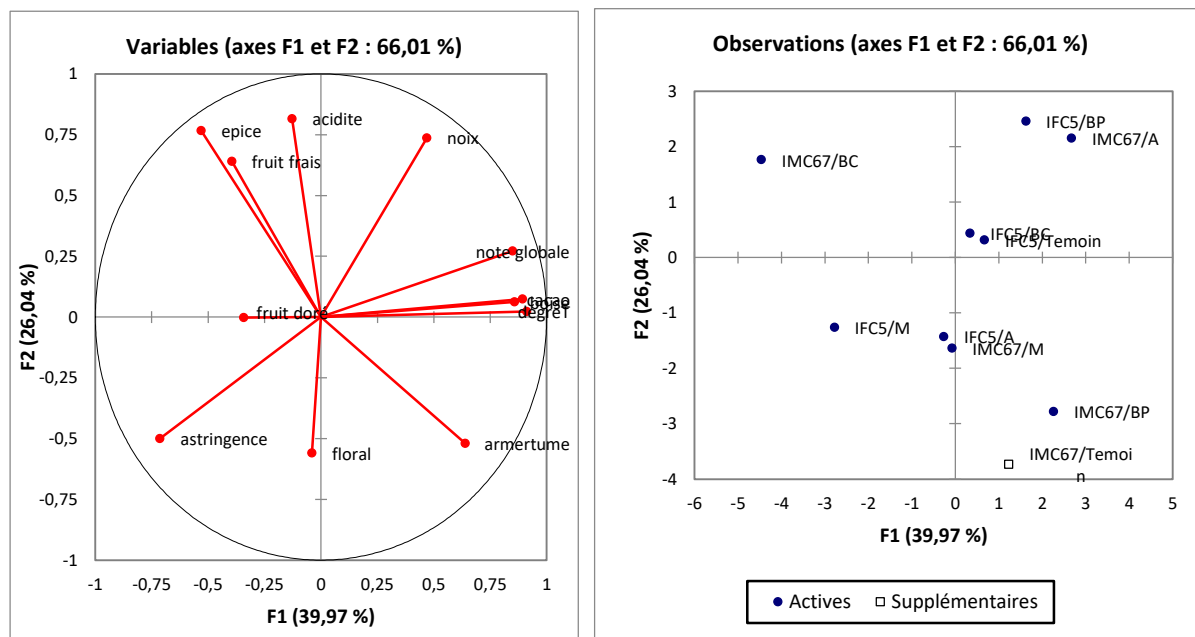


Figure 66. Cercle de corrélation et regroupement des clones IMC67 et IFC5 sous l'addition d substance aromatique

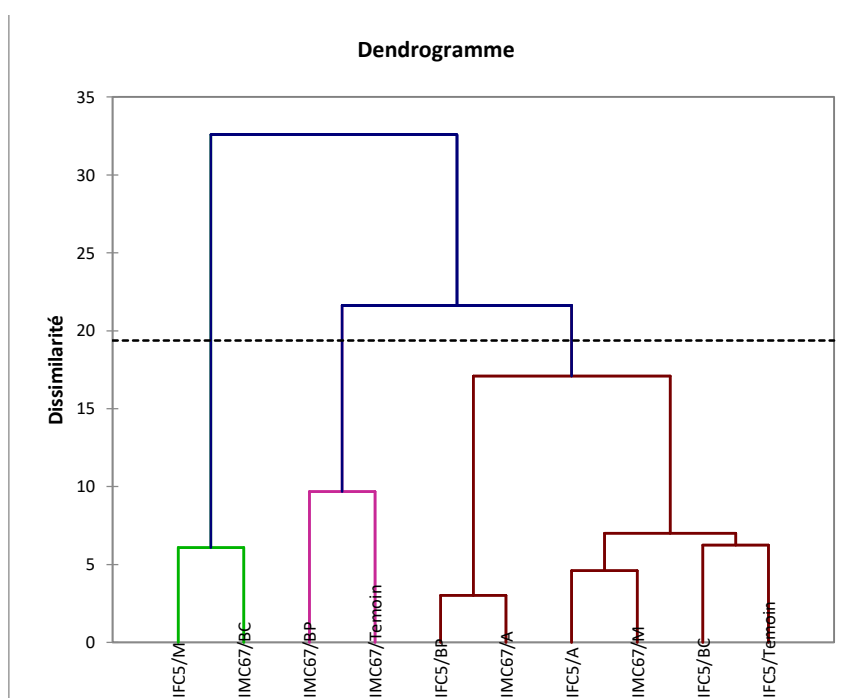


Figure 67. Classification hiérarchique ascendante des clones IMC67 et IFC5 sous l'addition de substances aromatiques

3.4.2. Discussion

La présente étude avait pour but de savoir si l'ajout de substances aromatiques (banane douce, banane plantain, mandarine et akpi) au cours de la fermentation peut impacter les qualités physicochimique et sensorielle du matériel végétal mis à l'épreuve. Pour cela, deux clones de cacaoyer dont l'un (IMC67) reconnu pour sa bonne saveur et l'autre (IFC5) connu pour sa saveur médiocre, ont été utilisés pour l'étude.

L'étude de l'évolution de la température a révélé que la température des fèves des clones IMC67 et IFC5 a progressivement évolué durant le processus de fermentation. La fermentation de ces clones réalisée dans de petites caisses, débute par une fermentation alcoolique, suivie d'une fermentation lactique, puis d'une fermentation acétique. Ce processus a été caractérisé par une élévation de la température, atteignant des températures comprises entre 44 et 47 °C, ce qui contribue en partie à la mort des fèves et au déclenchement des réactions enzymatiques (Bimont *et al.*, 2017). Lorsque la température atteint 47 °C, considérée comme le seuil d'une fermentation correcte selon Bimont *et al.* (2017), il est supposé que les fèves aient été correctement fermentées. Une élévation comparable de la température a été observée lors des fermentations de cacao en Amazonie (Ramos *et al.*, 2014 ; Moreira *et al.*, 2018). Les températures basses durant le processus de fermentation peuvent conduire à un degré de fermentation réduit (Kadow *et al.*, 2015). Ces micro-fermentations sont conçues pour traiter de petites quantités de fèves, généralement entre 15 à 30 kg, issues d'une même variété. Les levures, qui initient la fermentation alcoolique, apparaissent entre 18 et 24 heures après le début du processus (au deuxième jour) et créent des conditions propices à la croissance des bactéries grâce à leur métabolisme de l'acide citrique et à l'augmentation de la température (Ostovar & Keeney, 1973 ; Schwan & Board, 1995). Les températures des micro-fermentations Anima atteignent souvent environ 40 °C au début du deuxième jour, ce qui est 24 à 36 heures plus rapide que les fermentations traditionnelles.

Les analyses physico chimiques ont révélé que le pH a fluctué de 4,68 à 5,06 pour le clone IMC67 avec ajout de substances aromatiques, tandis qu'il a varié de 4,85 à 5,20 pour le clone IFC5 dans les mêmes conditions. Ces résultats sont en accord avec ceux de Zambrano *et al.* (2010), qui ont observé des valeurs de pH compris entre 4,6 et 5,1 dans le cacao Criollo du Venezuela. Le clone IFC5/Mandarine a présenté la valeur de pH la plus élevée (5,20), suivi du clone IMC67/Mandarine à 5,06. L'incorporation de jus de mandarine dans les deux clones IMC67 et IFC5 semble avoir un effet positif sur l'augmentation du pH. En ce qui concerne les sucres réducteurs, les résultats ont montré une variation de 4,00 à 4,06 % pour le clone IMC67

et de 4,00 à 4,04 % pour le clone IFC5, tous deux avec l'ajout de substances aromatiques. L'incorporation respective des jus de banane douce, de mandarine, de banane plantain et d'Akpi semblent avoir un effet positif sur l'augmentation de la teneur en sucres réducteurs du clone IMC67 et du clone IFC5. Pour la teneur en matière grasse, les résultats indiquent une variation de 73,20 à 82 % pour le clone IMC67 et de 77,70 à 91,90 % pour le clone IFC5, avec l'ajout de substances aromatiques. Ces valeurs dépassent celles rapportées par Calvo *et al.* (2021) et Grassia *et al.* (2019), qui considèrent que des valeurs inférieures à 52 % de matières grasses dans le cacao sont faibles. Les pourcentages élevés de matières grasses observés dans les clones avec ajout de substances aromatiques correspondent aux résultats attendus, la graine fraîche contenant entre 50 à 55 % de matière grasse sous forme de beurre de cacao. La variation de la teneur en matière grasse indique que l'ajout de substances aromatiques durant la fermentation a influencé la proportion de matière grasse obtenue, en lien avec la méthode de fermentation employée.

Concernant la qualité sensorielle, à l'exception de la banane douce, l'ajout des autres substances aromatiques dans la masse des fèves du clone IMC67 en fermentation a amélioré le goût cacao du clone. Par contre, pour le clone IFC5, seul l'ajout du jus de banane plantain a amélioré le goût cacao de la masse de cacao. Ce résultat suggère que le jus de banane plantain constitue la meilleure substance aromatique pour l'amélioration du goût cacao, avec une valeur moyenne de 6,64 pour le clone IMC67 et 6,59 pour le clone IFC5. Cette amélioration pourrait être attribuée à l'incorporation de jus de banane plantain durant la fermentation ainsi qu'à la méthode de fermentation utilisée. De plus, ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par Chen-Yen-Su (2014) dans son analyse du potentiel qualitatif des cacaos de Madagascar, qui a trouvé des valeurs comprises entre 4,7 et 5,1. En ce qui concerne l'acidité, les résultats indiquent que l'acidité du clone IMC67 avec ajout de substance aromatique a varié de 0,14 à 1,30, tandis que celle du clone IFC5 a fluctué entre 0,80 à 1,50. Ces valeurs sont considérées comme faibles par rapport à la norme de référence du cacao de Côte d'Ivoire, qui est de 2,00 selon Cocoa of Excellence. Cette faible acidité pourrait résulter de la méthode de fermentation, contribuant ainsi à un arôme chocolaté prononcé (Cros *et al.*, 1982). En ce qui concerne l'amertume, le clone IMC67/Témoin a obtenu une note de 5,28 alors que le clone IMC67 avec ajout de substances aromatiques a présenté des valeurs variant de 4,40 à 5,07. Pour le clone IFC5/Témoin la note était de 5,17, tandis que celle du clone IFC5 avec ajout de substances aromatiques a varié de 4,75 à 5,00. Les notes des deux clones avec ajout de substances aromatiques sont inférieures à celles des témoins. Ces résultats pourraient s'expliquer par

l'influence des substances aromatiques durant la fermentation, qui aurait réduit la teneur en purines ; l'amertume étant lié à des niveaux élevés de purines (caféine et théobromine) dans les fèves (Portillo *et al.*, 2006). Les notes obtenues surpassent celle rapportées par Chen-Yen-Su, (2020) (3,10 – 4,01) concernant l'analyse du potentiel qualitatif des cacaos de Madagascar. En ce qui concerne l'astringence, il a été observé que les notes des deux clones avec ajout de substances aromatiques sont inférieures à celles des clones témoins. Ces résultats pourraient s'expliquer par l'influence de la substance aromatique ajoutée durant la fermentation. Elle aurait réduit la teneur en composés polyphénoliques responsables du degré d'astringence du chocolat (Portillo *et al.*, 2006). Par ailleurs, la note du descripteur « Amertume » a fluctué entre 4,40 et 5,28, tandis que celle du descripteur « Astringence » a varié de 4,26 à 5,24 pour le clone IMC67. Pour le clone IFC5, la note du descripteur « Amertume » a varié de 4,75 à 5,17 et celle du descripteur « Astringence » de 4,59 à 5,10. Ces résultats montrent un équilibre entre l'amertume et l'astringence qui pourrait être attribué à la technique de fermentation utilisée dans cette étude. Selon Eskes (2021), la méthode de fermentation ANIMA utilisée lors de ces travaux permet d'éliminer l'astringence et l'amertume, tout en développant les arômes spécifiques du chocolat, des saveurs recherchées par certaines industries chocolatières.

Concernant le goût « Floral », les résultats ont révélé que l'incorporation de substances aromatiques a rehaussé la saveur florale du clone IFC5. Les résultats corroborent les travaux d'Eskes (2021) dans son ouvrage « Phenomenal Cocoa & Chocolate Delicacies : *the Magic of Reality* » où il est indiqué qu'une technologie de fermentation des fèves de cacao enrichie d'ingrédients naturels, peut améliorer la qualité organoleptique des fèves de cacao.

3.4.3. Conclusion partielle

Les résultats de cette partie concernaient le temps de fermentation, les caractéristiques physicochimiques et les qualités sensorielles des clones analysés.

Au niveau des paramètres physicochimiques, les clones IMC67 et IFC5, sous ajout de mandarine, ont présenté d'excellentes valeurs pour l'ensemble des critères. De plus, l'incorporation de jus de mandarine durant la fermentation a contribué à l'amélioration du pH et du taux de matière grasse des fèves de cacao

Sur le plan sensoriel, l'ajout de substances aromatiques pendant la fermentation a mis en lumière des saveurs spécifiques dissimulées dans les fèves (Florale pour le clone IMC67 et noisette pour le clone IFC5), tout en enrichissant les saveurs de certains descripteurs. Les clones IMC67/Akpi (6,75) et IMC67/Banane plantain (6,64) se sont démarqués par leurs qualités

organoleptiques notamment la note cacao supérieure a celle du clone IMC67/Témoin qui est de 5,78. L'incorporation de substances aromatiques a également révélé le potentiel gustatif et les saveurs cachées des fèves du clone IFC5. En ce qui concerne les paramètres physicochimiques, les clones IMC67 et IFC5, avec l'ajout de mandarine, ont présenté d'excellentes valeurs pour les critères analysés. De plus, l'incorporation de jus de mandarine durant la fermentation a contribué à l'amélioration du pH et du taux de matière grasse (5,20 pour le pH, 85,90 pour le taux de matière grasse pour le clone IFC5 et 5,06 pour le pH, 79,10 pour le taux de matière grasse pour le clone IMC67). Sur le plan sensoriel, l'ajout de substances aromatiques pendant la fermentation a mis en lumière des saveurs spécifiques dissimulées dans les fèves, tout en enrichissant les saveurs de certains descripteurs. Les clones IMC67/Akpi et IMC67/Banane plantain se sont démarqués par leurs qualités organoleptiques supérieures avec une note cacao élevée (6,75 pour le clone IMC67/Akpi et 6,64 pour le clone IMC67/Banane plantain), un équilibre entre l'amertume et l'astringence qui met en relief la note particulière boisé (1,90 pour le clone IMC67/Akpi et 1,80 pour le clone IMC67/Banane plantain), malgré l'attrait gustatif du clone IMC67/Témoin. L'incorporation de substances aromatiques a également révélé le potentiel gustatif et les saveurs cachées des fèves du clone IFC5, bien que ce dernier ait présenté un goût moins satisfaisant.

Il ressort de cette étude un effet de l'ajout de substances aromatiques sur la qualité organoleptiques de la liqueur de cacao. En effet, le clone IMC67 avec ajout de jus de banane plantain sur les fèves avant fermentation s'est fait remarquer par une très bonne qualité sensorielle avec une note de 6,64. Par ailleurs, la technique de fermentation en caisse via la méthode ANIMA a permis une bonne élévation de la température favorable à l'activation des enzymes.

*CONCLUSION GENERALE ET
PERSPECTIVES*

Au terme de ce travail qui avait pour objectif de rechercher parmi les clones et les familles d'hybrides à hauts rendements et résistants à la pourriture brune des cabosses, ceux qui présentent les meilleures caractéristiques technologiques, physicochimiques, phytochimiques, biochimiques et sensorielles, les résultats saillants obtenus sont les suivants.

Pour l'étude des caractères technologiques, physico-chimiques, phytochimiques, biochimiques et sensoriels des fèves de cacaoyers du CNRA (Clones et familles d'hybrides), les résultats ont démontré que les saveurs sont étroitement liées aux génotypes. Le clone C9 de la parcelle clonale E5/1 et la famille d'hybride F26 du test Orientatif TO/Divo ont affiché les meilleurs indicateurs sur le plan technologique. En ce qui concerne les paramètres physicochimiques, la famille F26 et le clone C131 se sont distingués par leurs bonnes performances. Concernant les aspects biochimiques, les familles F22, F26 et le clone C131 ont montré des teneurs élevées en composés phénoliques. La famille d'hybrides F28 et le clone C5 se sont illustrés par leurs composés phytochimiques. La famille F41 ainsi que les clones C26 et C21 ont présenté des niveaux significatifs de théobromine et de caféine. Le clone C5 et la famille F22 ont été remarquable pour leur profil d'acides gras. Enfin, la famille F28 et le clone C26 ont été notés pour leur teneur en sels minéraux, tandis que les familles d'hybrides F41 et F26, ainsi que les clones C9 et C24, ont été reconnus pour leurs bonnes qualités sensorielles marquées.

Concernant l'étude de l'effet de l'origine génétique du pollen sur les qualités technologiques, physico-chimiques, phytochimiques, biochimiques et sensoriels des fèves, il ressort que l'origine génétique du pollen n'affecte pas le nombre de Fèves Fraîches Normales (NFFN) et le Poids de Fèves Fraîches Normales (PFFN), ce qui suggère un effet maternel pour ces deux critères. En revanche, un impact du pollen a été noté sur le Poids d'une Fève Sèche (P1FS), indiquant un effet d'interaction entre les deux géniteurs impliqués pour ce paramètre. Le croisement C20 x IMC67 s'est avéré le plus performant en termes de caractéristiques technologiques. En ce qui concerne les propriétés physico-chimiques, un effet maternel a été mis en évidence que pour l'acidité titrable et la teneur en matière sèche. S'agissant des caractéristiques biochimiques et phytochimiques, un effet d'interaction entre les parents mâles et femelles impliqués dans chaque croisement a été observé sur tous les paramètres étudiés. En ce qui concerne les caractéristiques sensorielles, l'origine génétique du pollen n'a influencé aucun descripteur mettant en exergue un effet maternel sur les paramètres organoleptiques évalués.

S'agissant de l'effet du terroir sur les qualités technologiques, physicochimiques, biochimiques et sensorielles des fèves de cacaoyers du CNRA (Familles d'hybrides), il a été noté que la famille F41 (GU 139 A x (E4/3-2 X C2/1-1)) a un excellent remplissage des cabosses, tant à Soubré (47,46 fèves par cabosse) qu'à Divo (45,47 fèves par cabosse). La famille F26 (UPA 409 x POR) a également confirmé ses performances élevées en matière de grainage. Les familles F41 et F21 se distinguent par leur bon remplissage et grainage dans un cadre multi-local, au sein de différentes zones agroécologiques. La famille F26, utilisée comme témoin en raison de la taille de ses fèves, a maintenu sa performance dans chacune des trois zones. Il a été meilleur à Soubré et à Divo, deux zones à pluviométries normales et également à Bouaflé, une zone à pluviométrie déficitaire. Les familles évaluées dans les zones agroécologiques présentent une diversité de caractéristiques physicochimiques. La famille F26 a été meilleure pour le pH tandis qu'elle a présenté une faible teneur en sucres réducteurs (0,79 %), un aspect essentiel à considérer par les industries envisageant d'exploiter ces familles comme matières premières pour la fabrication de divers produits. Concernant les propriétés biochimiques et phytochimiques, de faible concentration en acides palmitique, stéarique et linoléique ont été enregistrées dans la région de Bouaflé marquée par une pluviométrie insuffisante. Les concentrations de théobromine et de caféine dans cette zone à pluviométrie déficitaire (Bouaflé) sont inférieures à celles observées dans les zones à pluviométrie normale (Divo et Soubré). De plus, les concentrations de composés en profils phénoliques tels que l'épicatéchine et la catéchine dans la zone à pluviométrie déficitaire (Bouaflé) sont également inférieures à celles des zones à pluviométrie normale (Divo et Soubré). En revanche, les teneurs des polyphénols et des flavonoïdes totaux dans la zone à pluviométrie déficitaire dépassent celles des zones à pluviométrie normale (Divo et Soubré). Les conclusions de cette recherche concernant la qualité sensorielle de la liqueur de cacao, analysée par un panel, révèlent qu'il n'y a pas d'effet zone (localités) significatif sur les principaux attributs aromatiques étudiés. Cela indique que la qualité aromatique des fèves de cacao est essentiellement déterminée par le génotype.

Au niveau de l'impact d'ajout de substances aromatiques pendant la fermentation selon la méthode ANIMA sur les qualités physicochimiques et sensorielles des fèves de cacao de deux clones du CNRA, les données obtenues montrent qu'il a influencé la durée de fermentation et a contribué à l'élévation de la température du clone IFC5. La température maximale a été observée pour le clone auquel a été ajoutée de la banane plantain. En revanche, la durée de fermentation n'a pas eu d'effet sur le clone IMC67 avec l'ajout de substances aromatiques, bien

que l'introduction de la solution de mandarine ait modifié l'évolution thermique. Pour le clone IFC5, l'ajout de la solution de mandarine a permis de diminuer la durée de fermentation tout en maintenant une température appropriée pour le processus. En ce qui concerne les paramètres physicochimiques, les clones IMC67 et IFC5, avec l'ajout de mandarine, ont présenté d'excellentes valeurs pour les critères analysés. De plus, l'incorporation de jus de mandarine durant la fermentation a contribué à l'amélioration du pH et du taux de matière grasse. Sur le plan sensoriel, l'ajout de substances aromatiques pendant la fermentation a mis en lumière des saveurs spécifiques dissimulées dans les fèves, tout en enrichissant les saveurs de certains descripteurs. Les clones IMC67/Akpi et IMC67/Banane plantain se sont démarqués par leurs qualités organoleptiques supérieures. L'incorporation de substances aromatiques a également révélé le potentiel gustatif et les saveurs cachées des fèves du clone IFC5, bien que ce dernier ait présenté un goût moins satisfaisant.

Les résultats de cette étude constituent un indicateur pour les sélectionneurs dans la perspective de l'amélioration de la qualité technologique, physico chimique, phytochimique et sensorielle du cacao en Côte d'Ivoire.

