



ANNÉE UNIVERSITAIRE :

2025-2026

N° D'ORDRE :

179

Prénoms : Nonhondé

Horline Degrâce

NOM : ZIOH

THÈSE DE DOCTORAT

FORMATION DOCTORALE

AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT TROPICAL

Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale

Spécialité : Biochimie et Sciences des Aliments

THÈME :

**Valorisation nutritive des feuilles et fruits
d'*Alchornea cordifolia* en Côte d'Ivoire :
caractérisation physico-chimique, formulation,
analyse organoleptique et optimisation d'un
procédé de fabrication de thé**

JURY

Président : M. DIOMANDE Massé, Professeur Titulaire, Biochimie et Technologie des Aliments, Enseignant-Chercheur à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. KOUAME Kan Benjamin, Maître de Conférences, Biochimie et Technologie des Aliments, Enseignant-Chercheur à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE

Rapporteur : M. KONAN Kouakou Séverin, Maître de Conférences, Biochimie-Pharmacologie, Enseignant-Chercheur à l'Université Péléforo GON COULIBALY

Rapporteur : M^{me} COMBO Agnan Marie-Michel Epse KONAN, Maître de Conférences, Biochimie et Technologie des Aliments, Enseignant-Chercheur à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. YUE BI Yao Clément, Maître de Conférences, Génie des Procédés Agroalimentaire, Enseignant-Chercheur à l'Université NANGUI ABROGOUA

Examineur : M^{me} EKISSI Alice Christine Epse KOUAME, Maître de Conférences, Biochimie et Sciences des Aliments, Enseignant-Chercheur à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu le 21/02/2026

DEDICACE.....	vii
REMERCIEMENTS.....	ix
LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS	xiii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiv
LISTE DES FIGURES	xvi
LISTE DES ANNEXES	xviii
INTRODUCTION	2
PREMIERE PARTIE : GENERALITES	6
1. Ressources végétales locales et leur importance.....	7
1.1. Ressources végétales locales	7
1.2. Importance de la valorisation des ressources végétales locales.....	7
1.3. Place des plantes médicinales et aromatiques dans l'alimentation humaine et la phytothérapie en Afrique de l'Ouest	7
1.4. Enjeux nutritionnels, socio-économiques et technologiques liés à la transformation des plantes en boissons (thés, tisanes)	8
1.5. Rôle des produits à base de plantes dans la sécurité alimentaire et nutritionnelle	8
2. Généralités sur <i>Alchornea cordifolia</i>	8
2.1. Origine sur <i>Alchornea cordifolia</i>	8
2.2. Nom vernaculaire.....	9
2.3. Taxonomie	9
2.4. Description botanique d' <i>Alchornea cordifolia</i>	10
2.4.1. Feuilles	11
2.4.2. Fleurs	12
2.4.3. Fruits.....	13
2.4.4. Écorce et racines.....	13
2.5. Répartition géographique et écologie	14
2.6. Composition biochimique et valeur nutritionnelle	14
2.6.1. Composition primaire.....	14
2.6.2. Micro- et macronutriments	14
2.6.3. Métabolites secondaires et composés bioactifs	15
2.7. Propriétés pharmacologiques.....	15

2.8. Usages	16
2.8.1. Usages médico-traditionnels	16
2.8.1.1. Autres usages	16
2.8.2. Toxicité.....	17
2.9. Potentiel économique et perspectives de valorisation	17
3. Généralités sur le thé.....	18
3.1. Histoire du thé.....	18
3.2. Origine du thé	18
3.3. Sources végétales du thé et profils biochimiques	18
3.3.1. Compositions des feuilles de <i>Camellia sinensis</i>	19
3.3.1.1. Composition bioactive des fleurs et feuilles de <i>Camellia sinensis</i>	19
3.3.1.2. Composition chimique des feuilles de <i>Camellia sinensis</i>	20
3.4. Procédés de fabrication de thé	20
3.4.1. Flétrissage.....	21
3.4.2. Roulage.....	21
3.4.3. Fermentation.....	21
3.4.4. La fixation	22
3.4.5. Dessiccation ou séchage	22
3.4.6. Tamisage et emballage	22
3.5. Différentes couleurs du thé	22
3.5.1. Thé blanc	23
3.5.2. Thé vert.....	23
3.5.3. Thé jaune	23
3.5.4. Thé Oolong.....	23
3.5.5. Thé noir (ou rouge).....	23
3.5.6. Thé sombre	23
3.6. Table d'infusion.....	25
3.7. Différents grades de thé	25
3.7.1. Thés à feuilles entières (Whole Leaf Tea).....	25
3.7.2. Thés à feuilles brisées (Broken Leaf Tea).....	26
3.7.3. Thés à feuilles broyés (Fannings et Dust)	26

3.8. Activité thérapeutique du thé vert.....	26
3.8.1. Activité cardiovasculaire	27
3.8.2. Activité anti-cancéreux.....	27
3.9. Activité thérapeutique du thé blanc	27
3.9.1. Activité antioxydante.....	27
3.9.2. Activité anticancéreuse.....	28
3.9.3. Activité cardiovasculaire	28
3.10. Activité thérapeutique du thé jaune	28
3.10.1. Activité antioxydante	28
3.10.2. Activité anti-inflammatoire.....	28
3.10.3. Activité métabolique et cardiovasculaire	28
3.11. Activité thérapeutique du thé oolong	28
3.11.1. Activité anti-obésité	28
3.11.2. Activité antidiabétique	29
3.11.3. Activité cardiovasculaire.....	29
3.12. Activité thérapeutique du thé noir.....	29
3.12.1. Activité antioxydante	29
3.12.2. Activité cardiovasculaire.....	29
3.12.3. Activité antidiabétique et métabolique	29
3.13. Activité thérapeutique du thé Pu-erh	29
3.13.1. Activité hypolipémiante.....	29
3.13.2. Activité digestive	29
3.13.3. Activité cardiovasculaire et anti-obésité	30
4. Généralités sur la tisane	30
4.1. Origine et définition de la tisane.....	30
4.2. Composition chimique de la tisane	30
4.3. Usages et bienfaits de la tisane	31
4.4. Mode de préparation de la tisane	31
4.4.1. Infusion.....	32
4.4.2. Décoction.....	32
4.4.3. Macération	32