En termes de perspectives, plusieurs actions de recherche pourront être menées en vue de sélectionner des clones et familles d'hybrides présentant de bonnes qualités sensorielles. Il s'agit entre autres de :

- Élargir l'étude à d'autres clones et familles d'hybrides disponibles dans les bases génétiques du CNRA, afin d'explorer une diversité encore plus large de profils phénotypiques intéressants pour l'industrie du cacao.
- Développer des procédés de fermentation optimisés (fermentation dirigée) en fonction du profil génétique des fèves, pour standardiser et améliorer la qualité organoleptique du cacao.
- Valoriser des fèves de cacao issues des clones performants pour des labels de qualité, afin de mieux positionner le cacao ivoirien sur les marchés internationaux.
- Intégrer les résultats issus de cette thèse dans les programmes de durabilité du cacao, en valorisant les génotypes résilients aux stress climatiques tout en garantissant une qualité supérieure.

REFERENCES

- Adomako B. & Adu-Ampomah Y. (2003). Bean characteristics of progenies of upper Amazon cacao in Ghana. *Tropical Agriculture*, 80 (1): 41-47.
- Afoakwa E. (2008). Cocoa and chocolate consumption, Are there aphrodisiac and other benefits for human health. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 21 (3): 107-113.
- Afoakwa E.O. (2010). Science et technologie du chocolat. Wiley Blackwell Éditeurs Oxford (Royaume-Uni), 3-22.
- Afoakwa E.O., Kongor J.E., Takrama J.F. & Budu A.S. (2013). Changes in acidification, sugars and mineral composition of cocoa pulp during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 20 (3) : 1215-1222.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2013). Flavour formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(6), 739–757.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2014). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(6), 739-757.
- Akmel D., Assidjo N. & Yao B. (2008) Effet des dispositifs de séchage à l'air libre sur la qualité des fèves de cacao bord champ. *Revue Ivoire Sciences Technologies*, 11 : 45-58.
- Amin I., Jinap S., Jamilah B. (1997). Vicilin-class globulins and their degradation during cocoa fermentation. *Food Chemistry*, 59 : 1-5.
- Anne C.V. (2008). Impact of cocoa processing technologies in free fatty acids formation in stored raw cocoa beans. *African journal of agricultural research*, 3 : 174-179.
- AOAC (2005). Official Method 2005.08: of Analysis of AOAC INTERNATIONAL 18th Ed.,
- AOAC (2019). Official Method 980.14: Caffeine and Theobromine in Cacao
- AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists Ed. Washington DC (USA), 684 p.

- Aprotosoia 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.
- Araujo R., Fernandes C., Ribeiro D., Efraim P., Steinmacher D., Lieberei R. & Bastide P.A. T. (2014). Indice de qualité du cacao. *Food Contrôle des Aliments*, 46 : 49-54.
- Ardhana M.M. & Fleet G.H. (2003). The microbialecolgy of cocoa bean fermentations in Indonesia. *International Journal of Food Microbiology*, 86: 87-99.
- Ascherio A., Hennekens C., Willett W.C., Sacks M., Rosner B., Manson J., Witteman J & Stampfer M.J. (1996). Prospective study of nutritional factors, blood pressure and hypertension among US women. *Hypertension*, 27 : 1065-1072.
- Asiedu J. J., (1991). La transformation des produits agricoles en zone tropicale : Approche et Technologie, Edition Karthala et C.T.A., France et Pays-Bas, 335 p.
- Assemian E.A., Kanga K.H.M., Kouassi K., Yao K. J.J. & Koffi B.E. (2018). Analyse des variations de la recharge des eaux souterraines du socle de Dimbokro, Zone tropicale humide du Centre-Est de la Côte d'Ivoire, face au changement climatique. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 31 : 84-107.
- Assi C.B.J., Koné M.K., Kouamé K., Lahon M.C., Berthiot L., Durand, N. & Guéhi T.S. (2019). Effet du potentiel aromatique de la fermentation de *Saccharomyces cerevisiae* sur le profil volatil du cacao brut et les attributs sensoriels du chocolat produit à partir de celui-ci. *European Food Research and Technology*, 245 (7): 1459-1471.
- au sein de la principale collection de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 167: 17291-17305.
- Badrie N., Bekele F., Sikora E. & Sikora M. (2015). Agronomie, qualité, aspects nutritionnels et sanitaires du cacao. *Revue Critiques en Sciences Alimentaires et Nutrition*, 55 (5) : 620-659.
- Bainbridge J.C. & Scott S.H. (1912). The essential oil of cocoa *Journal of the Chemical Society*, 101: 2209-2221.
- Bardin A. (1937). Le cacaoyer en Côte d'Ivoire. *Annales Agricoles de l'Afrique Occidentale Française et Etrangère*, 1 (2) : 135-150.

- Barel M. (1985). Influence du temps de fermentation du cacao sur la production des pyrazines du chocolat. *Café Cacao Thé*, 29 (4) : 277-286.
- Barel M. (1997). La fermentation du cacao : le moyen de l'apprécier et de la maîtriser. *Revue des Industries Alimentaires et Agricoles*, 14 : 211-214.
- Bauer W.J., Badoud R., Loliger J., Etaurnaud A. (2010). Science et Technologie des Aliments, chap. 3 Lipides, chap. 11 Analyse Sensorielle, 1ère éd. Presses polytechniques et universitaires, Italie, ISBN : 978-2-288074-754-1, p. 636-643, p. 167-168.
- Belitz H.D., Grosch W. & Schieberle P. (2009). Cereals and cereal products. *Food Chemistry*, 670-745.
- Bernfeld D. (1955), Amylase β et α , In method in enzymology 1, Colowick S.P. and Kaplan N. O. Academic Press, New York, p. 149-154.
- Bertazzo A., Comai S., Brunato I., Zancato M. & Costa C.V. (2011). The content of protein and non-protein (free and protein-bound) tryptophan in *Theobroma cacao* beans. *Food chemistry*, 124 (1) : 93-96.
- Bertazzo A., Comai S., Mangiarini F. & Chen S. (2013). Composition of cacao beans. *Chocolate in Health and Nutrition*, 7 : 105-117.
- Bertoldi D., Barbero A., Camin F., Caligiani A. & Larcher R. (2016). Empreintes digitales multi-éléments et traçabilité géographique des fèves de cacao *Theobroma* et des produits à base de cacao. *Food Control*, 65 : 46-53.
- Biehl B., Brunner E., Passern D., Quesnel V.C. & Adomako D. (1985). Acidification, protéolyse et potentiel aromatique dans la fermentation des fèves de cacao. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36 (7) : 583-598.
- Biehl B., Heinrichs J., Ziegele-Berghausen H., Srivastava S., Xiong Q., Passern D., Senyuk V.I. & Hammor M. (1993). The proteases of ungerminated cocoa seeds and their role in the fermentation process. *Angewandte Botanik*, 67 : 59-67.
- Billes, D. J. 1941. Pollination of *Theobroma cacao* L in Trinidad, BWI. *Tropical agriculture* (Trinidad), vol 28, 8, 151-156.

- Bimont D., Sukha D., Escalante M. & Umaharan P. (2017). Optimisation de la fermentation des fèves de cacao *Theobroma cacao* L. l'impact d'une exposition des fèves avant la fermentation sur le temps de fermentation et l'arôme final. Symposium international sur la recherche sur le cacao (ISCR), Lima (Pérou), pp. 13-17.
- Bonanome A. & Grundy S.M. (1998). Effect of dietary stearic acid on plasma cholesterol and lipoprotein levels. *The New England Journal of Medicine*, 318 : 1244-1248.
- Bonvehi J.S. & Coll F.V. (2000). Evaluation of purine alkaloids and diketopiperazines contents in processed cocoa powder. *European Food Research and Technology*, 210 : 189-195.
- Bonvehí J.S. (2005). Étude des composés aromatiques dans la poudre de cacao torréfiée. *European Food Research and Technology*, 221 (1) : 19-29.
- Borchers A.T., Keen C.L. & Hannum S.M. (2000). Cocoa and chocolate: Composition, bioavailability, and health implications. *Journal of Medicinal Food*, 3 (2) : 77-105.
- Boyer J. (1970). Influence des régimes hydrique, radiatif et thermique du climat sur l'activité végétative et la floraison de cacaoyers cultivés au Cameroun. *Café Cacao Thé*, 14 : 189-200.
- Bracco U. (1994). Effect of triglyceride structure on fat absorption. *The American Journal of*
- Braudeau J. (1969). Le cacaoyer. Maisonneuve et Larousse, Paris (France), 304 p.
- Bravo L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56 : 317-333.
- Brunetto M.R., Gutierrez L., Delgado Y., Gallignani M., Zambrano A., Gomez A., Ramos G. & Romero C. (2007). Dosage de la théobromine, de la théophylline et de la caféine dans le cacao échantillons par une méthode de chromatographie liquide haute performance avec nettoyage des échantillons en ligne dans un système de colonne de commutation. *Food Chemistry*, 100 : 459-467.
- Bucheli P., Rousseau G., Alvarez M., Laloi M. & McCarthy J. (2001). Variation développementale des sucres, des acides carboxyliques, des alcaloïdes puriques, des acides gras et de l'activité endoprotéinase pendant la maturation des graines de *Theobroma cacao* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 : 5046-5051.

-
- Caligiani A., Acquotti D., Cirlini M. & Palla G. (2010). "¹H NMR study of fermented cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 : 12105-12111.
- Calvo A.M., Botina B.L., García M.C., Cardona W.A., Montenegro A.C. & Criollo J. (2021). Dynamique de la fermentation du cacao et son effet sur la qualité. *Scientific Reports*,
- Camu N., Hiver D.T., Addo K.S., Takrama S.J., Bernaert H. & Vuyst D.L. (2008). Fermentation des fèves de cacao : Influence des activités microbiennes et des concentrations de polyphénols sur la saveur du chocolat. *Journal des Sciences Agricoles* carbone dans les sols sous cacaoyers au Centre-Sud et Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guedé (Daloa. Côte d'Ivoire). 146p.
- Chaiseri S. & Dimick P. (1989). Lipides et caractéristiques de dureté des beurres de cacao de différentes régions géographiques. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 66 (12) : 1771-1776. Charrier A. (1969). Contribution à l'étude de la morphogenèse et de *Chemistry*, 20: 199-202.
- Chen-Yen-Su A. (2014). Analyse morphologique et profils aromatique, sensoriel du cacao du Sambirano. Mémoire de stage Master 2 mention « Sciences du vivant » Spécialité « Valorisation des Ressources Naturelles, Université de la Réunion UFR des sciences et technologies, Antananarivo (Madagascar), 78 p.
- Cheynier V. (2005). Polyphenols in foods are more complex than often thought. *The American*
- Cilas C., Duchemin C. & Lotode R. (1989). L'amélioration génétique de la qualité du cacao : étude de la granulométrie. *Café Cacao Thé*, 33 (1) : 3-8.
- Cilas C., Machado R. & Motamayor J.C. (2010). Relations entre plusieurs caractères liés à la reproduction sexuée des plantes chez *Theobroma cacao* L. : Nombre d'ovules par ovaire, nombre de graines par gousse et poids des graines. *Génétique des Arbres et Génomes*,
- Cinquanta L., Cesare C.D., Manoni R., Piano A., Roberti P. & Salvatori G. (2016). Mineral Essential Elements For Nutrition In Different Chocolate Products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 67 (7): 773-778.

- Clapperton J., Yow S., Chan J., Lim D., Lockood R., Romanczyk L. & Hammerstone J. (1994). La contribution du génotype à la saveur du cacao (*Theobroma cacao* L.). *Tropical Clinical Nutrition*, 59 : 371- 377.
- Cooper K.A., Campos-Gimenez E., Jimenez Alvarez D., Nagy K., Donovan J.L. & Williamson G. (2007). Analyse rapide par chromatographie liquide ultraperformante en phase inversée des principaux polyphénols du cacao et les relations entre leurs concentrations dans le chocolat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 : 2841-
- Counet C., Ouwerx C., Rosoux D. & Collin S. (2004). "Relationship between procyanidin and flavor contents of cocoa liquors from different origins." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (20) : 6243-6249.
- Cros E., Villeneuve F. & Vincent J.C. (1982). Recherche d'un indice de fermentation du cacao. *Café Cacao Thé*, (2) : 109-133.
- Dairou, V., & Sieffermann, J. M. (2002). A comparison of 14 jams characterized by conventional profile and a quick original method, the flash profile. *Journal of food science*, 67(2), 826-834.
- Damila R.M., Eliza M.R., Sheisa C.S.B., Elton G.B., Rubia M.S., Nilson E.S., Makoto M. & Jesuí V.V. (2017). Proximate Composition, Mineral Contents and Fatty Acid Composition of the Different Parts and Dried Peels of Tropical Fruits Cultivated in Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28 (2) : 308-318.
- De Brito E.S., García N.H.P., Gallão M.I., Cortelazzo A.L., Fevereiro P.S. & Braga M.R. (2001). Structural and chemical changes in cocoa (*Theobroma cacao* L) during fermentation, drying and roasting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*: 281-288.
- De Pascual-Teresa S., Santos-Buelga C. & Rivas-Gonzalo J. (2000). Analyse quantitative de flavan-3-ols dans les aliments et boissons espagnols. *Journal of Agricultural and*
- De Reffye Ph., Parvais J.P., Mossu G. & Lucas P. (1978). Influence des pollina-risques sur les rendements du cacao. *Café Cacao Thé*, 22 : 251-274.
- Del Gobbo F., Imamura J.H., Wu M.C. & Otto O. (2013). SED Chiuve. *The American Journal*

- Dembinska-Kiec A., Mykkänen O., Kiec-Wilk B. & Mykkänen H. (2008). Antioxidant phytochemicals against type 2 diabetes. *British Journal of Nutrition*, 99 : 109-117.
- Depledge, F., & Sauvageot, F. (2002). « Évaluation sensorielle des produits alimentaires », *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, F4000-1-F4000-24.
- Dharmaputra O.S., Amad S.M., Retnowati I. & Wahyudi T. (1999). The occurrence of insects and moulds in stored cocoa beans at South Sulawesi. *Biotropia*, 12: 1-18.
- Dietetics*, 103: 215-223.
- Dionlaine M., Trebissou J., Lohoues E. & Sess E. (2015). Évaluation des niveaux de minéraux et oligoéléments du cacao (*Theobroma cacao*) en Côte d'Ivoire. *Journal Académique de Recherche Agricole*, 3 : 321-326.
- Dja J., Kendall C.W.C., Vuksan V., Vidgen E., Wong E., Augustin L.S.A. & Fulgoni V. (2000). Effect of cocoa bran on low-density lipoprotein oxidation and fecal bulking. *Archives of Internal Medicine*, 160 (15): 2374-2379.
- Djedjro C.A., Assidjo N.E. & Yao B. (2008). Effet des dispositifs de séchage à l'air libre sur la qualité des fèves de cacao bord champ. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*. 11 : 45-48.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. & Smith F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28 : 350-356.
- Emch M. (2003). Ecology of Mayan Cacao Farming in Belize. *Human Ecology*, 31 (1): 111-131.
- Enriquez G. & Soria J.V. (1968). La variabilité de certaines caractéristiques des fèves de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Euphytica*, 17 (1) : 114-120.
- Eskes A.B. (2021). Phenomenal cocoa & Chocolate Delicacies, The magic of Reality. First priority, Kindle Edition, Rio de Janeiro (Brazil), 211 p.
- Eskes A.B., Ahnert D., García L., Carrion E., Seguíne E., Assemat S., Guarda D. & Garcia P.R. (2012). Evidence on the Effect of the Cocoa Pulp Flavor Environment during Fermentation on the Flavor Profile of Chocolates. International Symposium on Cocoa

- Eskes A.B., Rodriguez D., Condori E.L.F., Seguíne E., Carrion G & Lachenaud P. (2018). Matsigenkas and Chunchu growers in Peru. Large Genetic Diversity for Fine-Flavor Traits Unveiled in Cacao (*Theobroma cacao* L.) with Special Attention to the Native Chunchu Variety from Cusco, Peru. *Agrotropica*, 30: 157-201.
et de la Recherche Alimentaire, 88 : 2288-2297.
- Evi J.B., Yavo W., Barro-Kiki., Menan E.H.I. & Koné M. (2007). Helminthoses intestinales en milieu scolaire dans six villes du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 100 (3) : 176-177.
- Falque M., Vincent A., Vaissière B.E. & Eskes A.B. (1995). Effet de l'intensité de la pollinisation sur la nouaison des fruits et des graines du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). *Reproduction Sexuelle des Plantes*, 8 : 354-360
- Fang W., Meinhardt L., Mischke S., Bellato C.M., Motilal L. & Zhang D. (2014). La détermination précise de l'identité génétique d'une fève de cacao unique, à l'aide de marqueurs moléculaires dotés d'un système nanofluidique, garantit l'authentification du cacao. *Chimie Alimentaire*, 62 (2) : 481-487.
- Fapohunda S.O. & Afolayan A. (2012). Fermentation des fèves de cacao et potentiels antimicrobiens des composés phytochimiques de l'enveloppe des cabosses. *Journal of*
- Fernandez M.L. (2001). Soluble fiber and nondigestible carbohydrate effects on plasma lipids and cardiovascular risk. *Current Opinion in Lipidology*, 12 (1) : 35-40.
Food Chemistry, 48 : 5331-5337.
Food Research and Technology, 222 : 368-375.
- Franzen M. & Mulder M.B. (2007). Ecological, economic and social perspectives on cocoa production worldwide. *Biodiversity and Conservation*, 16: 3835-3849.
- Getachew M., Verheyen K., Tolassa K., Tack A.J., Hylander K., Ayalew B. & De Frenne P. (2023). Effects of shade tree species on soil biogeochemistry and coffee bean quality in plantation coffee. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 347: 108-354.
- Gill M.S., Macleod A.J. & Moreau M. (1984). Volatile components of cocoa with particular reference to glucosinolate products. *Phytochemistry*, 23 : 1937-1942.

-
- Grande F., Anderson J.T. & Keys A. (1970). Comparison of effects of palmitic and stearic acids in the diet on serum cholesterol in man. *The American Journal of Clinical*
- Grant J.D. & Anderson P.C. (1965). Chocolate as a cause of acne: A dissenting view. *Missouri*
- Grassia M., Salvatori G., Roberti M., Planeta D. & Cinquanta L. (2019). Polyphenols, methylxanthines, fatty acids and minerals in cocoa beans and cocoa products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13 (3) : 1721-1728.
- Grassia M., Salvatori G., Roberti M., Planeta D. & Cinquanta L. (2019). Polyphenols, methylxanthines, fatty acids and minerals in cocoa beans and cocoa products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13: 1721-1728.
- Grundy S.M. (1994). Influence of stearic acid on cholesterol metabolism relative to other long-chain fatty acids. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 60 : 986-989.
- Guehi S.T., Dabonne S., Ban-Koffi L., Kedjebo DK. & Zahouli G.I.B. (2010). Effect of turning beans and fermentation method on the acidity and physical quality of raw cocoa beans. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2 (3): 163-171.
- Guehi T.S., Dingkuhn M., Cros E., Foumy G., Ratomahenina R., Moulin G. & Clement A. (2007). Identification and lipase producing abilities of moulds isolated from Ivorian raw cocoa beans. *Research Journal of Applied Biological Sciences*, 3: 838-843.
- Guers J. (1971). Influence de l'éclaircissement sur la morphologie et la physiologie des feuilles de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). *Café Cacao Thé*, 15 (3) : 191-200.
- Guiraud B.S.H.B. (2019). Caractérisation agronomique, moléculaire et sélection de génotypes de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) tolérants ou résistants à la maladie du swollen shoot et à la pourriture brune des cabosses en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR des Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, (Abidjan, Côte D'Ivoire), 214 p.
- Guiraud B.S.H.B., Tahi G.M., Coulibaly K., Assi E.M., Minakou O.S., Atchi M.Y., Lachnaud 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.
- Hamdouche, Y. (2015). Caractérisation physico-chimique et microbiologique des fèves de cacao (*Theobroma cacao* L.) fermentées selon différents procédés traditionnels en Côte

- d'Ivoire et en Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, France, 246 p.
- Hansen C.E., Del Olmo M. & Burri C. (1998) Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77: 273-281.
- Harborne J.B. & Williams C.A. (2000.) Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55, 481-504.
- Harwood M.L., Ziegler R.G. & Hayes J.E. (2013) Tolerance for high flavanol cocoa powder in semisweet chocolate. *Nutrients*, 5 : 2258-2267.
- Hashim P., Selamat J., Syed Muhammad S.K. & Ali A. (1998). Changes in free aminoacid, peptide-N, sugar and pyrazine concentration during cocoa fermentation. *Journal of the*
- Hii C.L., Law C.L., Cloke M. & Suzannah S. (2009). Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality. *Biosystems Engineering*: 153-161.
- Hill A.J. & Heaton-Brown L. (1994). The experience of food craving: a prospective investigation in healthy women. *Journal of Psychosomatic Research*. 801-814.
- Himeda M., Njintang Y.N., Nguimbou R.M., Gaiani C., Facho B., Scher J. & Mbofung C. M.F. (2012). Physicochemical, microstructure, rheological and thermal properties of taro (*Colocassia esculenta*) starch harvested at different maturity stages. *International Journal of Biosciences*, 2 : 14-27.
- Hu F.B., Rimm E.B., Stampfer M.J., Ascherio A., Spiegelman D. & Willett W.C. (2000). Prospective study of major dietary patterns and risk of coronary heart disease in men. *The American journal of clinical nutrition*, 72: 912-921.
- ICCO (2020). Fine or Flavour Cocoa: Updated Review of Current Standards and Practices. International Cocoa Organization, London.
- ICCO (International Cocoa Organization) (2014). Quarterly bulletin of Cocoa statistics, vol, No. 4, Cocoa year 2012/2013 Abidjan, Côte d'Ivoire, 1 p
- ICCO (International Cocoa Organization) (2025). Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. LI, No.1, Cocoa year 2024/2025, Abidjan, Côte d'Ivoire, 1 p
- ingredients. In chocolate cake preparation. *Giência et Tecnologia de Alimentas*, 24 : 634-640.