5. Test organoleptique	32
5.1.1. Epreuve hédonique	33
5.1.2. Épreuve analytique	33
5.1.2.1. Tests discriminatifs	34
5.1.2.2. Tests descriptifs	34
5.2. Evaluation sensorielle du thé et de la tisane	34
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	34
1. Présentation de la zone d'étude	37
1.1 Daloa	37
1.2 Yamoussoukro	37
1.3 Séguéla	37
2. MATERIEL	38
2.1. Matériel biologique	38
2.2. Matériel technique et réactifs	39
3. METHODES	40
3.1. Echantillonnage	40
3.2. Préparation des extraits végétaux	40
3.2.1. Obtention de la poudre des feuilles et des fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	40
3.2.2. Préparation des extraits par macération	40
3.3. Analyses biochimiques	41
3.3.1. Détermination de la teneur en matière sèche	41
3.3.2. Détermination de la teneur en protéines brutes	41
3.3.3. Détermination de la teneur en cendres	42
3.3.4. Dosage des sucres totaux	43
3.3.5. Dosage des sucres réducteurs solubles	43
3.3.6. Détermination des fibres brutes	44
3.3.7. Détermination de la teneur en lipides	45
3.3.8. Détermination de la Teneur en glucides totaux	45
3.3.9. Détermination de la valeur énergétique (VE)	45
3.3.10. Détermination de la couleur	46
3.3.11. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)	46

3.3.12. Détermination des minéraux	46
3.3.13. Screening phytochimique.....	47
3.3.13.1. Recherche des tanins.....	48
3.3.13.2. Recherche des alcaloïdes	48
3.3.13.3. Recherche des saponines	48
3.3.13.4. Recherche des polyphénols.....	48
3.3.13.5. Recherche des flavonoïdes	48
3.3.14. Quantification des composés phénoliques	49
3.3.14.1. Dosage des polyphénols totaux	49
3.3.14.2. Dosage des flavonoïdes totaux	49
3.3.14.3. Détermination de la teneur en anthocyanes	50
3.3.14.4. Détermination de la teneur en tanins condensés.....	51
3.3.14.5. Détermination de la teneur en tanins totaux	51
3.3.15. Activité antioxydante	52
3.3.15.1. Test par radical ABTS	52
3.3.15.2. Test d'inhibition du radical DPPH	53
3.3.16. Dosages des vitamines	54
3.3.16.1. Teneur en β -Carotène et vitamine A.....	54
3.3.16.2. Teneur en vitamine C.....	55
3.3.17. Transformation de <i>Alchornea cordifolia</i> en tisane et en thé vert.....	55
3.3.17.1. Procédé de transformation des feuilles de <i>Alchornea cordifolia</i> en tisane.....	55
3.3.17.2. Procédé de transformation des feuilles de <i>Alchornea cordifolia</i> en thé vert.....	56
3.3.18. Analyse sensorielle	58
3.3.18.1. Préparation des échantillons pour analyse sensorielle.....	58
3.3.18.2. Panel sensoriel	58
3.3.19. Epreuves sensorielles de la tisane, du thé vert et des feuilles mortes	58
3.3.19.1. Test d'acceptabilité.....	58
3.3.19.2. Profil sensoriel.....	59
3.3.20. Méthodologie des surfaces de réponses : plan factoriel complet.....	60
3.3.20.1. Inventaire des facteurs et réponses	60
3.3.20.2. Définition du domaine expérimental et établissement de la matrice factorielle de Yates	60
3.3.20.3. Etablissement du modèle de production du thé vert à partir des feuilles d' <i>Alchornea cordifolia</i> et détermination des paramètres de qualité.....	61

3.3.20.4. Détermination des niveaux optimums des paramètres à partir du modèle postulé pour le plan factoriel complet	63
3.3.20.5. Test de validation du modèle issu du plan factoriel complet.....	64
3.3.21. Traitement statistique des données	64
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	66
Chapitre 1 : Détermination de la composition chimique, nutritionnelle et phytochimique des feuilles et des fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	67
1.1. Résultats.....	67
1.1.1. Compositions physico-chimiques des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	67
1.1.2. Structuration des échantillons dans les localités en fonctions des paramètres physico-chimiques	71
1.1.3. Composition minérale des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	73
1.1.4. Relation des paramètres minérales des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	77
1.1.5. Paramètres phytochimiques des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i> dans les trois localités	79
1.1.5.1. Screening phytochimique	79
1.1.5.2. Teneurs en composés phénoliques des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	80
1.1.5.3. Relation des échantillons dans les localités en fonctions des paramètres phytochimiques.....	83
1.2. Discussion.....	84
1.3. Conclusion partielle	94
Chapitres 2 : Détermination de la composition biochimique, l'acceptabilité et le profil des infusions du thé vert et des tisanes issus des feuilles d' <i>Alchornea cordifolia</i>	96
2.1. Résultats.....	96
2.1.1. Compositions physico-chimiques des thés verts et tisanes	96
2.1.2. Composition des minéraux des thés verts et tisanes.....	99
2.1.3. Propriétés phytochimiques du thé vert et tisane issus des feuilles d' <i>Alchornea cordifolia</i> dans les trois localités.....	102
2.1.3.1. Screening phytochimique du thé vert et de la tisane	102
2.1.3.2. Teneur en composés phénoliques du thé et la tisane	102
2.1.3.3. Activité antioxydante.....	104
2.1.3.4. Couleur des thés et des tisanes.....	108
2.1.4. Analyse sensorielle.....	109

2.1.4.1. Test hédonique.....	109
2.1.4.2. Profil sensoriel du thé, de la tisane et des tisanes de feuilles mortes.....	110
2.2. Discussion.....	119
2.3. Conclusion partielle.....	133
Chapitre 3 : Optimisation du procédé de transformation des feuilles d' <i>Alchornea cordifolia</i> en thé vert.....	136
3.1. Résultats.....	136
3.1.1. Diagramme de Pareto.....	136
3.1.2. Variance.....	139
3.1.3. Coefficients d'estimation.....	141
3.1.4. Normalité des résidus.....	143
3.1.5. Optimisation numérique.....	146
3.1.6. Validation du modèle par un test de contrôle.....	147
3.1.7. Compositions physico-chimiques du thé vert optimisé.....	148
3.1.8. Compositions minérales.....	149
3.1.9. Compositions phytochimiques.....	150
3.1.10. Activité antioxydante.....	151
3.1.11. Couleur.....	153
3.2. Discussion.....	154
3.3. Conclusion partielle.....	158
CONCLUSION GENERALE.....	160
REFERENCES.....	158
ANNEXES.....	xx
PUBLICATIONS.....	198

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

À ma tendre mère, KAMBOU Eri Olga épouse KOUAMÉ-GADOH, dont les prières m'ont portée, dont le soutien financier et moral n'a jamais faibli, et dont l'amour est une source inépuisable de force et de courage.

À mon père, KOUAMÉ-GADOH Cyrile, dont les efforts, les sacrifices et la bienveillance ont tracé pour moi le chemin de l'espérance et m'ont permis de croire en un avenir meilleur.

À vous deux, je dédie humblement ce travail, comme un modeste reflet de votre amour, de vos sacrifices et de votre patience.

À tous mes frères et sœurs, Kris, Maëlys et Eammanuellie, enfants unis malgré nos différends, nous nous sommes promis de travailler sans relâche pour élever le niveau de vie de notre famille.

Je crois sincèrement que ce principe du travail bien fait est respecté et trouve ici une concrétisation à travers ce mémoire

Je vous aime tous !

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, j'exprime ma profonde gratitude à Dieu, mon créateur et rédempteur, maître du temps, de l'espace et des circonstances, pleins de sagesse et d'amour. Éternel, merci de m'avoir accordé la force et la patience d'aller jusqu'au bout de mon rêve et le bonheur d'achever ce travail.

Le travail qui a abouti à ce mémoire a été réalisé au laboratoire d'Agrovalorisation, de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) d'Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE. Cette thèse n'aurait pu être menée à terme sans la contribution scientifique et le soutien de plusieurs personnes que je souhaite remercier.

Je tiens à saluer et à exprimer mes vifs remerciements ADOHI KROU Viviane, Professeur Titulaire de Physique Atomique et Présidente de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, pour son appui à la recherche scientifique, l'humilité et la sagesse dont elle fait preuve à la tête de cette grande institution.

Je remercie le Professeur SORO Dogniméton, Professeur Titulaire de Pédologie et Vice-Président chargé de la Pédagogie et de la Vie Universitaire de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE pour son appui à la recherche. Je le remercie pour les efforts constants qu'il déploie chaque jour pour assurer le bon fonctionnement de l'Université.

J'exprime mes sincères remerciements au Professeur KONE Siaka, Professeur Titulaire en Sociologie et Vice-Président chargé de la Recherche, de l'Innovation Technologique et des Relations Extérieures de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE pour son humilité exemplaire et les efforts qu'il déploie au sein de cette structure.

Il m'est agréable de remercier, Docteur KOUASSI Kouassi Clément, Maître de Conférences en Microbiologie et Sécurité Alimentaire, par ailleurs Directeur de l'UFR-Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, de m'avoir accueilli au sein de son unité de recherche pour réaliser cette étude doctorale.

J'aimerais humblement remercier le Professeur BEUGRE Grah Avit Maxwell, Professeur Titulaire en Biochimie-Nutrition et Directeur du Laboratoire d'Agrovalorisation de l'UFR-Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, pour m'avoir accepté dans son équipe de recherche.

La direction scientifique de ce travail a été assurée par le Docteur KOUAME Kan Benjamin, Maître de Conférences en Biochimie et Technologie des Aliments à l'UFR-Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE. Je tiens vivement à vous exprimer

ma profonde reconnaissance et gratitude pour votre disponibilité. La confiance que vous avez placée en moi a été inestimable. Puisse le Divin vous accorder la grâce et le bonheur.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance au Professeur DIOMANDE Massé, Professeur Titulaire en Biochimie et Technologie des Aliments à l'UFR Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider ce jury malgré ses nombreuses occupations universitaires.

Je témoigne toute ma reconnaissance au Docteur COMBO Agnan Marie-Michel épouse KONAN, Maître de Conférences en Biochimie et Technologie des Aliments à l'UFR-Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, pour avoir accepté d'instruire ma thèse de Doctorat.

Je remercie également le Docteur KONAN Kouakou Séverin, Maître de Conférences en Biochimie-Pharmacologie à l'Université Péléforo GON COULIBALY, pour avoir accepté d'instruire ma thèse de Doctorat.

Je tiens à remercier le Docteur Ekissi Alice Christine épouse KOUAME, Maître de Conférences en Biochimie et Sciences des Aliments à l'UFR-Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, pour la sollicitude qu'elle m'a témoignée. Je suis particulièrement sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant d'examiner ce travail.

Tous mes remerciements vont également à l'endroit du Docteur YUE BI Yao Clément, Maître de Conférences en Génie des procédés Agroalimentaires de l'Université NANGUI ABROGOUA, pour avoir accepté d'être membre du jury, ainsi que pour ses suggestions constructives et significatives qui ont contribué à l'amélioration de cette thèse de doctorat.

J'adresse mes sincères remerciements au Docteur KOKO Anauma Casimir, Maître de Conférences en Biochimie et Technologie Alimentaire et Responsable de filière Biochimie-Microbiologie à l'UFR-Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, pour sa bienveillance et sa spontanéité. Malgré ses nombreuses responsabilités, il a généreusement accepté de superviser une partie de mon travail. Je le remercie sincèrement pour l'attention qu'il accorde à la formation des étudiants, ainsi que pour ses conseils précieux qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce projet. Sa rigueur professionnelle fait de lui un modèle et une source d'inspiration. Enfin, je le remercie pour la confiance qu'il m'a accordée et pour son accompagnement constant tout au long de ce parcours.

J'exprime ma gratitude la plus profonde au Professeur YOBOUE N'Guessan Lucie, Professeur Titulaire en Entomologie et Présidente du Conseil Scientifique de l'UFR Agroforesterie à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, qui a accepté la thèse de Doctorat au Conseil Scientifique.

J'exprime ma profonde gratitude au Docteur SORO Sibirina, Maitres de Conférences en Phytopathologie, à l'UFR Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, pour m'avoir permis de manipuler dans son laboratoire pour mes analyses.

Je remercie Docteur TRAORÉ Koba Fatou épouse TOURÉ, Maître-Assistante en Biochimie et Technologie des Aliments à l'UFR Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE pour sa disponibilité et son expertise tout au long de l'instruction de ma thèse.

J'exprime ma profonde gratitude à l'ensemble du corps enseignant pour son accompagnement constant et bienveillant tout au long de mon parcours.

Je souhaite également remercier Docteur FOBA Foba Stéphane pour son précieux soutien à la rédaction du mémoire et pour tous ses conseils avisés qui m'ont été d'une grande aide.

Je remercie Docteur ASSI Pepin pour son précieux soutien au traitement de mes données qui m'ont été d'une grande aide.

Je tiens à remercier Docteur COULIBALY Moussa et Monsieur OBLE de l'Institut polytechnique Houphouët-Boigny.

Au Docteur TRAORE Fakana Drissa, j'adresse également ma profonde gratitude pour son soutien, son assistance dans la rédaction et son implication dans tous les contours de ce travail.

Au Docteur YAO Jean Jaures, Docteur TRAORE Aboulaye et tout le laboratoire pour leur aide.

Je n'oublie pas Docteur KONAN Kouakou Ahossi, pour son aide et surtout pour ses mots d'encouragements marquants, en particulier cette phrase qui résonne encore : « on ne dort pas ici ».

J'adresse également mes sincères remerciements à toute l'équipe du Laboratoire d'Agrovalorisation de l'UFR-Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE pour le soutien précieux qu'elle a apporté dans la conduite de ce travail.

Je tiens à remercier, Maman NOBOU Yvone prophétesse à l'église Philadelphie le sanctuaire pour toutes ses prières, son écoute, ses encouragements à mon égard longue vie à toi.

Mes sincères remerciements vont à Monsieur TCHETCHEBOU Jean-Bédél Sidehiri, à qui je suis profondément reconnaissante pour son engagement lors des échantillonnages, sa patience, sa confiance et son soutien tout au long de ce parcours.

Mes remerciements sincères vont tout particulièrement :

- à BOLOU Sahi Rosly, pour son accompagnement constant et son aide précieuse dans la rédaction de ce mémoire. Je lui suis infiniment reconnaissante.