- Ioannine F., Di Mattia C.D., De Gregorio M., Sergi M., Sérafini M., & Sacchetti G. (2015). Les flavanols, les proanthocyanidines et l'activité antioxydante changent pendant la torréfaction du cacao (*Theobroma cacao* L.) en fonction de la température et du temps de transformation. *Chimie Alimentaire* : 174 : 256-262.
- Ivanova P., Milne S., Byrne M., Xiang Y. & Brown H. (2007). Identification et quantification des glycérophospholipides par spectrométrie de masse à ionisation par électrospray. *Methods in Enzymology*, 432 : 21-57.
- Jalil A.M.M. & Ismail A. (2008). Polyphénols dans le cacao et les produits à base de cacao. *Molécules*, 13 : 2190-2219.
- Jang M.H., Mukherjee S., Choi M.J., Kang N.H., Pham H.G. & Yun J.W. (2020). La théobromine atténue l'obésité induite par l'alimentation chez la souris via l'inhibition de la phosphodiesterase4. *Revue Européenne de Nutrition*, 59 : 3503-3516.
- Jinap S., Dimick P.S. & Hollender R. (1995). Évaluation gustative de chocolat formulé à partir de fèves de cacao de différents pays. *Food Contrôle*, 6 : 105-110.
- Jinap S., Thien J.M. & Yap T.N. (1994). Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *Journal of Science Food and Agriculture*, 65: 67-75.
Journal of Clinical Nutrition, 60 : 997-1001.
Journal of Clinical Nutrition, 81 (1) : 223-229.
- Julio A.S.F. & Carmen D.B. (2003). Characterization of eutectic mixtures in different natural fat blends by thermal analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 105 : 742-748.
- Kadow D., Niemenak N., Rohn S. & Lieberei R. (2015). Incubation de type fermentation de graines de cacao (*Theobroma cacao* L.) Reconstruction et guidage du processus de fermentation. *LWT. Journal of Food Science and Technology*, 62 (1) : 357-361.
- Kant A.K., Graubard B.I. & Schatzkin A. (2004). Dietary patterns predict mortality in a national cohort: The National Health Interview Surveys, 1987 and 1992. *Journal of Nutrition*, 134 : 1793-1794.

- Karim J.C.K., Saki S.J., Sea T.B., Kra K.A.S. & Yoboue G.A.K.L. (2022). Etude des composés phénoliques couplés aux minéraux dans les fèves de cacao des variétés « Mercedes » et « Forastero » des régions de Divo et d'Abengourou (Côte d'Ivoire). *Revue Turque des Sciences et Technologies Agroalimentaires* : 10 (4) : 569-578.
- Kassin K.E., Koko L., N'goran K.E., Yao-Kouame A. & Yoro G.R. (2012). Sols favorables à la cacaoculture au centre-ouest de la Côte d'Ivoire dans un contexte d'assèchement climatique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 (3) : 1148-1157.
- Katz D.L., Doughty K. & Ali A. (2011). Le cacao et le chocolat dans la santé humaine et maladie. *Signalisation antioxydante et redox*, 15 : 2779-2811.
- Keeney P.G. (1972). Various interactions in chocolate flavor. *Journal of American Oil Chemist Society*, 49 (10): 567-572.
- Keys A., Menotti A., Karvonen M.J., Aravanis C., Blackburn H., Buzina R, Djordjevic B.S., Dontas A.S., Fidanza F., Keys M.H., Kromhout D., Nedeljkovic S., Punsar S., Seccareccia F. & Toshima H. (1986). The diet and 15-year death rate in seven countries study. *American Journal of Epidemiology*, 124: 903-915.
- Khan N., Khymenets O., Urpí-Sardà M., Tulipani S., Garcia-Aloy M., Monagas M., Mora-Cubillos X., Llorach R. & Andres-Lacueva C. (2014). Polyphénols de cacao et marqueurs inflammatoires des maladies cardiovasculaires. *Nutriments*, 6 : 844-880.
- Kochhar S., Gartenmann K. & Juillerat M.A. (2000). Structure primaire de l'albumine abondante des graines de *Theobroma cacao* par spectrométrie de masse. *Journal of*
- Koffi B.L., Ouattara G.H., Karou T.G., Guehi S.T., Nemlin J.N. & Diopoh J.K. (2013). Impacts de la fermentation du cacao sur la croissance de la flore microbienne et la qualité des fèves marchandes. *Agronomie Africaine*, 25 (2) : 159-170.
- Koko L. (2014). Teractiv cacao as a new fertilizer based reactive phosphate rock for cocoa in Côte d'Ivoire: A participatory approach to update fertilization recommendation. *Procedia Engineering*, 83: 348-353.
- Konan, K. A., Coulibaly, I., Kouassi, K. A., & Fauconnier, M. L. (2023). Evaluation de la qualité marchande, biochimique et organoleptiques des fèves de cacao (*Theobroma Cacao* L. 1753) issues des nouveaux supports de fermentation à soubre dans les régions

- du De La Nawa (Côte d'Ivoire). In *1er Congrès Universitaire du Cacao*. Harry Cover, Côte d'Ivoire.
- Kongor, J. E., Hinneh, M., Van de Walle, D., Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao* L.) bean flavour profile — A review. *Food Research International*, 82, 44–52.
- Kostinek M., Ban-Koffi L., Ottah-atikpo M., Teniola D., Schillinger U., Holzapfel W.H. & Franz C.M.A.P. (2008). Diversity of predominant lactic acid bacteria associated with cocoa fermentation in Nigeria. *Current Microbiology*, 56 : 306-314.
- Kouadio K.H. (2022). Impact de la fertilisation minérale sur l'activité biologique et le stock de
- Krähmer A., Engel A., Kadow D., Ali N., Umaharan P., Kroh LW & Schulz H. (2015). Détermination des paramètres de qualité biochimique du cacao par spectroscopie proche infrarouge. *Food Chemistry*, 181: 152-159.
- Kritchevsky D. (1994). Stearic acid metabolism and atherogenesis. *history. The American*
- Krysiak W. (2011). Effets de la torréfaction par convection et micro-ondes sur les propriétés physicochimiques des fèves de cacao et du beurre de cacao extraits de cette matière. *Gras et huiles*, 62 (4) : 467-478.
- Ksouri R., Megdiche W., Debez A., Falleh H., Grignon C. & Abdelly C. (2007). Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiology Biochemical*, 45: 244-249.
- Kuijter A.C.F. (1954). La crème glacée. Le Lait, INRA Editions, 34 (338) : pp 500-513.
- Kyi T.M., Daud W.R.W., Mohammad A.B., Samsudin, M.W., Kadhum A.A.H. & Talib M. Z.M. (2005). The kinetics of polyphenol degradation during the drying of Malaysian cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology*, 40 : 323-331.
- Lachenaud P. (1991). Facteurs De La Fructification Chez Le Cacaoyer (*Theobroma Cacao* L.) : Influence sur le Nombre De Graines Par Fruit. These de Doctorat, Institut National Agronomique, Paris, (France), 188 p.
- Lachenaud P., Oliver G., Bastide P. & Paulin D. (2006). Le remplissage des cabosses des cacaoyers spontanés de Guyane (*Theobroma cacao* L.). *Acta Botanica Gallica*, 153 (1) : 105-114.

- Lachenaud Ph. & G. Oliver, (2001). Variability in various agronomic traits of wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) from the Camopi and Tanpok basins (French Guiana). *Plant Genetic Resources Newsletter*, 128, 35-40.
- Läderach P., Martinez-Valle A., Schroth G. & Castro N. (2013). Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. *Climate Change*, 119: 841-854.
- Lagunes-Galvez S., Loiseau G., Paredes J.L., Barel M. & Guiraud J.P. (2007). Study on the microflora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic. *International Journal of Food Microbiology*, 114: 124-130.
- Laine M.D., Trebissou J. & Eec L.E.S. (2015). Evaluation du niveau de minéraux et d'oligo-éléments du cacao (*Theobroma Cacao* L) en Côte d'Ivoire. *Academia Journal of Agricultural Research*, 3 (11) : 321-326.
- Lairon D. (1997). Dietary fatty acids and arteriosclerosis. *Biomedicine & Pharmacotherapy*,
- Lanza C.M., Mazzaglia A. & Pagliarini E. (2011). Profil sensoriel d'un chocolat de spécialité sicilien. *Revue Italienne des Sciences Alimentaires*, 23 (1) : 36-44.
- Lenfant F., Hartmann C., Watzke B., Breton O., Loret C. & Martin N. (2013). Impact de la forme sur les propriétés sensorielles des morceaux individuels de chocolat noir. *LWT. Food Science and Technology*, 51 (2): 545-552.
- Lerceteau E., Robert T., Pétiard V. & Crouzillat D. (1997). Evaluation of the extent of genetic variability among *Theobroma cacao* accessions using RAPD and RFLP markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 95: 10-19.
- Liendo R., Padilla F.C. & Quintana A. (1997). Characterization of cocoa butter extracted from Criollo cultivars of *Theobroma cacao* L. *Food Research International*, 30 (9): 727-731.
- Lima L.J.R., Almeida M.H. & Nout M.J.R. (2011). *Theobroma cacao* L., « The Food of the Gods »: Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, avec une référence particulière à l'impact de la fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51 (8): 731-761.

- Lipp M. & Anklam E. (1998). Examen du beurre de cacao et des matières grasses alternatives destinées à être utilisées dans le chocolat – Partie A Données de composition. *Food Chemistry*, 62: 73-97.
- Lombardo S. Pandino G. & Mauromicale G. (2011). Nutritional and sensory characteristics of early potato cultivars under organic and conventional cultivation systems. *Food Chemistry*, 133: 124-954.
- Loor Solorzano R.G. (2007). Contribution à l'étude de la domestication de la variété native et de ses ancêtres sauvages. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier (France), 201 p.
- Loureiro G.A.H.A., Araujo Q.R., Sodr  G.A., Valle R.R., Souza J.O.J.E., Ramos M.L.S., Comerford N.B. & Grierson P.F. (2016). Cacao quality: Highlighting selected attributes, *Food Reviews International*, 33 (4): 382-405.
- M'bo K. A. A., Apshara S., Hebbar K. B. & Tahi G. M. (2015). Potential of antioxidant enzymes in depicting drought tolerance in cocoa genotypes at young age. *African Journal of Science and Research*, 4 (5):18-23.
- Mat S.A, Daud I.S.M., Rojie M.H.M., Hussain N. & Rukayadi Y. (2016). Effets de *Candida* sp. et *Blastobotrys* sp. Starter sur fermentation du cacao (*Theobroma cacao* L.) haricots et son activit  antibact rienne. *Journal de Microbiologie Pure et Appliqu e*, 10 : 2501-2510.
- Mazid M., Khan T.A. & Mohammad F. (2011). R le des m tabolites secondaires dans la d fense m canismes des plantes. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 3 (2): *Medicine*, 62: 459-460.
- Mensah J.K., Okoli R.I., Ohaju-Obodo J.O. & Eifediyi K. (2008). Phytochemical, nutritional and medical properties of some leafy vegetables consumed by Edo people of Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 7 (14): 2304-2309.
- Microbiology*, 114: 168-186.
- Misnawi J.S., Jamilah B. & Nazamid S. (2005). Changes in polyphenol ability to produce astringency during roasting of cocoa liquor. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85 (6): 917-924.

- Moreira I.M.D.V., De Figueiredo V.L., Santos C., Lima N. & Schwan R.F. (2018). Analyses des composés volatils et des profils protéiques des fèves de cacao fermentées et des chocolats de différents hybrides cultivés au Brésil. *Food Research International*, 109:
- Moscatto J.A., Prudêncio-Ferreira S.H. & Hauly M.C.O. (2004). Yacon meal and inulin as
- Mossu G. (1990). Le cacaoyer. Maisonneuve et Larose. Paris (France), 160 p.
- Motamayor J.C., Risterucci A.M., Lopez P.A., Ortiz C.F., Moreno A. & Lanaud C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89 (5) : 380-386.
- Motamayor JC, Risterucci AM, Heath M & Lanaud C. (2003). Cacao domestication II: Progenitor germplasm of the Trinitario cacao cultivar. *Heredity* 91: 322-330.
- Nazaruddin R, Ayub M.Y., Mamot S. & Heng Cheng H. (2001). HPLC Determination of Methylxanthines and Polyphenols Levels In Cocoa and Chocolate Products. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 7(2) : 377-386.
- Nesto B. (2010). Discovering terroir in the world of chocolate. *Gastronomica*, 10 (1) : 131-135.
- Niclsen D.S., Teniola O.D., Ban-Koffi L., Owusu M., Anderson T.S. & Holzapfel W. (2007). The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations analysed using culture-dependent and culture-independent methods. *International Journal of Food*
- Niemenak N., Evina E.J.V., Mouafi D.S.A., Ngouambe T.A.G., Bernhardt C., Lieberei R. & Bisping B. (2021). Assessment of the profile of free amino acids and reducing sugars of cacao beans from local Cameroonian Trinitario (SNK varieties) and Forastero (TIKO varieties) using fermentation-like incubation. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93 : 321-329.
- Niemenak N., Rohsius C., Elwers S., Ndoumou D.O. & Lieberei R. (2006). Comparative study of different cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones in terms of their phenolics and anthocyanins contents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19 (6-7) : 612-619.
- Nijveldt R.J., Nood E., Hoorn D.E., Boelens P.G., Norren K. & Leeuwen P. (2001). Flavonoids: A review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74: 418-425.

- Noor A.F. & Zhu F. (2022). Composition of methylxanthines, polyphenols, key odorant volatiles and minerals in 22 cocoa beans obtained from different geographic origins. *LWT*, 153 : 112-395..of *Clinical Nutrition*, 98: 160-173.
- Ogunwolu, S. O., Olawore, N. O., & Oloyede, O. O. (2018). Traditional basket fermentation method of Nigerian cocoa beans and its influence on quality attributes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(8), e13652.
- Oracz J., Zyzelewicz D. & Ewa Nebesny E. (2015). The Content of Polyphenolic Compounds in Cocoa Beans (*Theobroma cacao* L.), depending on Variety, Growing Region, and Processing Operations: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55: 1176-1192.
- Oracz M.J., Zyzelewicz D. & Nebesny E. (2013).The content of polyphenolic compound in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.), depending on variety, growing region and processing operations: a review. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 55: 1176-1192.
- Oro Z.F. (2011). Analyse des dynamiques spatiales et épidémiologie moléculaire de la maladie du swollen shoot du cacaoyer au Togo. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier SupAgro, Montpellier (France), 262 p.
- Ortega N., Jordi R., Romero M.P., Macià A., Reguant J.N. & Morello J.R. (2008). Obtention et caractérisation d'extraits phénoliques provenant de différentes sources de cacao. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* : 56 (20) : 9621-9627
- Ortega N., Jordi R., Maria-Paz R., Alba M. & Motilva M. (2009). Effet de la teneur en matières grasses sur la digestibilité et la bioaccessibilité du polyphénol de cacao par un modèle de digestion in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*: 57 (13) : 5743-5749.
- Ostovar K. & Keeney P.G. (1973). Isolation and characterization of microorganism involved in the fermentation of Trinidad cocoa beans. *Journal of Food Science*, 38 (4) : 611-617.
- Othman A., Ismail A., Ghani N.A. & Adenan I. (2007). Capacité antioxydante et teneur phénolique des fèves de cacao. *Chimie alimentaire*, 100 (4) : 1523-1530.
- Othman A., Jalil A.M., Ismail A., Ghani N.A. & Adenan I. (2010). Contenu en épicatechine et la capacité antioxydante des fèves de cacao de quatre pays différents. *African Journal Biotechnologie*, 9 (7) : 1052-1059.

- Ouattara I.I.G., Reverchon S., Niarnkc S.L. & Nasser W. (2010). Biochemical Properties of Pcctate Lyascs Produced by Threc Différent *Bacillus* Strains Isolated from Fcrrnenting Cocoa Beans and Characterization of Their Cloned Genes. *Applied and Environmental Microbiology*, 76: 5214-5220.
- Owusu-Boateng, G., & Owusu, S. K. (2015). Methods of cocoa harvesting to drying of bean in Ghana and polycyclic aromatic hydrocarbon concentration in the nib and shell of the cocoa bean. *Academia Journal of Agricultural Research*, 3, 9, 176-183.
- P. & Zoro I.A. (2021). Sélection de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) présentant un bon grainage
- Papalexandratou Z., Camu N., Falony G. & De Vuyst L. (2011a). Comparison of the bacterial species diversity of spontaneous cocoa bean fermentations carried out at selected farms in Ivory Coast and Brazil. *Food Microbiology*, 28 (5) : 964-973.
- Parra A. & Fischer G. (2013). Maduration et comportement de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Une révision. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7 (1) : 98-110.
- Patterson K.J. (1990). Effets de la pollinisation sur la nouaison, la taille et la qualité des fruits du feijoa (*Acca sellowiana* (Berg) Burret). *Revue Néo-zélandaise des Sciences des Cultures et de Horticulture*, 18 (2-3) : 127-131.
- Pédan V., Fischer N. & Rohn S. (2015). Un NP Méthode HPLCDPPH pour la détermination de l'activité antioxydante des polyphénols condensés du cacao. *Food Research International*, 89: 890-900.
- Pereira G.V.M., Miguel M.G., Ramos C.L. & Schwan R.F. (2012). Caractérisation microbiologique et physicochimique des fermentations de cacao à petite échelle et criblage de souches de levures et de bactéries pour développer une culture de démarrage définie. *Applied and Environmental Microbiology*, 78 (15) : 5395- 405.
- Physics*, 2 (3) : 158-164.
- Plaza M., Oliveira D., Nilsson A. & Turner C. (2017). Méthode d'extraction verte et efficace pour déterminer les polyphénols dans le cacao et les produits à base de cacao. *Food Analytical Methods*, 10 : 2677-2691.

-
- Pontillon J, 1998. Cacao et chocolat production, utilisation, caractéristiques. *Collection sciences et techniques agroalimentaires ed tec et doc / Lavoisier*. Paris. 638p
- Portillo E., Graziani de Fariñas L. & Cros E. (2006). Effect of some factors post-harvest on the sensory quality of the Criollo cocoa porcelana (*Theobroma cacao* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23 : 48-55.
- Pound F.J. (1938). Cacao and Witches' broom disease (*Marasmius perniciosus*) of South America, with notes on other species of *Theobroma*. Yuille's Printerie, Port of Spain, Trinidad and Tobago, 9-49. *Archives of Cocoa Research*, 1: 21-64.
- Pound F.J. (1945). A note about the cacao populations of South America. Report and Proceedings Cocoa Research Conference, London. Colonial 192: 95-7. *Archives of Cocoa Research*, 1: 93-97.
- Prior R.L & Gu L. (2005). Présence et signification biologique des proanthocyanidines dans le régime américain. *Phytochimie*, 66 : 2264-2280. Products Spectrophotometric Method. In Official Methods of Analysis of AOAC International, 21st Edition. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- Ramos C.L., Dias D.R., Miguel M.G.D.C.P. & Schwan R.F. (2014). Impact de différents hybrides de cacao (*Theobroma cacao* L.) et de l'inoculation de *S. cerevisiae* UFLA CA11 sur les communautés microbiennes et les composés volatils de la fermentation du cacao. *Food Research International*, 64: 908-918.
- Redgwell R.J., Trovato V., Merinat S., Curti D., Hediger S. & Manez A. (2003). Dietary fibre in cocoa shell: characterisation of component polysaccharides. *Food Chemistry*, 81 :
- Reineccius G.A., Andersen D.A., Kavanagh E.T. & Keeney P.G. (1972). Identification and quantification of the free sugars in cocoa beans. *Journal of Agricultural and Food Research (COPAL)*, Yaounde (Cameroon), 17 p.
- Rimbach G., Melchin M., Moehring J. & Wagner A.E. (2009). Polyphenols from Cocoa and Vascular Health-A Critical Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 10 :

- Rombe Y.P., Simanjuntak I.O., Noor A. & Nafie N.L. (2019). Comparison of micronutrients content (Fe, Cu, Mn) in cacao beans from plantation area and transmigration area in East Luwu. *Journal of Physics*: 1341 (3): 32-43.
- Rössner S. (1997). "Chocolate – divine food, fattening junk or nutritious supplementation?" *European Journal of Clinical Nutrition*, 51 (6): 341-345.
- Rottiers H., Tzompa Sosa D.A., De Winne A., Ruales J., De Clippeleer J., De Leersnyder I. & Dewettinck K. (2019). Dynamics of volatile compounds and flavor precursors during spontaneous fermentation of fine flavor Trinitario cocoa beans. *European Food Research and Technology*, 245 (9) : 1917-1937.
- Rusconi M. & Conti A. (2010). *Theobroma cacao* L., la nourriture des dieux : une approche scientifique au-delà des mythes et réclamations. *Pharmacological Research*, 61 : 5-13.
- Saïd M.B., Jayawardena M.P.G.S., Samarakoddy R.j. & Pcrera W.T. (1990). Preconditioning of fresh cocoa beans prior to fermentation to improve quality: a commercial approach. *Planter*, 66 : 332-345.
- Santander M., Rodríguez C.M., Vaillant J. & Parra E.S. (2020). Aperçu de la transformation physique et biochimique des graines de cacao en fèves et en chocolat : formation des arômes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60: 1593-1613.
- Schinella G., Mosca S., Cienfuegos J.E., Pasamar M.A., Muguerza B., Ramon D. & Rios J.L. (2010). Propriétés antioxydantes des produits à base de cacao riches en polyphénols transformés industriellement. *Food Research International*, 43: 1614-1623.
- Schwan R.F. & Board R. (1995) Fermentation microbienne des fèves de cacao, en mettant l'accent sur la dégradation enzymatique de la pulpe. *Bactériologie appliquée*, 79 : 96-107.
- Schwan R.F. & Wheals A.E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44: 205-221.
- Serra B.J. & Ventura Coll F. (2002). Facteurs affectant la formation d'alkylpyrazines pendant le traitement de torréfaction dans la poudre de cacao naturelle et alcalinisée. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (13) : 3743-3750.