- à DALÉ Laurène, je témoigne ma reconnaissance pour ses prières et son appui moral.

Ma profonde gratitude va aussi à ZOUZOU Souné Carole, mon binôme, pour son soutien immense et sa présence constante à mes côtés.

Je remercie affectueusement Messieurs SÉROUX Elandrine et KONÉ Katy pour leur hospitalité et leur aide lors de mes échantillonnages.

J'exprime également mes remerciements à ma tante, Mme KAMBOU Oho Clarisse, pour son soutien indéfectible.

Je tiens à remercier Mme DOBE Valérie et DOBE Franck pour leur soutien et toute l'aide qu'ils m'ont apportée tout au long de ces années scolaires.

Enfin, j'adresse toute ma reconnaissance à toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont soutenue et ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Je vous porte une grande affection et vous dis tout simplement : merci à tous.

Je tiens à exprimer toute ma profonde gratitude à ma famille et à mes amis qui, par leur soutien indéfectible, ont été des piliers essentiels dans la réalisation de ce travail de thèse.

LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS

AOAC :	Association of Official Analytical Chemists
MS :	Matière sèche
QN :	Quantité d'azote
NaOH :	Hydroxyde de sodium
Na ₂ CO ₃ :	Carbonate de sodium
AlCl ₃ / AlCl ₂ :	Chlorure d'aluminium
NaNO ₂ :	Nitrite de sodium
MeOH :	Méthanol
C3G :	Cyanidine-3-glycoside
EAG :	Équivalent acide gallique
EQ :	Équivalent quercétine
EC :	Équivalent catéchine
EAT :	Équivalent acide tannique
DPPH :	1,1-Diphényl-2-picrylhydrazyl
ABTS :	Radical cationique 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)
TE :	Trolox équivalent
β-carotène :	βéta-carotène
UV/Vis :	Spectrophotomètre ultraviolet-visible
CI ₅₀ :	Concentration inhibitrice 50 %
DO :	Densité optique
FAO :	Food and Agriculture Organization
FJ :	Feuilles jeunes
FM :	Feuilles matures
FMo :	Feuille mortes
Fr :	Fruits
kg :	kilogramme
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
pH:	Potentiel hydrogène
T :	Thé
Te :	Teneur en eau.
Ti :	Tisane
UV :	Ultra-violet.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Composition en éléments minéraux (mg/g) des feuilles de <i>Camellia sinensis</i> ...	20
Tableau II: Température d'infusion, temps d'infusion et moment de prise du thé.....	25
Tableau III: Domaine expérimental.....	61
Tableau IV: Matrice de Yates et tableau d'expérimentation du plan factoriel complet 2 ⁴ utilisé.....	63
Tableau V: Compositions physico-chimiques des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i> dans trois localités.....	69
Tableau VI: Compositions physico-chimiques des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i> dans trois localités.....	70
Tableau VII: Valeurs propres entre les variables.....	71
Tableau VIII: Contribution des variables physico-chimiques.....	72
Tableau IX: Teneurs en macro-éléments des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	75
Tableau X: Composés en oligo-éléments des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	76
Tableau XI: Valeurs propres entre les variables.....	77
Tableau XII: Contribution des variables des sels minéraux.....	78
Tableau XIII: Screening phytochimique des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	80
Tableau XIV: Teneurs en composés phénoliques des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	82
Tableau XV: Teneurs en β -carotène et en vitamine A des feuilles et fruits d' <i>Alchornea cordifolia</i>	83
Tableau XVI: Coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres étudiés.....	84
Tableau XVII: Compositions physico-chimiques du thé vert et de la tisane dans trois localités.....	98
Tableau XVIII: Compositions physico-chimiques du thé vert et de la tisane dans trois localités.....	98
Tableau XIX: Concentrations en macro-minéraux du thé vert et de la tisane issus de trois localités.....	101
Tableau XX: Concentrations en oligo-éléments du thé vert et de la tisane issus de trois localités.....	101
Tableau XXI: Screening phytochimique du thé vert et de la tisane de trois localités.....	102
Tableau XXII: Teneurs phénoliques des thés verts et des tisanes d' <i>Alchornea cordifolia</i>	104

Tableau XXIII: Teneurs phénoliques des thés verts et des tisanes d' <i>Alchornea cordifolia</i>	104
Tableau XXIV: Couleurs des tisanes et thés provenant de trois localités	109
Tableau XXV: Test d'acceptabilité	110
Tableau XXVI: Descripteurs du thé vert issu des localités	112
Tableau XXVII: Descripteurs de la tisane issues des localités.....	113
Tableau XXVIII: Descripteurs des tisanes de feuilles mortes issues des localités	115
Tableau XXIX: Analyse de variance pour le modèle de surfaces de réponse de la teneur en eaux	139
Tableau XXX: Analyse de variance pour le modèle de surfaces de réponse de la teneur en flavonoïdes	140
Tableau XXXI: Coefficients du modèle postulé et effets des facteurs sur la teneur en eau et flavonoïdes du thé	142
Tableau XXXII: Statistiques d'ajustement	146
Tableau XXXIII: Valeur expérimentale et prédite des réponses pour la teneur en eau dans les conditions optimales	147
Tableau XXXIV: Valeur expérimentale et prédite des réponses pour la teneur en flavonoïdes dans les conditions optimales	148

LISTE DES FIGURES

Figure 1: *Alchornea cordifolia* 11

Figure 2: Feuille d'*Alchornea cordifolia* 12

Figure 3: Fleurs d'*Alchornea cordifolia* 12

Figure 4: Fruits d'*Alchornea cordifolia* 13

Figure 5: *Camellia sinensis* 19

Figure 6: Types de thé selon le traitement 24

Figure 7: Localité d'étude 38

Figure 8: Feuilles jeunes (a) ; Feuilles matures (b) ; feuilles mortes (c) et Fruits (d) (Zioh, 2022)..... 39

Figure 9: Procédé d'obtention de la tisane d'*Alchornea cordifolia* (Zioh, 2025)..... 56

Figure 10: Transformation des feuilles d'*Alchornea cordifolia* en thé vert (Zioh, 2025)..... 57

Figure 11: Projection des variables physico-chimiques et des localités dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP..... 73

Figure 12: Projection des variables des sels minéraux et les localités dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP 79

Figure 13: Potentiel antioxydant des thés verts et tisanes dans les différentes localités..... 105

Figure 14: Evolution du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration de la vitamine C et des différentes tisanes..... 106

Figure 15: Evolution du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration de la vitamine C et des différents thés verts. 107

Figure 16: Diagramme des CI₅₀ de la vitamine C et des tisanes des différentes localités... 107

Figure 17: Diagramme des CI₅₀ de la vitamine C et des thés verts des différentes localités. 108

Figure 18: Comparaison des profils sensoriels des thés verts dans les trois localités..... 112

Figure 19: Comparaison des profils sensoriels des tisanes dans les trois localités 114