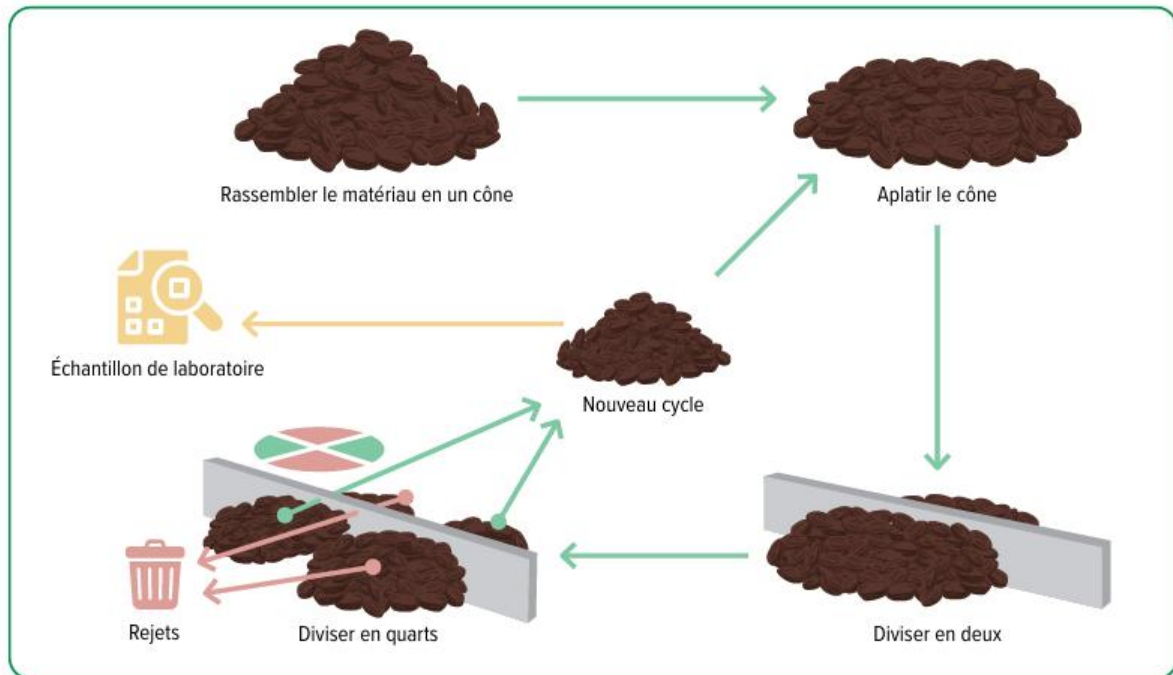
- ses ancêtres sauvages. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier (France); 201 pages.
- Shimada K., Fujikawa K., Yahara K. & Nakamura T. (1992). Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40 : 945-948.
- Siri-Tarino P., Sun Q. & Krauss R. (2010). Méta-analyse d'études de cohortes prospectives évaluant l'association des graisses saturées avec les maladies cardiovasculaires. *Journal américain de nutrition clinique*, 91 : 535-546.
- Soetan K.O., Olaiya C.O. & Oyewole O.E. (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animal and plants: a review. *African Journal of Food Science*, 4 :
- Soria J.V. (1996). Principales variedades cultivadas en América tropical. *Notas técnicas*, 16 : 261-266.
- Sotelo A. & Alvarez R.G. (1991). Chemical composition of wild *Theobroma* species and their comparison to the cacao bean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39: (11) 1940-1943.
- Spencer M.E. & Hodge R. (1992). Clonage et séquençage d'un ADNc codant les principales protéines de stockage de *Theobroma cacao*. *Planta*, 186 : 567-576.
- Stark T., Bareuther S. & Hofmann T. (2006). Définition moléculaire du goût de grué de cacao torréfié (*Theobroma cacao* L) au moyen d'études quantitatives et d'expériences sensorielles. *Journal de Chimie Agricole et Alimentaire*, 54 : 5530-5539.
- Steinberg F.M., bearden M.M. & Keen, I.C. (2003). Cocoa and chocolate flavonoids: implications for cardiovascular health. *Journal of the Academy of Nutrition and*
- Stone, H., & Sidel, J. L. (2004). Sensory Evaluation Practices (3rd ed.). London, United Kingdom: *Elsevier Academic Press*. ISBN: 978-0-12-672690-9, 408 p.
- Subramaniam S., Fahy E., Gupta S., Manish S., Byrnes R. & Cotter D., Dinasarapu A. & Maurya M (2011). Bioinformatique et biologie des systèmes du lipidome. *Chemical Reviews*, 111 (10) : 6452-6490,

- Sukha A.D., Umaharan P. & Butler D.R. (2017). The Impact of Pollen Donor on Flavor in Cocoa. *American Society for Horticultural Science*, 142 (1): 13-19.
- Sukha D.A., Butler D.R., Commissiong E.A. & Umaharan P. (2014). L'impact du lieu de transformation et de l'environnement de culture sur la saveur du cacao (*Theobroma cacao* L.) Implications pour le terroir et la certification Etude du lieu de transformation. *Acta Horticulturae*, 1047 : 255-262.
- Summa C., Raposo F.C., Court M.J., Scalzo R.L., Wagner K.H., Elmadfa I., Anklam E.E. (2006). Ect of roasting on the radical scavenging activity of cocoa beans. *European*
- Tahi G. M., Trébissou I. C., Guiraud S. B., Ribeyre F., Lachenaud Ph., Pokou N. D., N'Guessan K. F., Walet P. N., Aka A. R., Coulibaly K, Kébé B. I., Assi E. M., Koné B., Kassin K. E., & Cilas C (2017). Sond cycle de sélection réccurente du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire : paramètres génétiques chez les deux populations constitutives après treize années d'observation, In : Proc, International Symposium on Cocoa Research (ISCR), 12-18 Octobre 2017 (Lima, Peru) ,1-12.
- Tahi G.M., Guiraud B.S., Kassin K.E., Kouame B., Ehounou J.N., Kouakou H. (2019). Une approche intégrée pour améliorer l'efficacité et la resilience des cacaoyers au changement climatique pour une meilleure utilization des ressources génétiques du cacao en Côte d'Ivoire: première phase. Rapport Technique de fin de projet Bioversity en Côte d'Ivoire, 34 p.
- Théry V. (1995). La qualité pour un producteur de poudre. In: actes du séminaire rencontres cacao, les différents aspects de la qualité. *CIRAD*. Thèse de Doctorat, Université de la
- Tholstrup T., Marckmann P., Jespersen J. & Sandstrom B. (1994). Fat high in stearic acid favourably affects bloodlipids and factor VII coagulant activity in comparison with fats high in palmitic acid or high in myristic and lauric acids. *The American Journal of*
- Timbie D.J. & Keeney P.G. (1977). Extraction, fractionation, and amino acid composition of Brazilian comun cacao proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25:(2) 424-426.

- Timbie D.J., Sechrist L. & Keeney P.G. (1978). Application of high-pressure liquid chromatography to the study of variables affecting theobromine and caffeine concentrations in cocoa beans. *Journal of Food Science*, 43 : 560-565.
- Tixier C. (2013). De l'arbre à cacao au chocolat : voyage à la source des arômes et des saveurs. *Phytothérapie* 11 : 79-84.
- Tsang C., Hodgson L., Bussu A., Farhat G. & Al-Dujaili E. (2019). Effet du chocolat noir riche en polyphénols sur Cortisol salivaire et humeur chez les adultes. *Antioxydants*, 8 : 149.
- USDA (2011). National Nutrient Database for Standard Reference, 23,
- USDA (2018). National Nutrient Database for Standard Reference,
- Vogel M. (1978). Existence d'un gradient morphogène au niveau des bourgeons végétatifs supérieurs des axes orthotropes chez le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). Apparition de la plagiotropie. *Café Cacao Thé*, 22 (1) : 13-30.
- Voigt J., Biehl B. & Kamaruddin S. (1993). Les principales protéines des graines de *Theobroma cacao* L. *Food Chemistry*, 47 : 145-151.
- Voigt J., Biehl B., Heinrichs H., Kamaruddin S., Marsoner G.G. & Hugl A. (1994). In vitro formation of cocoa-specific aroma precursors: aroma-related peptides generated from cocoa-seed protein by co-operation of an aspartic endoprotease and a carboxypeptidase. *Food Chemistry*, 49 : 173-180.
- Wollgast J. & Anklam E. (2000). Polyphenols in chocolate: Is there a contribution to human health? *Food Research International*, 33 (6) : 449-459.
- Wood, G. A. R., & Lass, R. A. (2001). Cocoa. 4^e éd. Oxford: Blackwell Science, 620 p.
- Zak D.L. & Keeney P.G. (1976). Extraction and fractionation of cocoa proteins as applied to several varieties of cocoa beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 24 : 479-
- Zak D.L., Ostovar K. & Keeney P.G. (1973). Implication of *Bacillus subtilis* in the synthesis of tetramethyl-pyrazine during fermentation of cocoa beans. *Journal of Food Science*, 37: 967-968.
- Zambrano A., Gómez Á., Ramos G., Romero C., Lacruz C. & Rivas E. (2010). Caractérisation des paramètres physiques de qualité des amandes de cacao Criollo,

- Trinitario et Forastero pendant le processus de séchage. *Agronomie tropicale*, 60 (4) : 389-396.
- Zuidema P.A., Leffelaar P.A., Gerritsma W., Mommer L. & Anten N.P.R. (2005). A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, 84: 195-225.
- Zyzelewicz D., Budryn G., Krysiak W., Oracz J., Nebesny E., Bojczuk M., Dorota Z., Oracz J. & Nebesny E. (2014). Influence des conditions de torréfaction sur les acides gras composition et changements oxydatifs du beurre de cacao extrait de fève de cacao de la variété Forastero cultivée au Togo. *Food Research International*, 63 : 328-343.
- Zyzelewicz D., Krysiak W., Oracz J., Sosnowska, D., Budryn, G. & Nebesny E. (2016). L'influence des conditions du processus de torréfaction sur la teneur en polyphénols des fèves de cacao, des éclats et des chocolats. *Food Research International*, 89 : 918-

ANNEXES

Annexe 1. Diagramme du processus de division en quarts (Harvey, 2013).

Annexe 2. Ajustements de la température de torréfaction (°C) et de la durée (minutes) en fonction de la teneur en eau (%) et de la taille des fèves de cacao (nombre de fèves par 100g ou poids moyen des fèves)(Comité technique « Cacao d'Excellence », 2019).

Pour un taux d'humidité compris entre 5,5 et 7,3 %

Température (°C) Temps (min)		TAUX D'HUMIDITÉ DES FÈVES (%)																				
		5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2			7,3
NOMBRE DE FÈVES POUR 100 g	50	-4 0	-4 +1	-4 +1	-4 +1	-4 +2	-4 +2	-4 +2	-4 +3	-4 +3	-4 +3	-4 +4	-4 +4	-4 +4	-4 +5	-4 +5	-4 +5	-4 +6	-4 +6	-4 +6	2,00	POIDS MOYEN DES FÈVES (g)
	55	-4 -1	-4 0	-4 0	-4 0	-4 +1	-4 +1	-4 +1	-4 +2	-4 +2	-4 +2	-4 +3	-4 +3	-4 +3	-4 +4	-4 +4	-4 +4	-4 +5	-4 +5	-4 +5	1,82	
	60	-3 -1	-3 -1	-3 -1	-3 0	-3 0	-3 0	-3 +1	-3 +1	-3 +1	-3 +2	-3 +2	-3 +2	-3 +3	-3 +3	-3 +3	-3 +4	-3 +4	-3 +4	-3 +5	1,67	
	65	-3 -2	-3 -2	-3 -1	-3 -1	-3 -1	-3 0	-3 0	-3 0	-3 +1	-3 +1	-3 +1	-3 +2	-3 +2	-3 +2	-3 +3	-3 +3	-3 +3	-3 +4	-3 +4	1,54	
	70	-2 -3	-2 -2	-2 -2	-2 -2	-2 -1	-2 -1	-2 -1	-2 0	-2 0	-2 0	-2 +1	-2 +1	-2 +1	-2 +2	-2 +2	-2 +2	-2 +3	-2 +3	-2 +3	1,43	
	75	-2 -3	-2 -3	-2 -3	-2 -2	-2 -2	-2 -2	-2 -1	-2 -1	-2 -1	-2 0	-2 0	-2 0	-2 +1	-2 +1	-2 +1	-2 +2	-2 +2	-2 +2	-2 +3	1,33	
	80	-2 -4	-2 -4	-2 -3	-2 -3	-2 -3	-2 -2	-2 -2	-2 -2	-2 -1	-2 -1	-2 -1	-2 0	-2 0	-2 0	-2 +1	-2 +1	-2 +1	-2 +2	-2 +2	1,25	
	85	-1 -5	-1 -4	-1 -4	-1 -4	-1 -3	-1 -3	-1 -3	-1 -2	-1 -2	-1 -2	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-1 0	-1 0	-1 0	-1 +1	-1 +1	-1 +1	1,18	
	90	-1 -6	-1 -5	-1 -5	-1 -5	-1 -4	-1 -4	-1 -4	-1 -3	-1 -3	-1 -3	-1 -2	-1 -2	-1 -2	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-1 0	-1 0	-1 0	1,11	
	95	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0 -2	0 -1	0 -1	0 -1	1,05	
	100	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0 -1	1,00	
	105	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0,95	
	110	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0,91	
	115	0 -9	0 -9	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0,87	
	120	0 -10	0 -9	0 -9	0 -9	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0,83	
	125	0 -11	0 -10	0 -10	0 -10	0 -9	0 -9	0 -9	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0,80	
	130	0 -11	0 -11	0 -11	0 -10	0 -10	0 -10	0 -9	0 -9	0 -9	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0,77	
135	0 -12	0 -12	0 -11	0 -11	0 -11	0 -10	0 -10	0 -10	0 -9	0 -9	0 -9	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0,74		
140	0 -13	0 -12	0 -12	0 -12	0 -11	0 -11	0 -11	0 -10	0 -10	0 -10	0 -9	0 -9	0 -9	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0,71		
145	0 -13	0 -13	0 -13	0 -12	0 -12	0 -12	0 -11	0 -11	0 -11	0 -10	0 -10	0 -10	0 -9	0 -9	0 -9	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0,69		
150	0 -14	0 -14	0 -13	0 -13	0 -13	0 -12	0 -12	0 -12	0 -11	0 -11	0 -11	0 -10	0 -10	0 -10	0 -9	0 -9	0 -9	0 -8	0 -8	0,67		
155	0 -15	0 -15	0 -14	0 -14	0 -14	0 -13	0 -13	0 -13	0 -12	0 -12	0 -12	0 -11	0 -11	0 -11	0 -10	0 -10	0 -10	0 -9	0 -9	0,65		
160	0 -16	0 -15	0 -15	0 -15	0 -14	0 -14	0 -14	0 -13	0 -13	0 -13	0 -12	0 -12	0 -12	0 -11	0 -11	0 -11	0 -10	0 -10	0 -10	0,63		

Annexe 2 (suite).

Tableau pour un taux d'humidité compris entre 7,4 et 9,2 %

Température (°C)		TAUX D'HUMIDITÉ DES FÈVES (%)																		
		7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9,0	9,1	
Temps (min)	50	-4 +7	-4 +7	-4 +7	-4 +8	-4 +8	-4 +8	-4 +9	-4 +9	-4 +9	-4 +10	-4 +10	-4 +10	-4 +11	-4 +11	-4 +11	-4 +12	-4 +12	-4 +12	2,00
	55	-4 +6	-4 +6	-4 +6	-4 +7	-4 +7	-4 +7	-4 +8	-4 +8	-4 +8	-4 +9	-4 +9	-4 +9	-4 +10	-4 +10	-4 +10	-4 +11	-4 +11	-4 +11	1,82
	60	-3 +5	-3 +5	-3 +6	-3 +6	-3 +6	-3 +7	-3 +7	-3 +7	-3 +8	-3 +8	-3 +8	-3 +9	-3 +9	-3 +9	-3 +10	-3 +10	-3 +10	-3 +11	1,67
	65	-3 +4	-3 +5	-3 +5	-3 +5	-3 +6	-3 +6	-3 +6	-3 +7	-3 +7	-3 +7	-3 +8	-3 +8	-3 +8	-3 +9	-3 +9	-3 +9	-3 +10	-3 +10	1,54
	70	-2 +4	-2 +4	-2 +4	-2 +5	-2 +5	-2 +5	-2 +6	-2 +6	-2 +6	-2 +7	-2 +7	-2 +7	-2 +8	-2 +8	-2 +8	-2 +9	-2 +9	-2 +9	1,43
	75	-2 +3	-2 +3	-2 +4	-2 +4	-2 +4	-2 +5	-2 +5	-2 +5	-2 +6	-2 +6	-2 +6	-2 +7	-2 +7	-2 +7	-2 +8	-2 +8	-2 +8	-2 +9	1,33
	80	-2 +2	-2 +3	-2 +3	-2 +3	-2 +4	-2 +4	-2 +4	-2 +5	-2 +5	-2 +5	-2 +6	-2 +6	-2 +6	-2 +7	-2 +7	-2 +7	-2 +8	-2 +8	1,25
	85	-1 +2	-1 +2	-1 +2	-1 +3	-1 +3	-1 +3	-1 +4	-1 +4	-1 +4	-1 +5	-1 +5	-1 +5	-1 +6	-1 +6	-1 +6	-1 +7	-1 +7	-1 +7	1,18
	90	-1 +1	-1 +1	-1 +1	-1 +2	-1 +2	-1 +2	-1 +3	-1 +3	-1 +3	-1 +4	-1 +4	-1 +4	-1 +5	-1 +5	-1 +5	-1 +6	-1 +6	-1 +6	1,11
	95	0 0	0 0	0 +1	0 +1	0 +1	0 +2	0 +2	0 +2	0 +3	0 +3	0 +3	0 +4	0 +4	0 +4	0 +5	0 +5	0 +5	0 +6	1,05
	100	0 -1	0 0	0 0	0 0	0 +1	0 +1	0 +1	0 +2	0 +2	0 +2	0 +3	0 +3	0 +3	0 +4	0 +4	0 +4	0 +5	0 +5	1,00
	105	0 -1	0 -1	0 -1	0 0	0 0	0 0	0 +1	0 +1	0 +1	0 +2	0 +2	0 +2	0 +3	0 +3	0 +3	0 +4	0 +4	0 +4	0,95
	110	0 -2	0 -2	0 -1	0 -1	0 -1	0 0	0 0	0 0	0 +1	0 +1	0 +1	0 +2	0 +2	0 +2	0 +3	0 +3	0 +3	0 +4	0,91
	115	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0 -1	0 -1	0 -1	0 0	0 0	0 0	0 +1	0 +1	0 +1	0 +2	0 +2	0 +2	0 +3	0 +3	0,87
	120	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0 -1	0 -1	0 -1	0 0	0 0	0 0	0 +1	0 +1	0 +1	0 +2	0 +2	0 +2	0,83
	125	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0 -1	0 -1	0 -1	0 0	0 0	0 0	0 +1	0 +1	0 +1	0,80
	130	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0 -1	0 -1	0 -1	0 0	0 0	0 0	0 +1	0,77
	135	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0 -1	0 -1	0 -1	0 0	0 0	0,74
	140	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0 -1	0 -1	0 -1	0,71
	145	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0 -2	0 -1	0,69
	150	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0 -3	0 -2	0 -2	0,67
	155	0 -9	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0 -3	0 -3	0,65
	160	0 -9	0 -9	0 -9	0 -8	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6	0 -6	0 -5	0 -5	0 -5	0 -4	0 -4	0 -4	0,63
POIDS MOYEN DES FÈVES (g)																				

Annexe 3 : Formulaire d'évaluation sensorielle Cacao d'Excellence (Cacao d'Excellence 2024).

Cacao d'Excellence

Formulaire d'Évaluation Sensorielle pour
la Masse de cacao et le Chocolat

Évaluateur _____ Date _____
Échantillon ID _____ Temps _____
Info sur l'échantillon _____

Masse de cacao ☐ Chocolat ☐

Instructions : Insérez les valeurs d'intensité
de chaque attribut dans les ☐ et marquez
d'un ☒ les sous-attributs perçus.

Échelle d'intensité

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
← Moins intense Plus intense →

Le diagramme circulaire est divisé en 5 sections principales, chacune avec des sous-attributs à évaluer sur une échelle de 0 à 10 :

- 1. Défauts / Saveurs désagréables** : Astringence, Amertume, Cacao, Torréfaction, Poudre / Poussière, Rancissement / Fumier, Putride / Fumier, Autre hors saveur, Description.
- 2. Sucré** : Sucré, Caramel / Panela, Xion, Boisé, Floral, Fruit brun, Fruit frais.
- 3. Épicé** : Épicé, Tabac, Salé / Umami, Noix, Chair de noix, Peaux de noix, Caramel / panela, Sucré (uniquement pour le chocolat), Degré de torréfaction.
- 4. Fruit brun** : Fruit brun, Baie, Agrume, Sombre, Jaune / Orange / Chair blanche, Tropical, Fruit brun, Sec, Brun, Trop mûr.
- 5. Fruit frais** : Fruit frais, Baie, Agrume, Sombre, Jaune / Orange / Chair blanche, Tropical, Fruit brun, Sec, Brun, Trop mûr.