Figure 20: Comparaison des profils sensoriels des tisanes de feuilles mortes dans les trois localités..... 116

Figure 21: Comparaison des profils sensoriels des trois échantillons étudiés 117

Figure 22: Analyse en composantes principales des thés verts et tisanes et des attributs... 118

Figure 23: Classification hiérarchique ascendante du thé vert et de la tisane dans les localités en fonction des attributs. 119

Figure 24: Diagrammes de Pareto standardisés avec inserts pour l'effet des paramètres étudiés sur la teneur en eau. 137

Figure 25: Diagrammes de Pareto et loi normale standardisés avec inserts pour l'effet des paramètres étudiés sur la teneur en flavonoïdes. 138

Figure 26: Normalité des résidus et représentation des résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle pour la teneur en eau..... 144

Figure 27: Normalité des résidus et représentation des résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle pour la teneur en flavonoïdes 145

Figure 28: Résultats optimaux du modèle 146

Figure 29: Compositions physico-chimiques du thé vert optimisé 149

Figure 30: compositions en macro-éléments du thé vert optimisé 150

Figure 31: Compositions en oligo-éléments du thé vert optimisé..... 150

Figure 32: Teneurs en polyphénols du thé vert optimisé 151

Figure 33: Teneurs en tanins du thé vert optimisé 151

Figure 34: Potentiel antioxydant du thé vert optimisé 152

Figure 35: Evolution du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration de la vitamine C et du thé vert optimisé 153

Figure 36: Diagramme des CI_{50} de la vitamine C et du thé vert optimisé..... 153

Figure 37: Couleur thé vert optimisé..... 154

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Fiche de notation pour les tests hédoniques

ANNEXE 2 : Fiche de recrutement

ANNEXE 3 : Fiche de notation pour les profils sensoriels

ANNEXE 4 : Fiche pour référence aux produits

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Depuis des millénaires, les plantes représentent une ressource vitale pour l'humanité, fournissant des aliments, des remèdes et des matériaux essentiels à la subsistance (Dereje & Desalegn, 2013 ; Nyegue *et al.*, 2020). Dans de nombreuses localités du monde, notamment en Afrique subsaharienne, les plantes sauvages occupent une place centrale dans la pharmacopée traditionnelle et l'équilibre nutritionnel des communautés rurales, 2001 ; Zerbo *et al.*, 2012). Ces végétaux sont une source précieuse de nutriments (protéines, fibres, minéraux, vitamines) et de composés bioactifs (polyphénols, flavonoïdes, tanins), qui contribuent au maintien de la santé et à la prévention de nombreuses maladies (Handa *et al.*, 2006 ; Zioh *et al.*, 2024). De nombreux principes actifs utilisés dans l'industrie pharmaceutique moderne trouvent également leur origine dans les plantes médicinales (Pousset, 1989).

En Afrique de l'Ouest, de nombreuses plantes spontanées sont intégrées aux pratiques culinaires et thérapeutiques locales. Elles sont utilisées comme légumes, épices ou boissons fonctionnelles et contribuent à la diversité alimentaire ainsi qu'à la prévention de diverses affections (Kouamé *et al.*, 2008; Ahmed *et al.*, 2013). En Côte d'Ivoire, ce patrimoine végétal occupe une place prépondérante, notamment dans les localités rurales où les populations ont peu de moyens pour accéder à des produits modernes. La valorisation de ces plantes répond donc non seulement à un besoin nutritionnel, mais constitue également une opportunité socio-économique majeure. La transformation de ces plantes en produits alimentaires fonctionnels (tisanes, thés, poudres ou compléments alimentaires) peut en effet générer de nouvelles filières agro-industrielles et des revenus supplémentaires pour les communautés locales, tout en favorisant une consommation durable et la préservation des ressources (Ekissi *et al.*, 2021).

Parmi les espèces d'intérêt, on trouve *Alchornea cordifolia* (Schumach. & Thonn.) Müll. Il s'agit d'une euphorbiacée largement répandue en Afrique tropicale, connue localement sous le nom de « Djeka » en Côte d'Ivoire ou « Christmas bush » en anglais (Arbonnier, 2004). Cet arbuste tentaculaire, présent dans les localités humides et forestières, est utilisé depuis longtemps en médecine traditionnelle africaine. Les feuilles, l'écorce, les fruits et les racines de cette plante sont utilisés sous forme de décoctions ou de macérations pour traiter diverses affections, notamment inflammatoires, digestives, infectieuses et parasitaires (Kerharo & Adam, 1974 ; Dibong *et al.*, 2011 ; Koffi *et al.*, 2021). Les feuilles se distinguent notamment par leur richesse en tanins, alcaloïdes, flavonoïdes et saponines, ce qui leur confère des propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et analgésiques (Adeleye *et al.*, 2008 ; Zioh *et al.*, 2025)

Outre ses propriétés médicinales bien documentées, l'*Alchornea cordifolia* constitue une source nutritionnelle importante. Ses feuilles sont en effet riches en protéines, en fibres, en minéraux essentiels, en polyphénols et en flavonoïdes (Koffi *et al.*, 2021). Des études toxicologiques récentes (Agaba *et al.*, 2024) ont confirmé l'innocuité relative de ses extraits, ce qui ouvre la voie à une valorisation en aliments fonctionnels et nutraceutiques. Malgré son abondance dans l'écosystème ivoirien et ses multiples atouts biologiques et nutritionnels, cette plante est très peu exploitée par les filières agroalimentaires et pharmaceutiques locales. Les recherches antérieures se sont principalement concentrées sur ses activités biologiques (antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antiparasitaires) (Solomo *et al.*, 2017 ; Allassane *et al.*, 2021). Le manque d'études intégrées sur les aspects nutritionnels et organoleptiques, ainsi que sur l'optimisation des procédés de fabrication (notamment pour la production de thé ou de tisane), limite actuellement son exploitation scientifique et industrielle fiable. L'absence de caractérisation physicochimique et d'évaluation sensorielle des produits dérivés constitue un obstacle majeur à sa commercialisation.

La transformation des feuilles et des fruits d'*Alchornea cordifolia* en thé ou en tisane est une voie d'avenir, en phase avec la croissance mondiale du marché des boissons fonctionnelles et naturelles. Les consommateurs recherchent en effet des produits sains, nutritifs et écologiques (Cabrera *et al.*, 2006). Forte de sa riche biodiversité et de son savoir-faire traditionnel, la Côte d'Ivoire dispose d'un avantage comparatif pour développer ces filières. Toutefois, l'absence de procédés technologiques normalisés et optimisés pour sa transformation l'empêche d'intégrer les circuits agro-industriels modernes. De plus, les données sensorielles (couleur, goût, arôme, acceptabilité globale) des infusions sont rares, alors que ces paramètres sont cruciaux pour que le consommateur les accepte. La valorisation alimentaire de l'*Alchornea cordifolia* présente un potentiel socio-économique considérable. Elle permettrait de diversifier l'offre alimentaire, de renforcer la sécurité nutritionnelle des populations et de créer de nouvelles sources de revenus pour les communautés rurales impliquées dans la collecte et la transformation de la plante (FAO, 2022). Par ailleurs, son exploitation durable permettrait de préserver les écosystèmes et s'inscrirait dans une dynamique d'économie circulaire. Elle permettrait ainsi de répondre à plusieurs Objectifs de développement durable (ODD), notamment les ODD 2 (lutte contre la faim et promotion de la sécurité alimentaire), 3 (santé et bien-être) et 12 (consommation et production responsables) (ONU, 2021).