☐ Cacao

☐ Acidité

☐ Fruit ☐ Acétique ☐ Lactique

☐ Minéral / Butyrique

☐ Amertume

☐ Astringence

☐ Fruit Frais

☐ Baie ☐ Agrume ☐ Sombre

☐ Jaune / Orange / Chair blanche

☐ Tropical

☐ Fruit Brun

☐ Sec ☐ Brun ☐ Trop mûr

☐ Végétal

☐ Herbeux / Vert végétal / Herbacé

☐ Terreux / Champignon / Mousse / Boisé

☐ Floral

☐ Fleur d'oranger ☐ Fleurs

☐ Boisé

☐ Clair ☐ Sombre ☐ Résine

☐ Épicé

☐ Épicé ☐ Tabac

☐ Salé / Umami

☐ Noix

☐ Chair de noix ☐ Peaux de noix

☐ Caramel / panela

☐ Sucré (uniquement pour le chocolat)

☐ Degré de torréfaction

Graphique
des Saveurs

Le graphique des saveurs est un diagramme circulaire qui résume les données de l'évaluation. Il est divisé en deux sections principales :

- Attributs Principaux** (en rouge) : Cacao, Acidité, Amertume, Astringence, Fruit brun, Fruit frais.
- Attributs Complémentaires** (en orange) : Sucré, Caramel / Panela, Xion, Boisé, Floral, Fruit brun, Fruit frais.

La formation d'évaluation sensorielle Cacao d'Excellence est sous la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International (CC BY-NC 4.0).
Pour voir une copie de cette licence, consultez <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

Annexe 4 : Matériels ayant servi aux analyses physico-chimiques

Matériel de laboratoire	Utilité
	Spectromètre : A servi à la lecture de la densité optique DO
	Four : A servi à réduit les fèves de cacao en cendre
	Soxlet : Permet d'obtenir la matière grasse
	Balance de précision : A servi à mesurer la masse de la poudre de cacao

Annexe 5 (suite). Matériels ayant servi aux analyses physico-chimiques

Matériel de laboratoire	Utilité
	Etuve : A servi à la conservation des solutions pour analyse
	Vortex : A servi à mélanger manuellement les solutions de la poudre des différentes variétés (clones et familles d'hybrides) de cacao
	pH-mètre : A servi à la détermination du pH des fèves de Cacao
	Centrifugeuse : A servi à mélanger les solution

PUBLICATIONS

Publication 1 : Attiapo Pépin ASSI, Gnion MathiasTAHI, Honorine Brigitte GUIRAUD, Patricia N'GORAN, Klotioloma COULIBALY, Walet Pierre N'GUESSAN, Stanislas Tchréwa. KOUAME, Firmin GOURE BI, Sandrine Okayo. MINAKOU, Aidara SEKOU& Masse DIOMANDE (2024). Evaluation multi locale de familles d'hybrides de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) pour le remplissage des cabosses et le grainage en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 202 : 21536–21544 ISSN 1997-5902. November 2024. <https://doi.org/10.35759/JABs.202.10>.



Evaluation multi locale de familles d'hybrides de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) pour le remplissage des cabosses et le grainage en Côte d'Ivoire.

Attiaipo Pépin ASSI^{1, 2&3*}, Gnion MathiasTAHI², Honorine Brigitte GUIRAUD², Patricia N'GORAN³, Klotioloma COULIBALY², Walet Pierre N'GUESSAN², Stanislas Tchréwa. KOUAME^{1&2}, Firmin GOURE BI^{1&2}, Sandrine Okayo. MINAKOU^{1&2}, Aidara SEKOU² & Masse DIOMANDE¹.

¹ Unité de Formation et de Recherche en Agroforesterie, BP 150 Daloa, Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

² Centre National de Recherche Agronomique, Station de Recherche de Divo, BP 808, Tel : (225) 32 76 08 35, Côte d'Ivoire.

³ Centre National de Recherche Agronomique, Station de Recherche de Bingerville, BP 808, Tel : (225) 32 76 08 35, Côte d'Ivoire.

*Auteur pour correspondance : e-mail : attiapopepin@gmail.com

Submission 3rd October 2024. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 30th November 2024. <https://doi.org/10.35759/JABs.202.10>

RÉSUMÉ

Objectif : Cette étude vise à identifier des familles d'hybrides de cacaoyers présentant un bon remplissage de cabosses et un bon grainage dans différentes zones agro écologiques de la Côte d'Ivoire.

Méthodologie et Résultats : Quatre familles d'hybrides de cacaoyers ont été évaluées au champ à Soubré, Divo et Bouaflé pour le nombre de fèves fraîches par cabosse, le poids de fèves fraîches par cabosse et le poids d'une fève de cacao marchand par famille. Les résultats indiquent que la famille F41 (GU 139 A x (E4/3-2 X C2/1-1)) a présenté le meilleur remplissage de cabosse avec respectivement 47,46 et 45,47 fèves par cabosse dans les localités de Soubré et Bouaflé. La famille F26 (UPA 409 x POR) a présenté les fèves sèches les plus lourdes à la fois dans les trois localités (Soubré, Divo et Bouaflé) avec respectivement 1,71 g, 1,69 g et 1,40 g par fève sèche.

Conclusion et application des résultats : Il ressort de cette étude que les familles F41 et F26 ont été remarquables pour leur bon remplissage des cabosses et grainage. Ces résultats prometteurs constituent un indicateur pour le sélectionneur d'une part, dans la recherche à l'intérieur des familles, de génotypes présentant un bon niveau de remplissage et un excellent grainage et d'autre part, pour la diffusion de familles d'hybrides présentant ces caractères.

Mots clés. Evaluation, multi locale, cacaoyer, grainage, Côte d'Ivoire

ABSTRACT

Objective. The aim of this study is to identify families of cocoa hybrids with good pod filling and seed set in different agro-ecological zones of Côte d'Ivoire.

Methodology and Results. Four families of cocoa hybrids were evaluated in the field at Soubré, Divo and Bouaflé for the number of fresh beans per pod, the weight of fresh beans per pod and the weight of a merchantable cocoa bean per family. The results show that family F41 (GU 139 A x (E4/3-2 X C2/1-1)) had the best pod filling, with 47.46 and 45.47 beans per pod respectively in Soubré and Bouaflé. Family F26 (UPA 409 x POR) had the heaviest dry beans in all three localities (Soubré, Divo and Bouaflé), with 1.71 g, 1.69 g and 1.40 g per dry bean respectively.

Conclusion and application of the results. The study showed that the F41 and F26 families stood out for their good pod filling and graining. These promising results are an indicator for the breeder, on the one hand, in the search within families for genotypes with good filling and excellent graining, and on the other, in the distribution of hybrid families with these traits.

Keywords. Evaluation, multilocal, cocoa tree, graining, Ivory Coast.

INTRODUCTION

Le cacaoyer est une plante pérenne tropicale cultivée essentiellement pour ses fèves qui servent à la fabrication du chocolat, de produits cosmétiques et pharmaceutiques. Le secteur du cacao contribue à hauteur de 15 % du produit intérieur brute (PIB) et 44 % des recettes d'exportations. Il représente une importante source de devises et d'emplois pour plus de 60 % de la population active (ICCO, 2014). Depuis quelques années, la cacaoculture est confrontée aux effets du changement climatique matérialisés par de faibles pluviométries et de longues périodes sèches.

En effet, des zones naguères productrices de cacao sont devenues marginales, en raison du déficit hydrique prononcé. Des travaux de certains auteurs ont permis de mettre en évidence le comportement au champ des cacaoyers en zones de faibles pluviométries et les paramètres permettant de les discriminer (Tahi et al., 2019 ; Minakou et al., 2022). Cette étude vise à identifier au champ les familles d'hybrides de cacaoyers présentant un bon remplissage de cabosses et un bon grainage dans trois zones agro écologiques incluant une zone à pluviométrie déficitaire.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sites d'étude : Les travaux ont été réalisés dans trois sites dont deux (Stations de recherche du CNRA de Divo et Soubré) à pluviométrie normale et un (Bouaflé) à pluviométrie déficitaire. La Station de recherche du CNRA de Divo s'étend sur une superficie de 3570 ha et se trouve en zone forestière. Cette zone se caractérise par deux saisons pluvieuses (avril-juillet et octobre-novembre) et deux saisons sèches (décembre-mars et août-septembre). La station de Divo enregistre en moyenne environ 1200 mm de pluie par an avec une hygrométrie élevée. Les sols sur cette station sont profonds, bruns foncés, argilo-sableux ou humifères. Le

domaine de la station du CNRA de Soubré est estimé à environ 2000 ha pour 1000 ha exploités. La station se situe en zone forestière avec deux saisons pluvieuses (une grande Avril en Avril-juillet et une petite, en octobre-novembre) et deux saisons sèches (une grande, en décembre-mars et une petite, en août-septembre). La pluviométrie moyenne annuelle de la station de Soubré est de 1500 mm/an de pluie inégalement répartie avec une température moyenne de 27°C. L'hygrométrie est relativement élevée avec un taux d'humidité de plus de 82%. L'on y rencontre des sols sablo-argileux très profonds et assez riches, convenables au cacao et café, et les sols

de bas-fond convenable aux cultures vivrières oléagineuses. Le département de Bouaflé se situe dans une zone à pluviométrie déficitaire avec un climat chaud et humide. Cette zone se caractérise par deux saisons pluvieuses (une grande en mars-juin et une petite, de la mi-août à octobre) et deux saisons sèches (une petite en juillet jusqu'à la mi-août et une grande, de novembre à février). La pluviométrie varie de

800 à 900 mm de pluie an. On y trouve différents types de sols, allant des sols ferrugineux aux sols profonds et riches en argile.

Matériel végétal. Le matériel végétal utilisé est composé de quatre familles d'hybrides de cacaoyers plantées à la fois à Divo, Soubré et Bouaflé (Tableau 1)

Tableau 1. Liste du matériel végétal utilisé pour l'évaluation des cacaoyers dans 3 zones

Familles hybrides	Généalogie
F22	[(MO81 x T60/887) x (SCA6 x T60/887)] X [(UF676 x IFC303) x IFC18]
F28	[(SCA6 x PA150)] X [(UF676 x IFC303) x IFC18]
F26	UPA 409 x POR (Témoin pour le grainage)
F41	GU 139 A x (E4/3-2 X C2/1-1)

Méthodes

Dispositif expérimental : Le dispositif expérimental de cette étude est un split plot à deux facteurs dont le premier facteur est la zone d'étude avec trois niveaux (Soubré, Divo et Bouaflé) et le second facteur, la famille, avec quatre niveaux représentés par les familles d'hybrides F22, F26, F28 et F41. Chaque famille renferme 15 pieds plantés en randomisation totale.

Données collectées : Les données ont essentiellement été collectées sur les fèves. Elles ont porté sur :

- le nombre de fèves fraîches normales par cabosse (NFFN) qui détermine le niveau de remplissage de la cabosse (plus le nombre moyen de fèves d'une cabosse est élevé (supérieur ou égal à 40 fèves), plus excellent sera le niveau de remplissage de la cabosse) ;
- le poids de fèves fraîches normales (PFFN) de la cabosse ;

- le poids d'une fève de cacao marchand (P1FS).

Dans cette étude, les cabosses de chacune des quatre familles mises à l'épreuve ont été récoltées sur les différents sites et celles de Soubré et Bouaflé ont ensuite été transportées à la station CNRA de Divo où les différents paramètres ont été évalués.

Paramètres mesurés sur un échantillon de 30 cabosses et de 100 fèves : La description de ces paramètres a été présentée dans le **tableau 2**. Le nombre de fèves fraîches normales par cabosse (NFFN), le poids de fèves fraîches normales (PFFN) de la cabosse ont été mesurés sur un échantillon de 30 cabosses par famille d'hybride et, le poids d'une fève de cacao marchand (P1FS) a été mesuré sur un échantillon de 100 fèves pris au hasard dans le lot de cacao marchand de chaque famille d'hybride avec une balance de précision (Sartorius 0,2).

Tableau 2 : Paramètres technologiques mesurés sur des fèves de cacao *dans* 3 zones

Organes	Paramètres	Codes (unités)	Description et type d'observation
Fèves	Nombre de fèves fraîches normales par cabosse	NFFN	Paramètre mesuré sur un échantillon de 30 cabosses par famille d'hybride et de clone
	Poids de fèves fraîches normales par cabosse	PFFN	Paramètre mesuré sur un échantillon de 30 cabosses par famille d'hybride et de clone
	Poids moyen d'une fève sèche	P1FS(g)	Paramètre mesuré sur 100 fèves par famille d'hybride et de clone

RÉSULTATS

Effet de la zone de plantation et de la famille d'hybride sur les paramètres étudiés : L'analyse du **tableau 3** indique un effet « zone de plantation » non significatif à la fois sur le nombre de fèves normales (NFFN) ($P = 0,3218$) et le poids moyen de fèves fraîches normales (PFFN) ($P = < 0,0557$). Par

contre, un effet très hautement significatif de la zone de plantation est mis en évidence sur le poids moyen d'une fève sèche ($P < 0,0001$). Par ailleurs, un effet « Famille » et un effet interaction « Zone x Famille » hautement significatif ($P < 0,0001$) est mis en évidence sur chacun des trois paramètres étudiés.

Tableau 3. Analyse de la significativité de la zone de plantation, de la famille et de leur interaction sur le nombre de fèves fraîches normales d'une cabosse (NFFN), le poids de fèves fraîches normales d'une cabosse (PFFN) et le poids d'une fève sèche (P1FS).

Sources	DDL	NFFN		PFFN		P1FS	
		F	Pr > F	F	Pr > F	F	Pr > F
Zone	2	1,52	< 0,3218	2,22	< 0,0557	28,29	< 0,0001
Famille	3	4,81	< 0,0031	9,65	< 0,0001	423,83	< 0,0001
Famille x Zone	6	4,02	< 0,0009	5,93	< 0,0001	73,70	< 0,0001

Comparaison des zones de plantation pour le nombre de fèves fraîches normales (NFFN), poids de fèves fraîches normales (PFFN) et le poids d'une fève sèche (P1FS). L'analyse du **tableau 4** indique un effet « zone de plantation » très hautement significatif

uniquement sur le poids d'une fève sèche ($P < 0,0001$). La localité de Soubré a présenté les fèves sèches les plus lourdes (P1FS = 1,38 g) tandis que celle Bouaflé a les fèves les moins lourdes (P1FS = 1,24 g).

Tableau 4 : Comparaison de trois zones de plantation pour les trois paramètres mesurés

Zones	Nombre de fèves	NFFN (Nombre)	PFFN (g)	PIFS (g)
Soubré	400	41,06±0,98a	131,49±5,01a	1,38±0,01a
Divo	400	40,17±1,20a	133,81±5,81a	1,31±0,01b
Bouaflé	400	38,28±1,26a	112,31±4,61a	1,24±0,01c
Moyenne		39,83	125,87	1,31
CV (%)		20,61	27,66	4,66
P		<0,3218	<0,0557	<0,0001

Comparaison des familles d'hybrides pour le nombre de fèves fraîches normales d'une cabosse (NFFN) en fonction de la zone de plantation : L'analyse du **tableau 4** indique une différence significative ($P < 0,0006$ et $P < 0,0055$) entre les familles pour le nombre de fèves fraîches normales d'une cabosse dans les zones de Soubré et Bouaflé. Par contre, une

différence non significative ($P < 0,0758$) a été mise en évidence entre les familles dans la localité de Divo pour ce paramètre. Dans les localités de Soubré et Bouaflé, la famille F41 a présenté le meilleur remplissage de cabosse avec respectivement 47,46 et 45,47 fèves par cabosse.

Tableau 5 : Comparaison de quatre (4) familles d'hybrides pour le nombre de fèves fraîches normales d'une cabosse (NFFN).

NFFN (Nombre)				
Familles	Soubré	Divo	Bouaflé	
F41	47,46±1,15 ^a	37,20±3,29 ^a	45,47±1,31 ^a	
F26	40,27±1,12 ^b	37,13±2,75 ^a	35,80±2,54 ^b	
F28	39,40±1,52 ^b	44,40±1,24 ^a	36,93±3,07 ^b	
F22	37,13±2,62 ^b	41,93±1,24 ^a	34,27±2,16 ^b	
Moyenne	41,07	40,17	38,13	
CV	16,18	12,30	13,18	
P	<0,0006	<0,0758	<0,0055	

Comparaison des familles d'hybrides pour le poids de fèves fraîches normales d'une cabosse (PFFN) en fonction de la zone de plantation : L'analyse du **tableau 6** indique une différence significative entre les familles ($P < 0,0025$ et $P < 0,0001$; $P < 0,0057$) pour le poids de fèves fraîches normales

respectivement dans les localités de Soubré, Divo et Bouaflé. Dans les localités de Soubré et Divo, la F26 a présenté les fèves les plus lourdes par cabosse avec respectivement 158,7 g et 171,63 g. A Bouaflé, c'est plutôt la famille F41 qui a présenté les fèves les plus lourdes avec 136,01 g.

Tableau 6 : Comparaison de quatre (4) familles d'hybrides pour le poids de fèves fraîches normales d'une cabosse (PFFN).

PFFN (g)			
Familles	Soubré	Divo	Bouaflé
F26	158,70±12,79 ^a	171,63±14,1 ^a	116,10±10,51 ^b
F41	134,55±5,95 ^{ab}	99,57±6,79 ^c	136,01±5,76 ^a
F28	123,93±7,00 ^b	143,37±10,3 ^b	92,26±8,49 ^b
F22	108,76±8,88 ^b	120,68±3,73 ^b	104,37±8,90 ^b
Moyenne	131,49	133,81	112,52
CV	26,64	13,75	15,77
P	<0,0025	<0,0001	<0,0057

Comparaison des familles d'hybrides pour le poids d'une fève sèche (P1FS) en fonction de la zone de plantation : Pour le poids d'une fève sèche (P1FS), l'analyse de la variance a montré une différence hautement significative ($P < 0,0001$) entre les familles hybrides dans les trois zones de plantation (Soubré, Divo et

Bouaflé) (Tableau 7). Dans ces trois localités, la F26 a présenté les fèves sèches les plus lourdes avec respectivement 1,71 g, 1,69 g et 1,40 g par fève sèche. La F22 s'est classée en deuxième position pour le poids moyen d'une fève sèche à Soubré (P1FS= 1,37 g) et à Bouaflé (P1FS= 1,32 g).

Tableau 7 : Comparaison de quatre (4) familles d'hybrides pour le poids d'une fève sèche (P1FS)

P1FS (g)			
Familles	Soubré	Divo	Bouaflé
F26	1,71±0,03 ^a	1,69±0,02 ^a	1,40±0,01 ^a
F22	1,37±0,01 ^b	1,14±0,01 ^c	1,32±0,02 ^b
F28	1,22±0,01 ^c	1,33±0,02 ^b	0,98±0,02 ^d
F41	1,21±0,01 ^c	1,07±0,02 ^d	1,24±0,01 ^c
Moyenne	1,38	1,30	1,23
CV	13,12	12,23	14,04
P	<0.0001	<0.0001	<0.0001

DISCUSSION

Cette étude a pour objectif d'identifier des familles d'hybrides de cacaoyers présentant un bon remplissage de cabosses et un bon grainage dans différentes zones agro écologiques. Pour ce faire, quatre familles d'hybrides plantées à la fois dans trois localités de Côte d'Ivoire dont deux à pluviométrie normale (Divo et Soubré) et une localité à pluviométrie déficitaire (Bouaflé), ont été évaluées pour le nombre de fèves fraîches normales d'une cabosse (NFFN), le poids de fèves fraîches normales d'une cabosse (PFFN)

et le poids d'une fève sèche (P1FS). Les résultats ont mis en évidence un effet « Famille » et un effet d'interaction « Zone x Famille » hautement significatif ($P < 0,0001$ pour le NFFN, le PFFN et le P1FS). La localité de Soubré a présenté les fèves sèches les plus lourdes (P1FS = 1,38 g). Les résultats présentés dans cette étude sont en accord avec ceux de Tahi *et al.*, (2019) et Minakou *et al.* (2022), qui ont mis en évidence une différenciation entre des familles de cacaoyers en zones de pluviométrie normale et déficitaire. Les fortes

périodes de pluies enregistrées dans la localité de Soubré ces dernières années, pourraient également être à l'origine de ce bon grainage. La famille F41 a présenté le meilleur remplissage de cabosse avec respectivement 47,46 et 45,47 fèves par cabosse dans les localités de Soubré et Bouaflé. La famille F26 (témoin pour le grainage) a présenté les fèves sèches les plus lourdes à la fois dans les trois localités (Soubré, Divo et Bouaflé) avec respectivement 1,71 g, 1,69 g et 1,40 g par fève sèche. Elle a également présenté les fèves fraîches les plus lourdes à la fois à Soubré et à Divo avec respectivement 158,7g et 171,63 g par cabosse, confirmant ainsi son utilisation dans l'étude comme témoin pour la grosseur des fèves. Il convient en outre de noter que bien que la famille F26 ait été en tête de classement pour le poids d'une fève sèche dans les trois localités, ses performances pour ce critère ont été plus élevées à Soubré et Divo (respectivement de 1,71 g et 1,69 g) qu'à Bouaflé, une zone à pluviométrie déficitaire. Cette observation met en exergue l'impact négatif de la zone de sécheresse sur le grainage des cacaoyers. Ces deux familles confirment ainsi leur bon remplissage et grainage de cabosses. En effet, lorsque le nombre de fèves moyen d'une cabosse est compris entre 30 et 40 fèves, la cabosse est qualifiée de bien remplie selon Braudeau (1969). Selon plusieurs auteurs, le remplissage des cabosses devrait être pris en compte pour l'amélioration du rendement du cacaoyer (Lanaud *et al.*, 2017). En effet, le nombre et le poids de fèves de la cabosse constitue un indicateur de fertilité apparente et donc du bon remplissage des cabosses des cacaoyers. Cela est conforté par

les travaux de Lachenaud *et al.*, (2006) qui ont mis en évidence une corrélation positive et significative entre le nombre de fèves par cabosse et la fertilité apparente. A l'exception de la famille F28 dont le poids d'une fève sèche dans la localité de Bouaflé est inférieur à 1 g, toutes les valeurs du PIFS ont été supérieures à la norme industrielle qui est de 1 g pour 1 fève de cacao marchand, qui est la valeur minimale recherchée par les chocolatiers (Adamako *et al.*, 2003). Cela confirme la qualité du grainage obtenu par ces familles dans différentes zones d'étude. En outre, ce paramètre étant héritable (Cilas, 1989), certains génotypes de ces familles pourraient être utilisés comme géniteurs dans un programme d'amélioration variétale pour la création de descendance présentant un excellent grainage. Par ailleurs, il est important de souligner que ces deux familles F26 (UPA 409 x POR) et F41 (GU 139 A x (E4/3-2 X C2/1-1)) ont au moins un parent Trinitario dans leur généalogie (POR pour F26 puis, UF 676, IFC303 et IFC18 pour F41), démontrant ainsi l'utilité d'impliquer des clones d'origine Trinitario comme géniteur pour l'amélioration génétique de la qualité technologique des fèves. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Assemat *et al.* (2005) qui ont montré que les variétés de cacaoyers appartenant au groupe des Trinitario sont des potentiels géniteurs pour l'amélioration de la qualité. Nos résultats sont également en accord avec ceux de Guiraud *et al.* (2021) dont les travaux ont mis également en évidence le bon grainage et remplissage de cacaoyers d'origine Forastero et Trinitario.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Cette étude a permis de caractériser au plan technologique, quatre familles d'hybrides de cacaoyers dans trois zones agro écologiques de Côte d'Ivoire. Il ressort de ce travail que les familles F41 (GU 139 A x (E4/3-2 X C2/1-1)) ont présenté un bon remplissage des cabosses