Dans ce contexte, la caractérisation physicochimique, la formulation, l'évaluation sensorielle et l'optimisation d'un procédé de fabrication de thé et de tisane à partir des feuilles

d'*Alchornea cordifolia* devraient offrir un potentiel significatif en vue de sa valorisation accrue en Côte d'Ivoire. L'originalité et l'intérêt de cette étude résident dans le manque de bases de données substantielles sur la valorisation de cette plante. La question suivante se pose donc : comment valoriser scientifiquement les feuilles d'*Alchornea cordifolia* afin d'en faire une ressource nutritionnelle et fonctionnelle fiable et acceptable par les consommateurs ? En conséquence de ce qui précède, quatre interrogations émergent ainsi :

- quelles sont les caractéristiques nutritionnelles, phytochimiques et antioxydantes des feuilles et des fruits d'*Alchornea cordifolia* en Côte d'Ivoire ?
- comment transformer efficacement ces feuilles en produits dérivés (thé, tisane), tout en préservant leurs qualités nutritionnelles et bioactives ?
- quelles sont les propriétés organoleptiques et le niveau d'acceptabilité sensorielle de ces produits par les consommateurs ?
- quels procédés technologiques permettent d'optimiser la qualité et la stabilité des thés et tisanes à base d'*Alchornea cordifolia* ?

Ce travail tentera de répondre à ces interrogations, dont l'objectif général est de contribuer à la valorisation nutritionnelle des feuilles et des fruits d'*Alchornea cordifolia* sous forme de boisson fonctionnel (Thé et tisane) en Côte d'Ivoire.

Plus spécifiquement, il s'agit de :

- déterminer la composition chimique et nutritionnelle ainsi que les composés phytochimiques des feuilles et des fruits d'*Alchornea cordifolia* ;
- déterminer la composition biochimique, l'acceptabilité sensorielle et le profil sensoriel des infusions (thé vert et tisane) élaborées à partir de ces feuilles ;
- optimiser le procédé de fabrication du thé vert à partir des feuilles d'*Alchornea cordifolia* afin d'améliorer la qualité nutritionnelle du produit final ;

Les hypothèses de recherche qui sous-tendent cette étude sont donc les suivantes :

- Hypothèse 1 : les feuilles et les fruits d'*Alchornea cordifolia* présentent une teneur en nutriments et en composés bioactifs distinctes selon l'organe végétal et la localité ;
- Hypothèse 2 : la fabrication des feuilles en thé et tisane permet de préserver, modifier ou d'améliorer leurs propriétés nutritionnelles, phytochimiques et l'acceptabilité sensorielles des produits ;

- Hypothèse 3 : les procédés optimisés permettent d'obtenir des thés de qualité et présente des caractéristiques biochimiques à forte valeur nutritionnelle.

Outre l'introduction, qui présente le contexte et la problématique, le présent mémoire se compose de trois grandes parties. La première partie présente les généralités. Elle fait l'état des connaissances sur *Alchornea cordifolia*, le thé et les tisanes, leurs procédés de fabrication, ainsi que leur importance nutritionnelle et médicinale. La deuxième partie est consacrée au matériel et aux méthodes. Elle présente le matériel, les outils et les techniques utilisés, ainsi que la méthodologie mise en œuvre pour atteindre les objectifs fixés. Les résultats seront présentés et discutés dans la troisième partie. Cette dernière partie débouche sur une conclusion générale qui synthétise les acquis et les perspectives pour une meilleure valorisation d'*Alchornea cordifolia*.

PREMIERE PARTIE :
GENERALITES

1. Ressources végétales locales et leur importance

1.1. Ressources végétales locales

Les ressources végétales locales constituent l'un des piliers essentiels des systèmes agroalimentaires africains. Elles regroupent une grande diversité d'espèces comestibles, médicinales et aromatiques qui poussent spontanément dans les forêts, les zones agroforestières, les jachères ou les formations riveraines (Provendier & Gutleben, 2009).

Ces plantes représentent un réservoir important de nutriments essentiels, de composés bioactifs et de matières premières pour la médecine traditionnelle, l'alimentation et l'artisanat local. Parmi ces ressources, certaines espèces se distinguent par leur richesse en polyphénols, flavonoïdes, tanins, vitamines et minéraux, qui sont à la fois bénéfiques pour la santé humaine et intéressants pour la valorisation industrielle (Hostettmann *et al.*, 2000 ; Atawodi, 2005 ; Bruneton, 2016 ; Dhifi *et al.*, 2016).

1.2. Importance de la valorisation des ressources végétales locales

La valorisation de ces ressources végétales locales est primordiale à plusieurs niveaux. Sur le plan économique, elle permet de créer des filières locales et d'offrir des produits à haute valeur ajoutée, générant des revenus pour les communautés rurales. Sur le plan nutritionnel, elle contribue à la diversification alimentaire et à la fourniture de nutriments et composés bioactifs essentiels pour la santé (Ouattara *et al.*, 2016 ; Germain *et al.*, 2021).

Sur le plan écologique, l'exploitation durable de ces plantes favorise la conservation de la biodiversité et la résilience des écosystèmes face aux pressions anthropiques. Enfin, la transformation de ces plantes en boissons ou produits phytothérapeutiques permet d'allier alimentation fonctionnelle et santé préventive, répondant aux enjeux nutritionnels et sanitaires des populations africaines (Assogbadjo *et al.*, 2012 ; Balogun, 2022).

1.3. Place des plantes médicinales et aromatiques dans l'alimentation humaine et la phytothérapie en Afrique de l'Ouest

Les plantes médicinales et aromatiques occupent une place centrale dans l'alimentation et la santé en Afrique de l'Ouest. Elles sont utilisées sous forme de feuilles séchées, racines, écorces, fruits ou graines pour préparer des tisanes, infusions, extraits ou épices, apportant à la fois nutriments essentiels et composés bioactifs (Togola, 2002 ; Balogun, 2022). Certaines espèces, comme *Alchornea cordifolia*, sont intégrées à la pharmacopée traditionnelle pour leurs

propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires, illustrant la convergence entre alimentation et phytothérapie (Tona *et al.*, 2000).

1.4. Enjeux nutritionnels, socio-économiques et technologiques liés à la transformation des plantes en boissons (thés, tisanes)

La transformation des plantes en boissons comme les thés et tisanes soulève plusieurs enjeux. Sur le plan nutritionnel, il est crucial de préserver les protéines, fibres, polyphénols et vitamines lors des procédés de séchage, infusion ou extraction, afin de garantir un apport fonctionnel et santé (Roslan *et al.*, 2020).

Sur le plan socio-économique, ces produits offrent des opportunités de revenus pour les collecteurs, producteurs et transformateurs locaux, tout en stimulant l'innovation agroalimentaire et la bioéconomie. Sur le plan technologique, l'optimisation des procédés est essentielle pour conserver les qualités organoleptiques et bioactives des plantes, tout en assurant leur sécurité sanitaire (Díaz-Maroto *et al.*, 2003 ; Naczki & Shahidi, 2006).

1.5. Rôle des produits à base de plantes dans la sécurité alimentaire et nutritionnelle

Les produits à base de plantes, tels que les tisanes et thés fonctionnels, contribuent directement à la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Ils diversifient l'alimentation, apportent des micronutriments essentiels et des composés bioactifs, et participent à la prévention de certaines maladies liées au stress oxydatif (Assogbadjo *et al.*, 2012). La promotion de ces produits favorise également l'exploitation durable des ressources végétales locales, soutenant la résilience des communautés face aux défis nutritionnels et économiques en Afrique de l'Ouest.

Dans ce contexte de valorisation des ressources végétales locales et de promotion des produits alimentaires et phytothérapeutiques, certaines espèces indigènes présentent un intérêt particulier pour la nutrition, la santé et l'économie locale. Parmi elles, *Alchornea cordifolia* est une plante médicinale et aromatique largement répandue en Afrique tropicale, connue pour ses feuilles, fruits, écorces et racines riches en composés bioactifs tels que flavonoïdes, polyphénols, tanins et alcaloïdes (Kitadi *et al.*, 2020 ; Tona *et al.*, 2000).

2. Généralités sur *Alchornea cordifolia*

2.1. Origine sur *Alchornea cordifolia*

Alchornea cordifolia est largement répartie en Afrique, depuis le Sénégal jusqu'au Kenya et à la Tanzanie, et s'étend vers le sud à travers l'Afrique centrale jusqu'en Angola (Sundaresan,

2002). Espèce typiquement guinéo-congolaise, elle se rencontre principalement dans les formations anthropiques, du Sénégal au Cameroun. C'est un nanophanérophyte héliophile, fréquemment présent dans les recrus forestiers. En Côte d'Ivoire, on la retrouve dans les fourrés secondaires, les galeries forestières, en localité de savane, ainsi que dans la végétation littorale caractérisée par des arbustes dispersés (Adjanohoun & Aké-Assi, 1967). Elle colonise également les jachères et se développe préférentiellement sur des sols relativement humides (Hutchinson & Dalziel, 1954).

2.2. Nom vernaculaire

Alchornea cordifolia est désignée par de nombreux noms vernaculaires selon les localités et les ethnies. En Côte d'Ivoire, elle est appelée *Djéka* chez les Baoulé, *Glouméï* chez les Bété, *Diéca* chez les Agni, *Lofègué* chez les Sénoufo, *Poho* chez les Guéré, *N'dzè* chez les Attié, *Kodjiran* chez les Abouré, *Gbadalefrè* chez les Avikam, *Flenné* chez les Gouro, *Fonné* chez les Yacouba, et *Vidjové* chez les Abbey (Ekissi *et al.*, 2021). Dans d'autres pays africains, elle porte également plusieurs appellations : *Kimbusila* en République Démocratique du Congo, *Christmas bush* ou *Ipa* au Nigeria, *Ira* au Sénégal, ainsi que *Koy iran*, *Gargasaki* ou *Bolonta* en Guinée. Chez les Bambaras, elle est connue sous les noms de *Ko gira*, *Kounaninkala*, *Dunféké*, *Konossasa* et *Moridaba*, tandis que les Ashantis la désignent par *Yama* (Crète, 1965).

2.3. Taxonomie

Alchornea cordifolia (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg. est une espèce appartenant à la famille des Euphorbiaceae, un groupe qui comprend de nombreuses plantes à usages médicaux *et* alimentaires. Le genre *Alchornea* regroupe environ 60 à 70 espèces largement réparties dans les régions tropicales, dont plusieurs sont utilisées en médecine traditionnelle pour leurs propriétés anti-inflammatoires et antimicrobiennes (Neuwinger, 2000). Cette classification place *Alchornea cordifolia* dans un groupe de plantes riches en métabolites secondaires, notamment en tanins et polyphénols, ce qui justifie en partie ses multiples usages ethnobotaniques.

La position systématique de l'espèce se présente de la manière suivante (Crète, 1965) :

Règne	Plantae
Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermatophytina
Classe	Magnoliosida
Sous classe	Rosidae
Ordre	Malpighiales
Famille	Euphorbiaceae
Sous famille	Acalyphoideae
Genre	<i>Alchornea</i>
Espèce	<i>Alchornea cordifolia</i>

2.4. Description botanique d'*Alchornea cordifolia*

Alchornea cordifolia, est un arbuste ramifié à feuillage persistant, pouvant également se développer sous forme d'un petit arbre atteignant jusqu'à 8 m de hauteur (Figure 1). Les jeunes pousses se dressent, deviennent progressivement horizontales ; elles sont creuses et glabres (Mavar-Manga *et al.*, 2007). La reproduction de l'espèce s'effectue soit par graines, soit par boutures de tiges (Adjanooun & Aké-Assi, 1968). Les boutures émettent des racines après environ neuf semaines, tandis que les graines présentent une germination variable, comprise entre trois et douze semaines après leur mise en terre (Mavar-Manga *et al.*, 2007).



Figure 1: *Alchornea cordifolia*

Source : Semenka (2025)

2.4.1. Feuilles

Les feuilles d'*Alchornea cordifolia* (Figure 2) sont alternes et longuement pétiolées, avec des pétioles mesurant entre 5 et 15 cm. Elles présentent un limbe largement ovale, de 10 à 28 cm de longueur pour 6,5 à 16,5 cm de largeur, à base cordée et à sommet acuminé. Le bord des feuilles est parfois entier, mais le plus souvent denté. La face inférieure est finement pubescente, recouverte de poils étoilés devenant progressivement glabre. Le limbe est trinervé et porte, à sa base, quatre glandes situées sur la face inférieure (Arbonnier, 2002). Elles ont une texture coriace, avec une nervation palmée bien marquée. Leur couleur varie du vert foncé au vert clair selon l'âge, et elles dégagent une odeur aromatique lorsqu'on les froisse (Burkill, 1994).



Figure 2: Feuille d'*Alchornea cordifolia*

Source : Sénégal ENGOUEMENT (2014)

2.4.2. Fleurs

Alchornea cordifolia est une plante dioïque. Les fleurs femelles (Figure 3), très petites, de couleur gris verdâtre, sont regroupées en grappes pendantes pouvant atteindre 25 cm, insérées sur les branches ou directement sur le tronc. Les fleurs mâles, quant à elles, sont disposées en panicules axillaires mesurant de 8 à 36 cm de long, et présentent une coloration verdâtre (Arbonnier, 2002).