à la fois à dans les localités de Soubré (47,46 fèves par cabosse) et de Divo (45,47 fèves par cabosse). La F26 (UPA 409 x POR) a confirmé ses bonnes performances pour le grainage. Les familles F41 et F21 confirment ainsi leur bon remplissage et grainage au plan multi local

dans des zones agro écologiques différentes. Ces résultats constituent un indicateur pour le sélectionneur dans la perspective de

l'amélioration génétique du cacaoyer en Côte d'Ivoire pour le grainage et le remplissage des cabosses.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adomako, B., Adu-Ampomah, Y., 2003. Bean characteristics of progenies of upper Amazon cacao in Ghana. *Tropical Agriculture*, (Trinidad). 80 (1), 41–47.
- Assemat S., Lachenaud P., Ribeyre F., Davrieux F., Pradon J-L. & Cros E., 2005. Bean quality traits sensory evaluation of wild Guiana cocoa populations. *Genetics Resources and Crop Evolution* 52 (7) 911–917.
- Braudeau J, (1969) Le cacaoyer. Collection « Techniques Agricole et Productions Tropicales ». Edition Maisonneuve et Larose, Paris, 304p.
- Cilas, C., Duchemin, C. et Lotode, R. (1989). L'amélioration génétique de la qualité du cacao : étude de la granulométrie. *Café Cacao Thé (Paris)*, 33 (1) ,3-8
- Guiraud B.S.H.B., Tahi G.M., Coulibaly K., Assi E.M., Minakou O.S., Atchi M.Y., Lachnaud 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 ISSN 1997-5902.
- International Cocoa Organization (ICCO) 2014. Quarterly bulletin of Cocoa statistics, vol. No. 4, Cocoa year 2012/2013.
- Konate Z., Assiri A.A., Messoum F.G., Sekou A., Camara M. & Yao-Kouame A. (2016). Identification de quelques contraintes paysannes en replantation cacaoyère en Côte D'Ivoire. REV. CAMES - VOL.04 NUM.02. 2016 * ISSN 2424-7235.
- Lachenaud P., Oliver G., Bastide P. & Paulin D. 2006. Le remplissage des cabosses des cacaoyers spontanés de Guyane (*Theobroma cacao* L.). *Acta Botanica Gallica*, 153 (1), 105-114.
- Lanaud C., Fouet O., Legavre T., Lopes U., Sounigo O., Eyango M.C., Mermaz B., Da Silva M.R., Llor Solórzano R.G. & Argout X., 2017. Deciphering the *Theobroma cacao* self-incompatibility system : from genomics to diagnostic markers for self-compatibility. *Journal of Experimental Botany* 68 (17) : 4775-4790.
- Minakou O.S., Tahi G.M., Guiraud S.B., Johnson V., Cilas C. & Akaffou D.S. 2022. Leaf density, adult vegetative vigor and flushing intensity as relevant criteria for evaluating the resilience of cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) to drought, Oral Communication, Cocoa Symposium, Corum, Montpellier France.
- Motamayor JC, Risterucci AM, Heath M & Lanaud C. (2003). Cacao domestication II : Progenitor germplasm of the Trinitario cacao cultivar. *Heredity* 91: 322-330.
- Motamayor JC, Risterucci AM, Lopez PA, Ortiz CF, Moreno A & Lanaud C. (2002). Cacao domestication I. The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89: 380-386.
- Roose E. & Jadin P. 1969. Erosion, ruissellement et drainage sur un sol à cacao en moyenne Côte d'Ivoire. Station I.F.C.C. près de Divo : milieu, dispositif et résultats des campagnes 1967-1968. ORSTOM (I.F.C.C.), Abidjan (Côte d'Ivoire) 77 pages.
- Tahi G.M., Guiraud B. S., Kassin K.E., Kouame B., Ehounou J.N., Kouakou H. (2019). Une approche intégrée pour

améliorer l'efficacité et la résilience des cacaoyers au changement climatique pour une meilleure utilisation des ressources génétiques du cacao en Côte d'Ivoire : première phase. In Rapport Technique de fin de projet Bioversity en Côte d'Ivoire (Oct. 2018 à Oct 2019), 34 p.

Turnbull C.J. and Eskes A.B. (2010). A Visual Aid to Identifying Widely Distributed Cacao Accessions". CFC, Amsterdam, the Netherlands / ICCO, London, UK / Bioversity International, Rome, Italy.

Publication 2 : Attiapo Pépin Assi, Massé Diomande, Honorine Brigitte Guiraud, Patricia N'GORAN, Klotioloma Coulibaly, Walet Pierre N'Guessan, Kouamé François N'Guessan, Aidara SEKOU, and Gnion Mathias TAHI.(2025) Effets de l'origine génétique du grain de pollen sur les qualités technologiques, physiques et sensorielles des fèves de cacao marchand dans la région de Loh-Djiboua (Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 44 No. 3 Jan. 2025, pp. 788-798 © 2025 Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijias.issr-journal>

Effets de l'origine génétique du grain de pollen sur les qualités technologiques, physiques et sensorielles des fèves de cacao marchand dans la région de Loh-Djiboua (Côte d'Ivoire)

[Effects of the genetic origin of the pollen grain on the technological, physical and sensory qualities of commercial cocoa beans in the Loh-Djiboua region (Ivory Coast)]

Attiaipo Pépin Assi¹⁻²⁻³, Massé Diomande¹, Honorine Brigitte Guiraud², Patricia N'GORAN³, Klotioloma Coulibaly², Walet Pierre N'Guessan², Kouamé François N'Guessan², Aidara SEKOU², and Gnion Mathiastah²

¹Département de biochimie et microbiologie, Unité de Formation et de Recherche en Agroforesterie, BP 150 Daloa, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

²Centre National de Recherche Agronomique, Station de Recherche de Divo, BP 808, Côte d'Ivoire

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

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A study was carried out in order to determine the effect of crossbreeding of the best cocoa clones through manual pollination on technological, physical, and sensory qualities. The trials of this study were conducted in three cocoa seed fields within the National Center for Agricultural Research (CNRA) station in Divo, Côte d'Ivoire. The plant material used for this study consisted of nine (9) hybrid families resulting from a 3 x 3 factorial design involving three female parents (T79/501, C20 and UPA409) and three male parents (POR, IMC67 and C151-61), all of which were mutually compatible with each other. The number of regular beans and the weight of fresh beans were determined by the pod. The seed size, uniformity, overall flavor, and impurity level were determined for the fermented and dried beans. The evaluation of sensory attributes during a panel was determined after the transformation of cocoa beans into cocoa liquor. The results showed that the crossbreeding of C20 X IMC67 with 49.57 beans obtained the highest number of normal beans. The study also showed that the weight of a merchant cocoa bean was greater than 1 g for all the plant material studied. The UPA409 X IMC67 was better for the weight of a dry bean and was characterized by a specific aroma. Regarding the organoleptic parameters, aromas whose origin is maternal were the same for all hybrids.

KEYWORDS: Cocoa tree, genotype, hybrid families, physical, technological and sensory physical characteristics.

RESUME: Une étude a été menée dans le but de déterminer l'effet de croisement de meilleurs clones de cacao par pollinisation manuelle sur les qualités technologiques, physiques et sensorielles. Les essais de cette étude ont été réalisés dans trois champs semenciers de cacaoyers au sein de la station du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Divo en Côte d'Ivoire. Le matériel végétal utilisé pour cette étude a été composé de neuf (9) familles d'hybrides issues d'un factoriel 3 x 3 impliquant trois géniteurs femelles (T79/501, C20 et UPA409) et trois géniteurs mâles (POR, IMC67 et C151-61), tout inter compatible entre eux. Le nombre de fèves normales et le poids des fèves fraîches ont été déterminés par cabosse. Le grainage, l'homogénéité, l'arôme général et le taux d'impureté ont été déterminés sur les fèves fermentées et séchées. L'évaluation des attributs sensoriels au cours d'un panel, a été déterminée après transformation des fèves en liqueur de cacao. Les résultats ont montré que le croisement C20 X IMC67 avec 49,57 fèves, a obtenu le plus grand nombre de fèves normales. L'étude a également montré que le poids d'une fève de cacao marchand a été supérieur à 1 g pour l'ensemble du matériel végétal étudié.

L'UPA409 X IMC67 a été meilleur pour le poids d'une fève sèche et a été caractérisé par la présence d'arôme particulier. Concernant les paramètres organoleptiques, les arômes dont l'origine est maternelle, ont été les mêmes pour tous les hybrides.

MOTS-CLEFS: Cacaoyer, génotype, Familles d'hybrides, Caractéristiques physiques technologiques et sensorielles.

1 INTRODUCTION

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* Linn.) est un arbre originaire du bassin amazonien [1]. Sa culture a commencé en Amérique Centrale et s'est répandue successivement grâce aux civilisations Olmèques, Mayas et Aztèques [2]. L'utilisation des fèves de cacao remonte au moins à 1400 ans avant J.-C. [3] ou les anciennes civilisations l'utilisaient comme monnaie d'échange et nourriture des dieux. Le cacaoyer est cultivé essentiellement pour ses fèves qui servent à la fabrication du chocolat, de produits cosmétiques et pharmaceutiques [4], [5].

La Côte d'Ivoire est le leader mondial de production de cacao marchand devant le Ghana, l'Indonésie et le Brésil [6] avec une production record de 2 225 000 tonnes [7], soit environ 40% de l'offre mondiale. Le secteur du cacao contribue ainsi à hauteur de 15 % du produit intérieur brute (PIB) et 44 % des recettes d'exportations de la Côte d'Ivoire [8]. Il représente une importante source de devises pour les planteurs [9]. En effet, ce sont environ 6000 chefs d'exploitations qui vivent de façon directe ou indirecte des revenus de cette culture en Côte d'Ivoire.

Le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) a mis au point des variétés de cacao performantes. Les clones et les familles d'hybrides sont étudiés pour la production et pour la résistance aux aléas biotiques et abiotiques. Par contre, les études des aspects technologiques et physiques et sensorielles de ces clones et de leurs croisements n'ont souvent pas été suffisamment prises en compte par la recherche agronomique ivoirienne.

Dans le contexte actuel, où l'amélioration de la qualité sensorielle des fèves de cacao devient un axe de sélection de produit de qualités par les exportateurs et les chocolatiers, il est impérieux que la recherche ivoirienne s'attache à cet aspect. Le présent travail s'inscrit dans cette optique. Il vise à montrer l'effet de l'origine des pollens sur les caractères technologiques, physiques et sensoriels des différents matériels végétaux mise à l'épreuve.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal utilisé dans cette étude a été composé de 9 familles d'hybrides issues d'un factoriel 3 x 3 (**tableau 1**). Ce croisement factoriel a été composé de trois géniteurs femelles (C20, T79/501 et UPA 409) et trois géniteurs mâles (POR, C151-61 et IMC67), tous inter-compatible entre eux.

Les géniteurs femelles ont été localisés dans le jardin clonal WCF pour C20, le jardin clonal ICRAF pour T79/501 et dans le champ semencier AI4 pour UPA409.

Tableau 1. Plan de croisement factoriel 3 x 3 pour la création de 9 familles d'hybrides

		Géniteurs mâles		
		POR	C151-61	IMC67
Géniteurs femelles	C20	C20 X POR	C20 X C151-61	C20 X IMC67
	T79/501	T79 /501 X POR	T79 /501 X C151-61	T79 /501 X IMC67
	UPA409	UPA409 X POR	UPA409 X C151-61	UPA409 X IMC67

2.2 METHODES

2.2.1 PRODUCTION DE CABOSSES PAR POLLINISATION MANUELLE.

Pour cette étude, il faut au moins disposer de 250 cabosses par croisement. Pour ce faire, les pollens de chaque géniteur mâle serviront à la pollinisation manuelle de vingt-cinq (25) pieds de chacun des trois géniteurs femelles. Dans le but de garantir la légitimité des croisements, un isolement des boutons floraux des géniteurs femelles et mâles a été nécessaire avant la

pollinisation. L'isolement des boutons floraux a été fait avec des manchons fixés à l'arbre par une pâte à modeler pour garantir l'étanchéité du manchon. Le manchon a été constitué d'un tube en matière plastique d'environ 5cm dont l'une des extrémités est fixée à l'arbre et l'autre fermé avec un tissu. Pour la pollinisation manuelle, les grains de pollens du parent mâle ont été déposés sur le stigmate des fleurs du parent femelle. Trois jours après la pollinisation, les manchons ont été retirés. Une fois la pollinisation terminée, il s'en suit le processus de la fécondation qui aboutira à la formation de la cabosse cinq à six mois plus tard.

2.2.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Pour l'étude des paramètres technologiques, le dispositif expérimental a été un bloc de Fisher de trois familles pour chacune des trois parcelles d'essai avec cinquante (50) cabosses par famille. Ces familles ont été les trois croisements du géniteur femelle C20 dans le jardin clonal WCF, les trois croisements du géniteur femelle T79/501 du jardin clonal ICRAF et les trois croisements du géniteur femelle UPA409 du champ semencier AI4.

Pour l'étude des paramètres physiques, le dispositif expérimental a été un bloc de Fisher de neuf (9) familles avec trois répétitions de un kilogramme de fèves sèches par famille. Ces neuf familles ont été les neuf croisements de l'étude.

Pour l'étude des paramètres sensoriels, le dispositif expérimental a été un bloc de Fisher de neuf (9) familles avec huit (8) répétitions. Ces neuf familles ont été les échantillons de liqueur de cacao à déguster et les huit répétitions, les panelistes.

2.2.3 EVALUATION DES PARAMETRES TECHNOLOGIQUES.

L'évaluation des paramètres technologiques du matériel végétal a porté sur le nombre et le poids de fèves fraîches normales par cabosse:

- Nombre de fèves fraîches normales par cabosse

Le nombre de fèves fraîches normales a été mesuré sur un échantillon de 50 cabosses par famille d'hybride;

- Le poids de fèves fraîches normales par cabosse

Le poids moyen des fèves fraîches par cabosses a été mesuré avec une balance de précision (Sartorius 0,2) sur un échantillon de 50 cabosses par famille d'hybride.

2.2.4 EVALUATION DES QUALITÉS PHYSIQUES.

Les qualités physiques du matériel végétal ont porté sur le grainage, l'homogénéité, l'arôme général et le taux d'impureté:

- Grainage

Le grainage a été mesuré par le poids moyen d'une fève de cacao marchand. Pour chaque matériel végétal utilisé, la détermination du grainage a consisté à prélever au hasard un échantillon de 100 fèves de cacao marchand et à les peser individuellement.

- Homogénéité

Elle a été évaluée sur une échelle de notation de 0 (hétérogène) à 10 (très homogène) par observation visuelle d'une quantité donnée de fèves de cacao marchandes (au moins 100 fèves). L'homogénéité peut être également donnée par l'écart-type du poids de 100 fèves pesées individuellement. Plus l'écart-type est faible, plus l'échantillon est homogène.

- Arôme général des fèves

L'arôme général des fèves est déterminé par olfaction d'une quantité aléatoire de fèves de cacao marchandes prises entre les deux mains et portées au niveau du nez pour en déterminer l'intensité aromatique qui s'en dégage. Les fèves sont senties tout en cherchant l'arôme et une note variant de 0 à 4 est attribuée:

- ✓ Absence d'arôme = 0
- ✓ Arôme faible = 1
- ✓ Arôme moyen = 2
- ✓ Arôme fort = 3.

2.2.5 EVALUATION DES QUALITES SENSORIELLES.

L'étude de la qualité sensorielle des fèves a été réalisée à Bingerville, au laboratoire d'analyse sensorielle du CNRA-SRT. Cette étape a consisté en la production des liqueurs et à la description des caractères organoleptiques:

2.2.5.1 PRODUCTION DE LA LIQUEUR OU MASSE DE CACAO.

Chaque échantillon de fèves de cacao marchand de chaque famille d'hybride séché à un taux d'humidité inférieur à 8,5% a été torréfié à une température et un temps précis. Ces fèves ont été broyées pour produire une liqueur onctueuse suivant le protocole établi et proposé par [10].

2.2.5.2 DESCRIPTION DES CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES DE LA LIQUEUR DE CACAO.

Un panel de dégustation a été constitué de huit (8) personnes formées et entraînées à évaluer les masses de cacao produites selon les exigences du Cocoa of Excellence (CoEX). Pour la dégustation, l'échantillon de liqueur pour chaque paneliste a été placé dans une vial en verre (Pyrex, France) avec une étiquette du code de la liqueur sur le bouchon. Les vials ont été placées à l'étuve à 50°C (température optimale pour ressentir les différents arômes) pendant 45min. Après ce temps, les vials ont été déposés devant chaque paneliste pour la dégustation et le renseignement de la fiche de notation. Une note de 0 à 10 (nombre entier et unique) a été attribuée en fonction de l'intensité des saveurs à évaluer pour chaque échantillon.

2.2.6 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES

Les descendances ont été comparées par une analyse de la variance (ANOVA) à un critère de classification au seuil de 0.05%. Toute ANOVA significative a été suivi d'un test de Newman et Keuls (SNK) pour classer les hybrides en fonction du paramètre étudié. Par ailleurs des analyses multivariées ont été réalisées pour élucider la variabilité génétique de la population. En effet, une Analyse en Composante Principale (ACP) a d'abord été réalisée pour analyser la structuration génétique des hybrides suivant les deux premiers axes à forte contribution. Par la suite un dendrogramme a été élaboré en vue de mettre en évidence les relations phylogénétiques existantes entre le matériel végétal analysé.

3 RESULTATS

3.1 EVALUATION DES PARAMETRES TECHNOLOGIQUES DES FEVES DE CACAO DE LA POLLINISATION MANUELLE

L'analyse de variance a montré une différence significative entre les neuf familles d'hybrides des croisements pour les caractères nombres de fèves fraîches normales (NFFN), poids de fèves fraîches normales (PFFN) par cabosses et poids d'une fève sèche (P1FS) (**Tableau 2**). Pour le nombre de fèves fraîches normales par cabosses (NFFN), la moyenne a été de 46,46 fèves avec un coefficient de variation de 17,45 %. Les croisements C20 X IMC67 avec 49,57 fèves et C20 X POR avec 49,17 fèves ont eu les nombre de fèves fraîches normales par cabosses (NFFN) les plus élevés. Par contre, les croisements T79/501 X IMC67 avec 42,13 fèves et T79/501 X C151-61 avec 42,67 fèves ont eu les plus petits nombres de fèves fraîches normales par cabosses (NFFN). En ce qui concerne le poids de fèves fraîches normales (PFFN), la moyenne a été de 136,04g avec un coefficient de variation de 21,92 %. Les croisements C20 X IMC67 avec 156,27g et C20 X C151-61 avec 148,80 g ont eu les poids de fèves fraîches normales (PFFN) les plus élevés. Par contre, le croisement T79/501 X C151-61 avec 116,13 g a eu le plus petit poids de fèves fraîches normales (PFFN). S'agissant du caractère poids d'une fève sèche (P1FS), la moyenne a été de 1,21 avec un coefficient de variation de 8,81 %. Le croisement UPA409 X IMC67 avec 1,26 g a eu le plus grand poids d'une fève sèche alors que, le croisement T79/501 X POR avec 1,11 g a eu le plus petit.

Tableau 2. Valeurs moyennes de paramètres agro technologiques analysés chez les 9 familles d'hybrides pollinisée

Croisements	Paramètres évalués		
	NFFN	PFFN	P1FS
T79/501 X POR	46,37±0,85ab	124,33±2,88bc	1,11±0,00f
T79/501 X C151-61	42,67±1,16b	116,13±4,23c	1,17±0,01e
T79/501 X IMC67	42,13±1,34b	122,87±4,80bc	1,21±0,01cd
C20 X POR	49,17±1,30a	143,80±4,41ab	1,22±0,01bcd
C20 X C151-61	48,23±1,20ab	148,80±4,44a	1,20±0,01de
C20 X IMC67	49,57±1,85a	156,27±7,97a	1,25±0,01ab
UPA409 X POR	45,47±2,06ab	141,33±8,28ab	1,18±0,01e
UPA409 X C151-61	46,23±1,87ab	127,50±5,67bc	1,24±0,01bac
UPA409 X IMC67	48,33±1,19ab	143,37±3,72ab	1,26±0,01a
Moyenne	46,46	136,04	1,21
CV	17,45	21,92	8,81
$P \leq 0.05$	<0,0013	<0,0001	<0,0001

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5 %. P1FS (Poids d'une fève sèche).

3.2 CARACTERISATION SENSORIELLES DES 9 FAMILLES D'HYBRIDES

3.2.1 EVALUATION DES QUALITES PHYSIQUES DE 9 FAMILLES D'HYBRIDES ISSUES DE LA POLLINISATION MANUELLE

Les échantillons de fèves de cacao marchand des familles d'hybrides ont eu des taux d'humidité qui ont variés de 6,7 à 8,4 %.

L'analyse de variance a montré une différence non significative pour la note d'homogénéité (**Tableau 3**). Pour la note d'homogénéité, elle a varié de 8,40 à 7,00 avec une moyenne de 7,75. Toutes les familles ont présentes l'arôme cacao avec des notes variant de 1 à 2. Trois autres arômes ont été révélés chez trois familles. Ces familles ont été T79/501 X IMC67 avec l'arôme herbe et la note 1, C20 X POR avec l'arôme vinaigre et la note 2 et C20 X C151-61 avec l'arôme fruité et la note 1 (**Tableau 3 et 4**).

Tableau 3. Valeurs moyennes ($\pm$ écart type) de paramètres physiques analysés chez les 9 familles d'hybrides pollinisée

Croisements	Caractères physiques
	Note d'homogénéité (0-10)
T79/501 X POR	8,03±0,58a
T79/501 X C151-61	8,40±0,33a
T79/501 X IMC67	7,66±0,33a
C20 X POR	8,33±0,33a
C20 X C151-61	8,00±0,58a
C20 X IMC67	8,00±0,58a
UPA409 X POR	7,00±0,57a
UPA409 X C151-61	7,00±0,100a
UPA409 X IMC67	7,33±0,67a
Moyenne	7,75±1,03
CV	13,10
$P \leq 0.05$	<0,5904

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5 %. P1FS (Poids d'une fève sèche).

Tableau 4. Aromes détectées chez les 9 familles d'hybrides pollinisée

Croisements	Arôme 1	Note1	Arôme2	Note2
T79/501 X POR	Cacao	2		
T79/501 X C151-61	Cacao	1		
T79/501 X IMC67	Cacao	1	Herbal	1
C20 X POR	Cacao	2		
C20 X C151-61	Cacao	2	Vinaigre	2
C20 X IMC67	Cacao	2	Fruité	1
UPA409 X POR	Cacao	2		
UPA409 X C151-61	Cacao	2		
UPA409 X IMC67	Cacao	2		

*Les moyennes suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5 %. P1FS (Poids d'une fève sèche).

3.2.2 EVALUATION DE CHAQUE CARACTERE ORGANOLEPTIQUE DE 9 FAMILLES D'HYBRIDES.

L'analyse de la variance sur le paramètre étudié à indiquer une différence très hautement significative ($Pr < 0,0001$) entre les neuf familles pour les descripteurs "Acidité" "Amertume"; et une homogénéité entre elle pour les descripteurs "cacao, astringence, fruit frais, fruit doré, floral, boisé, épicé et noix " et la note globale (**Tableau 5**).

Pour l'acidité, la note moyenne a été de 1,44 avec un coefficient de variation des données transformées de 24,86 %. Les croisements UPA409 X C151-61 (2,33), UPA409 X IMC67 (2,32) et T79/501 X IMC67 (2,00) ont eu les plus fortes notes d'acidité. Par contre, le croisement C20 X IMC67 (0,50) a eu la plus petite note d'acidité. S'agissant de l'amertume, La note moyenne a été de 4,49 avec un coefficient de variation de 15,06 %. Le croisement C20 X C151-61 (5,14) a eu la plus forte note d'amertume. Par contre, le croisement T79/501 X C151-61 (3,93) a eu la plus petite note d'amertume. Concernant les descripteurs qui ont présentés une homogénéité entre les croisements, les notes ont variés de 6,64 à 5,33 avec une moyenne de 5,98 pour le descripteur cacao, de 4,91 à 3,86 avec une moyenne de 4,47 pour le descripteur astringence, de 2,00 à 0,54 avec une moyenne de 1,13 pour le descripteur fruit frais, de 1,74 à 0,97 avec une moyenne de 1,36 pour le descripteur fruit doré, de 2,23 à 1,10 avec une moyenne de 1,67 pour le descripteur floral, de 2,15 à 1,15 avec une moyenne de 1,84 pour le descripteur boisé, de 1,17 à 0,71 avec une moyenne de 0,99 pour le descripteur épicé et de 1,84 à 0,82 avec une moyenne de 1,33 pour le descripteur noix. La note globale des croisements a variée 7,50 à 6,33 avec une moyenne de 6,85 (**Tableau 5**).

Tableau 5. Evaluation sensorielle de 9 familles d'hybrides par un panel

Croisement	Cacao	Acidité	Amertume	Astringence	Fruit frais	Fruit doré	Floral	Boisé	Épicé	Noix	Note globale
T79/501 X POR	5,84±1,21a	0,98±0,58ab	4,02±0,81ab	4,32±0,47a	0,83±0,64a	0,97±0,52a	1,51±0,48a	1,69±0,47a	0,71±0,49a	1,08±0,61a	6,60±0,89a
T79/501 X C151-61	6,64±0,93a	0,83±0,69ab	3,93±0,44b	4,46±0,38a	0,90±0,90a	1,56±0,66a	1,29±0,71a	2,03±0,35a	0,97±0,52a	1,73±0,99a	6,91±0,61a
T79/501 X IMC67	5,33±0,94a	2,00±0,82a	5,00±0,50ab	4,91±0,73a	0,97±0,97a	1,13±0,30a	1,10±0,83a	1,70±0,98a	1,13±0,65a	1,12±0,65a	6,33±0,55a
C20 X POR	6,00±0,82a	1,57±1,27ab	4,50±0,87ab	3,86±0,69a	1,51±1,33a	1,11±0,65a	1,88±1,13a	1,46±0,88a	0,97±0,52a	1,33±0,98a	7,50±1,04a
C20 X C151-61	5,50±0,64a	1,14±0,69ab	5,14±0,85a	4,64±0,74a	1,20±1,40a	1,22±0,86a	2,32±1,25a	2,02±0,62a	1,11±0,65a	1,60±0,66a	6,64±0,69a
C20 X IMC67	6,34±0,47a	0,50±0,50b	4,17±0,89ab	4,48±0,76a	0,69±0,70a	1,34±0,42a	2,07±0,91a	1,65±0,45a	0,85±0,69a	0,82±0,63a	7,24±0,38a
UPA409 X POR	6,50±0,50a	1,28±1,25ab	4,42±0,44ab	4,14±0,62a	0,54±0,72a	1,74±0,61a	1,62±0,67a	1,77±0,62a	0,97±0,52a	1,84±0,91a	7,07±0,83a
UPA409 X C151-61	6,00±0,82a	2,33±1,10a	4,57±0,53ab	4,74±0,56a	2,00±0,36a	1,43±0,44a	1,53±1,16a	2,05±0,62a	1,00±0,58a	1,00±0,82a	6,83±0,24a
UPA409 X IMC67	5,91±0,97a	2,32±0,94a	4,66±0,47ab	4,83±0,74a	1,56±0,71a	1,70±0,32a	1,86±0,52a	2,15±0,45a	1,17±0,69a	1,40±0,40a	6,50±0,58a
Moyenne	5,98±0,84	1,44±0,91	4,49±0,68	4,47±0,65	1,13±0,92	1,36±0,56	1,69±0,89	1,84±0,64	0,99±0,59	1,33±0,76	6,85±0,69
CV	14,10	63,35	15,06	14,52	80,83	41,34	52,96	34,82	60,15	57,48	10,04
$P \leq 0,05$	<0.16	<0.0018	<0.0180	<0.0592	<0.0824	<0.1366	<0.2616	<0.4807	<0.9148	<0.2000	<0.0525

3.2.3 EVALUATION DE SAVEURS PARTICULIERES DE 9 FAMILLES D'HYBRIDES.

Pour le cacao, les saveurs particulières sont déterminées à partir du barème établi par «Cocoa of Excellence » pour tous les descripteurs (**Fig. 1**). Ainsi, sur la base des résultats de dégustation du panel (**Tableau 4**), seuls les descripteurs «fruits frais,

fruit doré, floral, épicé et noix » ont présenté des notes supérieures à la norme selon « Cocoa of Excellence » (Tableau5). Pour le descripteur fruits frais, tous les hybrides ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur fruit doré, les hybrides T79/501 X C151-61, T79/501 X IMC67, C20 X C151-61, C20 X IMC67 et les 3 hybrides du parent femelle UPA409, ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur floral, les 3 hybrides du parent femelle C20, UPA409 X POR et UPA409 X IMC67 ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur épicé, les hybrides T79/501 X IMC67 et UPA409 X IMC67 ont eu des valeurs supérieures à la norme. Pour le descripteur noix, les 3 hybrides du parent femelle T79/501, C20 X POR, C20 X C151-61 et les 3 hybrides du parent femelle UPA409 ont eu des valeurs supérieures à la norme (Tableau 5).

- Référence du cacao de Côte d'Ivoire selon Cocoa of Excellence

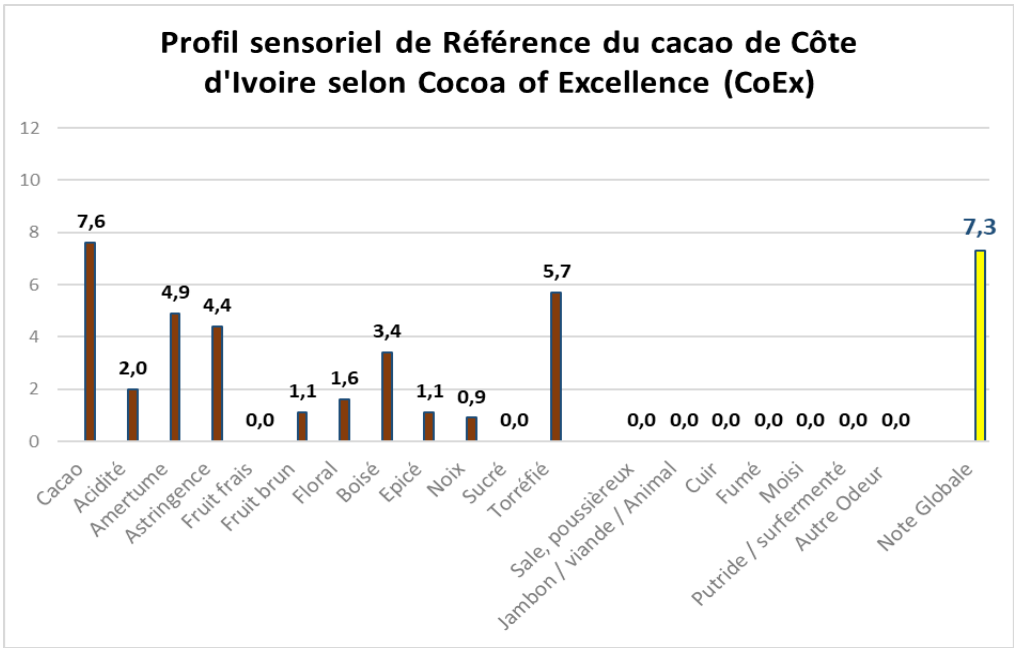


Fig. 1. Profil sensoriel de référence du cacao de Côte d'Ivoire selon Cocoa of Excellence

3.2.4 SAVEURS PARTICULIERES DETECTEES CHEZ LES 9 FAMILLES D'HYBRIDES.

Sur la base des résultats de dégustation du panel, les descripteurs: fruits frais, fruit doré, floral, Epicé et noir ont présentés des notes supérieurs à la norme selon Cocoa of Excellence (Tableau 6).

Tableau 6. Saveurs particulières détectées chez les 9 familles d'hybrides selon les normes de Cocoa of Excellence

Croisements	Fruits frais		Fruit doré		Floral		Epicé		Noir	
	Valeur	Norme	Valeur	Norme	Valeur	Norme	Valeur	Norme	Valeur	Norme
T79/501 X POR	0,8	00	0,97	1,1	1,51	1,6	0,71	1,1	1,08	0,9
T79/501 X C151-61	0,9	00	1,56	1,1	1,29	1,6	0,97	1,1	1,73	0,9
T79/501 X IMC67	0,97	00	1,13	1,1	1,10	1,6	1,13	1,1	1,12	0,9
C20 X POR	1,51	00	1,11	1,1	1,88	1,6	0,97	1,1	1,33	0,9
C20 X C151-61	1,2	00	1,22	1,1	2,32	1,6	1,11	1,1	1,6	0,9
C20 X IMC67	0,69	00	1,34	1,1	2,07	1,6	0,85	1,1	0,82	0,9
UPA409 X POR	0,54	00	1,74	1,1	1,62	1,6	0,97	1,1	1,84	0,9
UPA409 X C151-61	2	00	1,43	1,1	1,53	1,6	1,00	1,1	1	0,9
UPA409 X IMC67	1,56	00	1,70	1,1	1,86	1,6	1,17	1,1	1,40	0,9

Valeur: valeur supérieur à la norme

3.2.5 REPARTITION DES 9 FAMILLES D'HYBRIDES SUIVANT LEURS CARACTERES ORGANOLEPTIQUES

L'analyse en composantes principales (ACP) des 9 familles d'hybrides par pollinisation manuelle (**Fig.2**) a montré une représentation de 62,42 % des données initiale. La composante 1 (CP1) a monté 40,50% et la composante 2 (CP2) 21,92% de l'inertie globale. La composante principal 1 a été influencée par l'acidité, l'amertume, fruit frais, épice, boisé et astringence. Les croisements UPA409 X IMC67, UPA409 X C151-61, T79/501 X IMC67, C20 X IMC67 et C20 X C151-61 ont été bien représenté sur la CP1. La composante principal 2 a été influencée par fruit doré, noisette, floral et cacao. Les croisements T79/501 X C151-61 et UPA409 X POR, ont été bien représentés sur la CP2.

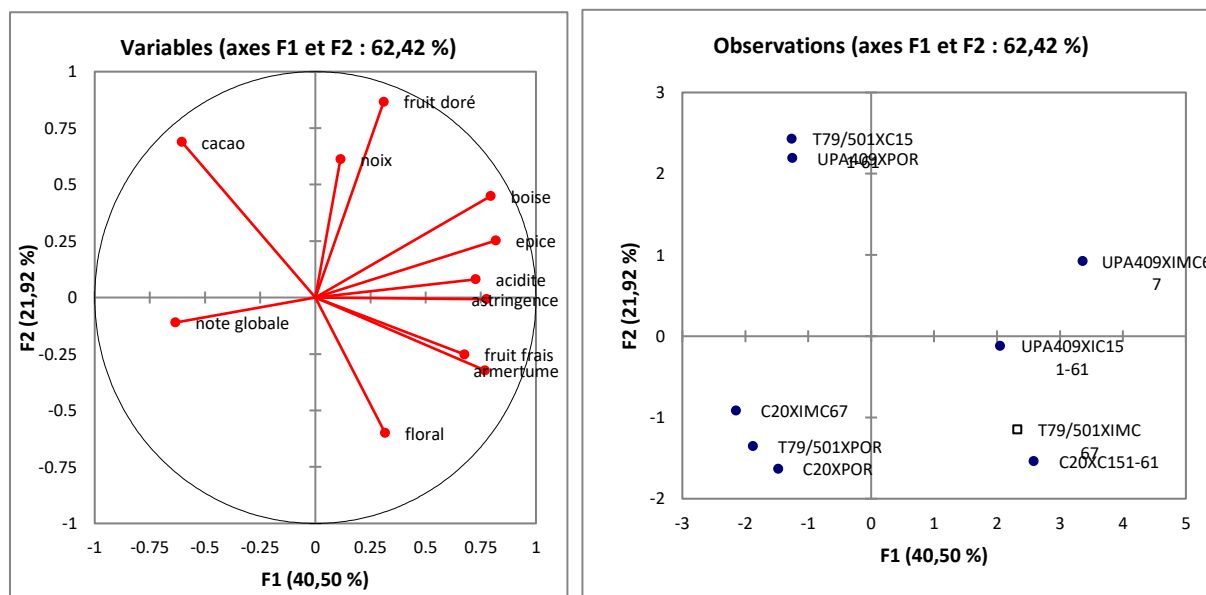


Fig. 2. Analyse en composantes principales des 9 familles d'hybrides suivant leurs caractères organoleptiques

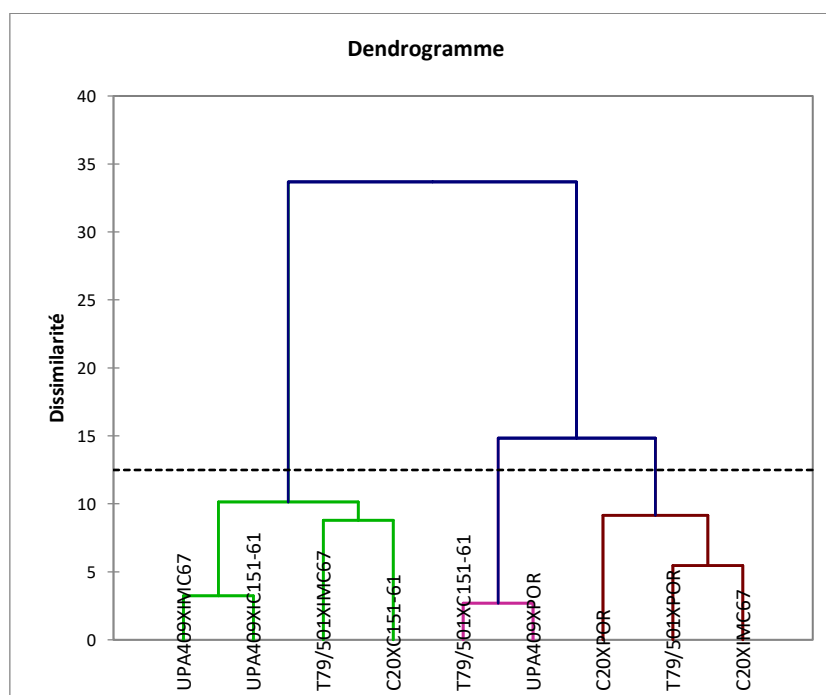


Fig. 3. Classification ascendante hiérarchique des 9 familles d'hybrides suivant leurs caractères organoleptiques

L'analyse en composante principale (ACP) et Une classification hiérarchique ascendante (CAH) à la troncature 13 ont constituées trois groupes de familles. Le groupe 1 a été composé de C20 X IMC67, T79/501 X POR et de C20 X POR. Le groupe 2 a été composé d'UPA409 X POR et T79/501 X C151-61. Le groupe 3 a été composé de C20 X C151-61, T79/501 X IMC67, UPA409 X C151-61 et UPA409 X IMC67 (Fig 2 et 3).

4 DISCUSSION

Au plan technologique, Les résultats ont montré que le nombre de fèves fraîches normales par cabosse (NFFN) a varié de 42,13 à 49,57 fèves. Ces résultats sont au-delà des normes élaborées par le conseil café-cacao (édition février, 2015) recommandant que le nombre de fèves moyen d'une cabosse soit compris entre 30 et 40 fèves. Le nombre élevé des fèves fraîches normales par cabosse est essentiellement dû à la pollinisation manuelle effectuée dans cette étude. La pollinisation manuelle augmente le nombre de fèves fraîches normales par cabosse [11]. Selon les résultats, Les croisements du géniteur femelle T79/501 ont donné des nombres de fèves fraîches normales par cabosse qui ont varié de 42,13 à 46,37; ceux du géniteur femelle C20 ont donné des nombres de fèves fraîches normales par cabosse qui ont varié de 48,23 à 49,57 et ceux du géniteur femelle UPA409 ont donné des nombres de fèves fraîches normales par cabosse qui ont varié de 45,47 à 48,33. Les croisements C20 X IMC67 avec 49,57 fèves et C20 X POR avec 49,17 fèves ont eu le nombre de fèves fraîches normales par cabosses (NFFN) les plus élevés. Par contre, les croisements T79/501 X IMC67 avec 42,13 fèves et T79/501 X C151-61 avec 42,67 fèves ont eu les plus petits nombres de fèves fraîches normales par cabosses. Les croisements du géniteur femelle UPA409 ont eu le même nombre de fèves fraîches par cabosse. Les géniteurs femelles semblent avoir influencé le nombre de fèves fraîches normales par cabosses. Par conséquent, l'origine du grain de pollen n'a pas agi sur ce paramètre. Ces résultats sont en contradiction avec les travaux de pollinisation manuelle contrôlés de [12], [13] qui ont montré que le nombre de fèves par cabosse des hybrides issus du clone femelle SCA6 dépendait de l'origine génétique du pollen. S'agissant du poids de fèves fraîches normales par cabosse (PFFN), les résultats ont montré que les croisements C20 X IMC67 avec 156,27g et C20 X C151-61 avec 148,80 g ont eu les plus grandes valeurs. Par conséquent, le géniteur femelle C20 aurait influencé le poids de fèves fraîches normales par cabosse. Les croisements des géniteurs femelles T79/501 et UPA409 appartiennent au même groupe. De ce fait l'origine génétique du grain de pollen n'a pas agi sur ce paramètre. Quant au poids d'une fève sèche (P1FS) de cacao marchand les résultats ont montré que les valeurs ont varié de 1,11 à 1,26 g. Ces résultats sont en accord avec [14] qui ont montré que le poids d'une fève sèche de 1 g est le poids minimum recherché sur le marché international par les industries chocolatiers. Les croisements du géniteur femelle C20, d'UPA 409 croisé par C151-61 et IMC67 et de T79/501 x IMC67, ont présenté le poids d'une fève sèche supérieur à 1,20 g. Par contre les croisements du géniteur femelle T79/501 croisé par POR et C151-61 et ceux d'UPA 409 x POR ont présenté le poids d'une fève sèche compris entre 1,11 et 1,18 g. Le croisement UPA409 X IMC67 avec 1,26 g a eu le plus grand poids d'une fève sèche alors que le croisement T79/501 X POR avec 1,11 g a eu le plus petit. Pour chacun des géniteurs femelles, les croisements ont été hétérogènes. Par conséquent, l'origine génétique du grain de pollen a agi sur le poids d'une fève sèche (P1FS) de cacao marchand.

Pour les caractères physiques, les taux d'humidité des échantillons de fèves de cacao marchand ont variés de 6,7 à 8,4. Ces résultats ont été inférieurs à 8,5 % seuil recommandé par les normes internationales [10]. Les travaux de [15] et de [16] ont montrés que des taux d'humidités compris entre 6 et 8,5% étaient la norme pour les fèves de cacao séchées dans les conditions naturelles. La moyenne du poids d'une fève sèche de cacao marchand a été de 1,31g. Les croisements C20 X C151-61 avec 1,65 g, a eu le poids d'une fève sèche le plus élevé alors que le croisement T79/501 X C151-61 avec 1,13 g a eu le poids le plus faible. La valeur moyenne du poids d'une fève sèche de cacao marchand a été supérieure à celle de la norme industrielle qui est de 1 g pour 1 fève de cacao marchand. Par ailleurs, selon [17], les cacaoyers dont le poids moyen d'une fève de cacao marchand est compris entre 1,48 g et 1,30 g peuvent être considérés comme présentant un bon grainage. Selon [18], la masse moyenne d'une fève sèche de 1,05 g est la valeur minimale recherchée par les chocolatiers. Sur cette base, Tous les croisements de l'étude ont présentés un bon grainage et une altitude favorable à la chocolaterie. Le géniteur male C151-61 dont le croisement avec le géniteur femelle C20 a donné le poids d'une fève sèche le plus élevé et avec le géniteur femelle T79/501, le poids d'une fève sèche le plus bas n'a pas eu d'effet sur ces croisements. Seuls les géniteurs femelles semblent avoir influencé ces croisements. Ainsi, le géniteur femelle C20 aurait contribué à l'obtention du poids d'une fève sèche le plus élevé. Les performances du géniteur femelle C20 en matière de poids de fève, ont été signalées par [19]. L'homogénéité n'a pas été la même pour tous les échantillons au niveau du matériel végétal testé, les notes allant de 7 à 8 sur une échelle de 0 à 10. Si certains matériels ont été caractérisés par une absence totale d'arôme particulière, d'autres ont présenté au-delà de l'arôme cacao au moins un arôme particulier qui a été le vinaigre, le fruité et l'herbe. Les familles d'hybrides C20 X C151-61 (vinaigre), C20 X IMC67 (fruité) et le T79/501 X IMC67 (herbe) ont en particulier été caractérisés par la présence des deux arômes à la fois.

Relativement à la qualité sensorielle du matériel végétal étudié, L'analyse de la variance sur le paramètre étudié à indiquer une différence significative entre les neuf familles pour les descripteurs "Acidité"; "Amertume"; et une homogénéité entre elle pour les descripteurs "cacao, astringence, fruit frais, fruit doré, floral, boisé, épicé et noix ". Ainsi, les hybrides mis à l'épreuve ont présenté presque le même profil sensoriel pour huit (8) descripteurs sur dix. Les géniteurs mâles et femelles ont soit le même profil sensoriel soit ils n'ont pas d'effet sur les croisements pour ces descripteurs. Pour [20], l'origine génétique du pollen a un faible impact sur le profil sensoriel des hybrides ayant le même parent femelle. Pour ces auteurs, l'homogénéité de l'origine du pollen a été signalée pour les hybrides de chaque parent femelle. Cela suggère que les parents mâles ont peu ou pas d'effet sur ces profils. Les tests sensoriels des hybrides sont effectués sur des liqueurs de cacao issu de cotylédons des fèves. Bien que le cotylédon soit issu de la fusion des deux gamètes femelle et mâle, le profil sensoriel de celui-ci est majoritairement influencé par le mucilage ou la pulpe qui l'entourent. Ce mucilage et cette pulpe sont issus d'une héritabilité maternelle [21]. Bien que l'origine maternelle influence l'arôme du cotylédon, la maîtrise des techniques post récolte à un effet sur l'expression de cet arôme [22]. Les résultats ont également montré que chez les descripteurs "Acidité" et "Amertume", les neuf hybrides testés ont eu des réactions différentes. Pour le même géniteur femelle, une différence entre les hybrides est imputable au male. Les résultats ont enfin montré que les 3 hybrides du parent femelle UPA409 pour le descripteur fruit doré, les 3 hybrides du parent femelle C20 pour le descripteur floral et les 3 hybrides de chacun des parents femelles T79/501 et UPA409 pour le descripteur noix, ont eu des valeurs supérieures à la norme des saveurs particulières. Ceci montre que ces femelles ont influencé ces saveurs au niveau de ces descripteurs.

5 CONCLUSION

Les trois géniteurs mâles POR, C151-61 et IMC67 ont influencé le nombre de fèves normales dans les croisements avec les parents femelles T79/501 et C20. Par contre, le parent femelle UPA409 a neutralisé dans ses croisements, les effets de ces géniteurs mâles sur cette variable. Les trois géniteurs mâles ont également influencé le poids de fèves fraîches dans le croisement avec le parent femelle T79/501. Cependant, les parents femelles C20 et UPA409 ont neutralisé dans leurs croisements, les effets de ces géniteurs mâles sur cette variable.

Relativement à la qualité sensorielle, à l'exception de l'acidité et de l'amertume où les géniteurs mâles ont eu une influence, il y a eu une homogénéité entre les hybrides, donc aucun effet du géniteur male, pour les autres paramètres organoleptiques. L'arôme du cotylédon du cacao, issu du mucilage, a une origine maternelle. Ainsi, la saveur particulière du descripteur « fruit doré » a été influencée par le parent femelle UPA409, celle du descripteur « floral », par le parent femelle C20 et celle du descripteur noix, par les parents femelles T79/501 et UPA409.

Ainsi, le grain de pollens a eu un effet sur les variables nombres de fèves et poids de fèves. Par contre, les parents femelles ont influencé les caractères sensoriels.

REFERENCES

- [1] L. Aké Assi, Flore de la côte d'Ivoire. Catalogue systématique, biogéographie et écologie, tome II, Boissiera 58, Conservatoire et Jardin Botanique de Genève, Genève, Suisse, 40lp, 2002.
- [2] JC. Motamayor, A.M. Risterucci, P.A. Lopez, C.F. Ortiz, A. Moreno, et C. Lanaud, Domestication du cacao I: l'origine du cacao cultivé par les Mayas. *Hérédité* 89, 308-386, 2002.
- [3] S. Rössner, «Chocolate – divine food, fattening junk or nutritious supplementation ?» *European Journal of Clinical Nutrition* 51 (6): 341–345, 1997.
- [4] J.A. Moscatto, S.H. Prudêncio-Ferreira et M.C.O. Haully, Repas de yacon et ingrédients d'inuline. Dans la préparation du gâteau au chocolat. *Giência et Tecnologia de Alimentos*, 24: 634-640, 2004.
- [5] T.S. Guehi, M. Dingkuhn, E. Cros, G. Foumy, R. Ratomahenina, G. Moulin, et A. Clement, Identification et capacité de production de lipase des moisissures isolées à partir de fèves de cacao crues ivoiriennes. *Revue de recherche en sciences biologiques appliquées*, 3: 838-843, 2007.
- [6] M. Franzen et M.B. Mulder, Ecological, econornic and social perspectives on cocoa production worldwide. *Biodiversity and Conservation*, 16: 3835-3849, 2007.
- [7] ICCO, International Cocoa Organization, Bulletin trimestriel des statistiques du cacao, année cacaoyère 2019/2020, 2020.
- [8] ICCO, International Cocoa Organization, Quarterly bulletin of Cocoa statistics, vol, No. 4, Cocoa year 2012/2013, 2014.
- [9] P. Lachenaud, A. Eskes, J.A.K. N'Goran, D. Clement, I. Kébé, M. Tahi et C. Cilas, Premier cycle de sélection récurrente en Côte d'Ivoire et choix des géniteurs du second cycle. In: 13ème Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Kota Kinabalu, Malaisie, 11 pages, 2000.

- [10] CAOBISCO/ECA/FCC, Fèves de cacao: Exigences de qualité de l'industrie du chocolat et du cacao. End, M.J. et Dand, R. éditeurs 104p, 2015.
- [11] Hurtado, Effets de la pollinisation contrôlée sur la production de cacao. 8ème conférence interaméricaine, Californie, Trinité-et-Tobago, pp. 109-115, 1960.
- [12] P. Lachenaud, Facteurs De La Fructification Chez Le Cacaoyer (*Theobroma Cacao L.*): Influence sur le Nombre De Graines Par Fruit. Thèse de Doctorat Institut National Agronomique, Paris, p. 188, 1991.
- [13] P. Lachenaud, Variations du nombre de fèves par gousse chez (*Theobroma cacao L.*) en Côte d'Ivoire. I. Le rôle du pollen. J. Hort. Sci. 69, 1123-1129, 1994.
- [14] G.A.R. Wood et R.A. Lass, Cocoa (4th edition). Tropical agriculture series, Longman, LONDON. (620 p), 1985.
- [15] B. Zahouli, S.T. Guehi, G. Irie, A.M. Fae, L. Ban-Koffi, et J.G. Nemlin, Effet des méthodes de séchage sur les caractéristiques de qualité chimique de la matière première du cacao. Advance Journal of Food Science and Technology, 2 (4): 184-90, 2010.
- [16] K. Lainé, «Survey of farming practices on cocoa farms in Côte d'Ivoire.» Rapport d'étude de terrain: 28 p, 2001.
- [17] C.J. Turnbull et A.B. Eskes, Une aide visuelle pour identifier les accessions de cacao largement distribuées. CFC, Amsterdam, Pays-Bas / ICCO, Londres, Royaume-Uni / Bioversity International, Rome, Italie, 2010.
- [18] B. Adomako, Y. Adu-Ampomah, Caractéristiques des haricots des descendances du cacaoyer de la haute Amazonie au Ghana. Agriculture tropicale, (Trinité). 80 (1), 41-47, 2003.
- [19] C. Lanaud, O. Sounigo, Y.K. Amefia, D. Paulin, P. Lachenaud, et D. Clément. Nouvelles données sur le fonctionnement du système d'incompatibilité du cacaoyer et ses conséquences pour la sélection, 1987.
- [20] A.D. Sukha, P. Umaharan et D.R. Butler, L'impact du donneur de pollen sur la saveur du cacao. Société américaine des sciences horticoles, 142 (1), 13-19, 2017.
- [21] W. Fang, L. Meinhardt, S. Mischke, C.M. Bellato, L. Motilal, et D. Zhang, La détermination précise de l'identité génétique d'une seule fève de cacao, à l'aide de marqueurs moléculaires avec un système nanofluidique, garantit l'authentification du cacao. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62: 481-487, 2014.
- [22] A.B Eskes, D. Ahnert, L.C Garcia, Seguine, E., Assemat, S., Guarda, D. et Garcia P.R. Preuves de l'effet de l'environnement aromatique de la pulpe de cacao pendant la fermentation sur le profil aromatique des chocolats, 2012.

COMMUNICATIONS

Attestation de Communication

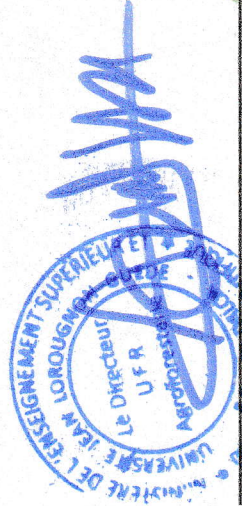
décernée à

ASSI ATTIAPO PEPIN

pour sa communication orale intitulée « **Effets de l'origine génétique du pollen sur les qualités technologiques, physiques et sensorielles des fèves de cacao marchand dans la région de Loh-Djiboua (Divo)** » lors du Colloque International de l'Agroforesterie Tropicale (CIAT) du 13 au 15 décembre 2023 à l'Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

Président du comité scientifique
Pr AKAFU Doffou Sélastique

Directrice de l'UFR Agroforesterie
Dr TONESSIA Dolou Charlotte



REPUBLIQUE DU BENIN

Fraternité- Justice- Travail

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES,
INGÉNIERIE ET MATHÉMATIQUES

ABOMEY

Science et technologie au service de l'homme

2^{ème} COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGÉNIERIE ET MATHÉMATIQUES
(CSI-STIM 2024)



ATTESTATION DE COMMUNICATION

DÉLIVRÉE À

Assi Attiapo Pepin

Pour sa communication au cours du 2^{ème} Colloque Scientifique International sur les Sciences,
Technologies, Ingénierie et Mathématiques (CSI-STIM 2024) organisé sur le Campus Universitaire de

Sogbo-Aliho à Abomey du 08 au 11 Octobre 2024.

Titre de la communication : **Profils biochimiques des fèves de cacao (Theobroma cacao L.) de cinq
familles d'hybrides dans la région du Loh-Djiboua (Divo) en Côte d'Ivoire.**

En foi de quoi la présente attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Abomey, le 12 Octobre 2024



Professeur Aristide Comlan HOUNGAN

Professeur Aristide Comlan HOUNGAN
VICE-RECTEUR, CHARGÉ DE LA RECHERCHE UNIVERSITAIRE
SECRÉTAIRE PERMANENT DU CONSEIL SCIENTIFIQUE



Professeur Joachim Djimon GBENOU

Professeur Joachim Djimon GBENOU
LE RECTEUR
PRÉSIDENT DU CONSEIL SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ
JEAN LOROUGNON GUEDE



ATTESTATION DE COMMUNICATION

décernée à

ASSI ATTIAPO PEPIN

pour sa communication portant sur « **Variation des composantes du rendement du cacaoyer (Theobroma cacao L.) dans les zones à pluviométrie contrastée en Côte d'Ivoire** » au 1^{er} Congrès Universitaire du Cacao sur le thème : « **Le cacao, les défis nationaux d'une filière stratégique dans la lutte contre la pauvreté en Afrique de l'ouest** », tenu les 10, 11 et 12 mai 2023 à l'Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa – Côte d'Ivoire).

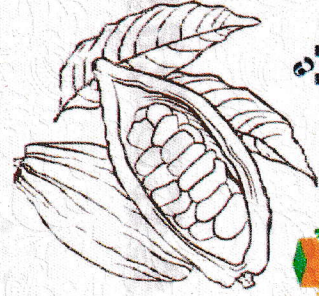
En foi de quoi, cette attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Daloa, le 12 Mai 2023

Président du Comité d'Organisation



Dr. N'GUESSAN Kouassi Guillaume
Maître de Conférences



Présidente du Comité Scientifique



Prof. TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE
Professeur Titulaire





COLLOQUE INTERNATIONAL PLURIDISCIPLINAIRE AWACLIM 2024

Changements climatiques, ressources naturelles, agriculture, santé et développement durable

ATTESTATION DE COMMUNICATION

Délivrée à

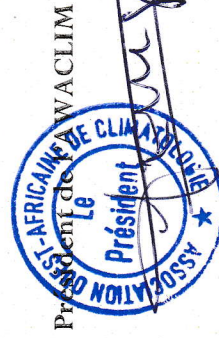
ASSI ATTIAPO PEPIN

Pour sa participation au colloque et sa communication intitulée :

**« EFFET DU CLIMAT SUR LES PARAMETRES TECHNOLOGIQUES ET PHYSIQUES DES FEVES DE
CACAOYER (THEOBROMA CACAO L.) EN COTE D'IVOIRE. »**,

les 15, 16 et 17 octobre 2024 à l'Université Peleforo Gon Coulibaly (Korhogo / Côte d'Ivoire).

En foi de quoi, cette attestation est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.



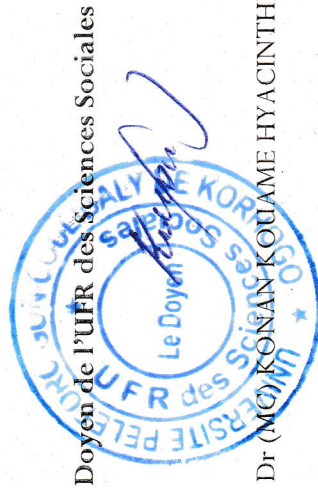
Président de l'AWACLIM

Professeur VISSIN EXPEDIT WILFRID

Fait à Korhogo, le 17 octobre 2024
Présidente du Comité d'Organisation



Présidente
Dr (M) JOSEPHINE PULCHERIE



Doyen de l'UFR des Sciences Sociales

Dr (M) KONAN KOUAME HYACINTHE



BioResearch.ci

2^e Congrès Scientifique International

07 au 09 Mai 2025 à Yamoussoukro

**Thème central : Protéomique et Génomique, une recherche globale
face à l'intelligence artificielle en Afrique de l'Ouest**

Certificat de participation et de communication

décerné à

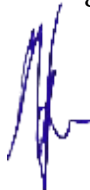
Pépin ASSI

**pour attester de sa participation effective et son poster sur le thème « ANALYSE DES PROFILS BIOCHIMIQUES
DES FÈVES DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.) DE SIX CLONES HAUT PRODUCTEURS DE LA
COLLECTION DU CNRA EN CÔTE D'IVOIRE »**

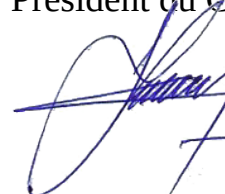
Pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Yamoussoukro, le 09 mai 2025

Prof. KAKOU-NGAZOA Solange
Présidente de BioResearch



Prof. YAO Kouassi Benjamin
Président du Conseil Scientifique



YAO Kouassi Benjamin
Professeur Titulaire (CAMES)
INP-HB Yamoussoukro

La cacaoculture ivoirienne fait face à une baisse de la qualité des fèves. Cette étude vise à identifier parmi les variétés de cacaoyers présentant un haut rendement, celles qui cumulaient en plus, une bonne qualité technologique et sensorielle. Pour répondre à cet objectif, quatre études ont été élaborées. La première a porté sur l'évaluation des caractéristiques technologiques, physicochimiques, biochimiques et sensoriels des fèves de cacaoyers en cours de sélection. Les résultats ont indiqué que le clone C131 est riche en sucres réducteurs (2,09%), en matière grasse (72,01%) avec des fèves présentant de bonnes qualité physique et une faible amertume. La famille F22 s'est caractérisée par des teneurs élevées en sucres totaux (0,72%), en matière grasse (24,49%) et en sels minéraux. La seconde étude a consisté à évaluer l'effet de l'origine génétique du grain de pollen sur la qualité des fèves de cacaoyers. Les résultats de cette étude ont indiqué un effet paternel sur tous les caractères mesurés. En effet, l'origine génétique du pollen affecte le bon remplissage des cabosses. Le croisement C20 X IMC67 a présenté les cabosses les mieux remplies avec un bon grainage avec une moyenne de 49,57 fèves et 156,27g par cabosse et une moyenne de 1,25g par fève sèche. Cette famille a également obtenu les plus fortes teneur en sucres réducteurs (5,20 %) ; en fibres (18,90 %), en protéines (13,54%), en théobromine (4172,56 mg/100g) et en sels minéraux. La troisième étude a abordé l'évaluation de l'effet de différentes zones agroécologiques sur la qualité des fèves de cacaoyers. Les résultats indiquent que la famille F41 (GU 139 A x (E4/3-2 X C2/1-1)) a présenté un bon remplissage des cabosses, tant à Soubré (47,46 fèves par cabosse) qu'à Divo (45,47 fèves par cabosse). Les familles F41 et F21 se distinguent par leur bon remplissage et grainage au plan multi local. Enfin, dans la dernière étude, il a été question d'évaluer l'effet d'ajout de substances aromatiques au cours la fermentation sur les qualités physicochimiques et sensorielles des fèves. A ce niveau, on pourra noter que les clones IMC67 et IFC5, sous ajout de mandarine, ont présenté d'excellentes valeurs pour l'ensemble des paramètres. En effet, l'ajout du jus de mandarine durant la fermentation a contribué à l'amélioration du pH et du taux de matière grasse (pH =5,06 et taux de matière grasse = 79,10%) et (pH =5,20 et taux de matière grasse = 85,90%) respectivement avec IMC67 et IFC5. Par ailleurs, le clone IMC67 avec ajout de jus de banane plantain sur les fèves avant fermentation s'est fait remarqué par une très bonne qualité sensorielle avec une note de 6,64. Ces résultats constituent un indicateur pour la sélection de cacaoyers présentant de bonne qualité physico chimique, biochimique et sensorielle au sein du programme d'amélioration variétale du cacaoyer en Côte d'Ivoire.

Mots clés : Analyse, qualité, *Theobroma cacao* L, Côte d'Ivoire

Summary

Ivorian cocoa cultivation is facing a decline in bean quality. This study aims to identify among the high-yielding cocoa varieties those that also combine good technological and sensory quality. To meet this objective, four studies were developed. The first focused on the evaluation of the technological, physicochemical, biochemical and sensory characteristics of cocoa beans under selection. The results indicated that clone C131 is rich in reducing sugars (2.09%), fat (72.01%), with beans exhibiting good physical quality and low bitterness. The F22 family was characterized by high levels of total sugars (0.72%), fat (24.49%) and mineral salts. The second study consisted of evaluating the effect of the genetic origin of the pollen grain on the quality of cocoa beans. The results of this study indicated a paternal effect on all the measured traits. Indeed, the genetic origin of the pollen affects the good filling of the pods. The C20 X IMC67 cross presented the best filled pods with good graining with an average of 49.57 beans and 156.27g per pod and an average of 1.25g per dry bean. This family also obtained the highest content of reducing sugars (5.20%); fiber (18.90%), protein (13.54%), theobromine (4172.56 mg/100g) and mineral salts. The third study addressed the evaluation of the effect of different agroecological zones on the quality of cocoa beans. The results indicate that the F41 family (GU 139 A x (E4/3-2 X C2/1-1)) presented good pod filling, both in Soubré (47.46 beans per pod) and in Divo (45.47 beans per pod). The F41 and F21 families are distinguished by their good filling and graining at the multi-local level. Finally, in the last study, it was a question of evaluating the effect of adding aromatic substances during fermentation on the physicochemical and sensory qualities of the beans. At this level, it can be noted that the IMC67 and IFC5 clones, with the addition of mandarin, presented excellent values for all parameters. Indeed, the addition of mandarin juice during fermentation contributed to the improvement of pH and fat content (pH = 5.06 and fat content = 79.10%) and (pH = 5.20 and fat content = 85.90%) respectively with IMC67 and IFC5. Furthermore, the IMC67 clone with plantain juice added to the beans before fermentation stood out for its very good sensory quality with a score of 6.64. These results constitute an indicator for the selection of cocoa trees with good physicochemical, biochemical, and sensory quality within the cocoa varietal improvement program in Côte d'Ivoire.

Keywords. Analysis, quality, *Theobroma cacao* L, Côte d'Ivoire