Figure 3: Fleurs d'*Alchornea cordifolia*

Source : Ken Fern (2014)

2.4.3. Fruits

Les fruits d'*Alchornea cordifolia* (Figure 4) sont des capsules sphériques à deux ou trois loges, légèrement aplaties renfermant chacune une graine, d'environ 1 cm de diamètre. Ils sont pubescents, recouverts de poils étoilés, et passent du vert au rouge ou brun-rouge à maturité. Ces fruits se distinguent par la présence de deux longs styles persistants à leur extrémité, laissant apparaître des graines de couleur rouge (Arbonnier, 2002).



Figure 4: Fruits d'*Alchornea cordifolia*

Source : Ken Fern (2014)

2.4.4. Écorce et racines

Les racines et l'écorce d'*Alchornea cordifolia*, de texture rugueuse et brunâtre, présentent les traits morphologiques typiques des Euphorbiaceae, reflétant une bonne adaptation aux milieux humides. Selon Burkill (1994), l'espèce possède une racine pivotante robuste accompagnée de racines latérales fibreuses, assurant un ancrage efficace dans les sols forestiers. Les racines, brun foncé vers la zone subérisée, montrent en coupe un cortex développé.

L'écorce, épaisse et brun-rougeâtre, est constituée d'un périderme marqué et d'un cortex compact (Hutchinson & Dalziel, 1954), structure qui assure une résistance mécanique notable.

2.5. Répartition géographique et écologie

Alchornea cordifolia est largement distribuée en Afrique tropicale, de l’Afrique de l’Ouest (Sénégal, Côte d’Ivoire, Ghana, Nigeria) jusqu’à l’Afrique centrale et orientale (Cameroun, Ouganda, Tanzanie). En Côte d’Ivoire, elle est surtout présente dans les zones de forêt humide et préforestières. L’espèce colonise fréquemment les forêts secondaires et les formations riveraines, s’adaptant aussi bien aux milieux marécageux qu’aux terrains secs, avec une préférence pour les sols acides. Espèce pionnière, elle occupe divers habitats tropicaux (Latham, 2004).

Agroécologiquement, *Alchornea cordifolia* pousse spontanément dans les zones marécageuses, bords de rivières, jachères et systèmes agroforestiers, grâce à un système racinaire développé lui permettant de s’adapter à différents sols. Elle contribue également à la stabilisation des sols et à la régénération de la végétation dans les écosystèmes perturbés (Hutchinson & Dalziel, 1954).

2.6. Composition biochimique et valeur nutritionnelle

2.6.1. Composition primaire

Les feuilles et fruits d’*Alchornea cordifolia* présentent une composition primaire intéressante pour la nutrition humaine. Les feuilles ont une teneur élevée en protéines (15–20 % sur matière sèche), en fibres alimentaires (10–18 %) et en glucides complexes, tandis que les lipides restent faibles (<5 %). L’humidité des feuilles varie entre 75 et 85 %, influençant leur conservation et leur transformation (Balogun, 2022). Les graines sont également riches en lipides et contiennent une huile spécifique, notamment des acides gras époxydés, qui participent à leur valeur énergétique et fonctionnelle (Kerharo & Adam, 1974).

2.6.2. Micro- et macronutriments

Les feuilles et fruits sont sources de nombreux minéraux et vitamines. Elles contiennent du calcium, du magnésium, du potassium et du fer, avec des traces de zinc, cuivre, manganèse et cobalt, contribuant à la couverture des besoins nutritionnels essentiels (Kitadi *et al.*, 2020). Les vitamines A, C, E et B (B1, B2, B6) sont présentes dans les feuilles, renforçant leur potentiel antioxydant et leur intérêt pour la santé. Les fruits apportent surtout des vitamines C et E, augmentant la valeur nutritive et le pouvoir fonctionnel de la plante.

2.6.3. Métabolites secondaires et composés bioactifs

Alchornea cordifolia est riche en composés bioactifs qui confèrent des propriétés fonctionnelles et thérapeutiques. Les feuilles contiennent des flavonoïdes, des tanins, des coumarines, des acides aminés, des stéroïdes, des triterpénoïdes ainsi que des oligo-éléments tels que le manganèse, le cobalt, le cuivre et le fer (Kitadi *et al.*, 2020). Les écorces et racines renferment des tanins, des terpénoïdes, des stérols et de faibles traces d'alcaloïdes, tandis que des acides spécifiques comme l'acide gentisique et l'acide anthranique ont été identifiés dans l'écorce (Fereira *et al.*, 1963). Les graines contiennent des composés tels que l'acide alchornoïque, l'alchorneïne et l'alchonidine (Ajali, 2000). Ces métabolites secondaires sont essentiels pour la formulation de produits alimentaires fonctionnels comme les thés, tisanes et extraits standardisés (Agbor & Odetola, 2005).

2.7. Propriétés pharmacologiques

Les feuilles, fruits, écorces et racines d'*Alchornea cordifolia* présentent une forte activité antioxydante, due à la présence combinée de flavonoïdes, polyphénols et vitamines. Ces composés bioactifs, complétés par des terpénoïdes, tanins, saponines, glucides *et* alcaloïdes tels que l'alchorneïne, l'alchomidine et les alcaloïdes guanidiniques, varient selon l'organe de la plante et le type d'extrait ou de fraction étudiée (Togola, 2002 ; Kitadi *et al.*, 2020).

Les différentes parties de la plante ont également démontré des activités antimicrobiennes et anti-inflammatoires significatives, justifiant leur usage traditionnel et leur potentiel thérapeutique documenté (Mavar-Manga *et al.*, 2007). L'écorce présente des propriétés antibactériennes, antimicrobiennes et antifongiques, modulées par le type de solvant d'extraction (Ajali, 2000 ; Ebi, 2001 ; Owasini *et al.*, 2015 ; Mambe *et al.*, 2016 ; Noundou *et al.*, 2016). Les racines, bien que moins étudiées, révèlent également une activité antimicrobienne (Ebi, 2001 ; Mambe *et al.*, 2016). Les graines, quant à elles, ont montré un effet antipaludique (Ayisi *et al.*, 2011), tandis que la pulpe est utilisée comme complément nutritionnel chez les poulets de chair (Emenalom *et al.*, 2012).

Ces propriétés combinées confèrent à *Alchornea cordifolia* un intérêt considérable pour le développement de produits alimentaires et phytothérapeutiques à haute valeur ajoutée, contribuant à la valorisation durable des ressources végétales locales et au renforcement de la bioéconomie.

2.8. Usages

2.8.1. Usages médico-traditionnels

Alchornea cordifolia est une plante médicinale très répandue en Afrique, utilisée seule ou en association avec d'autres espèces. Toutes ses parties, fraîches ou sèches, sont employées à des fins thérapeutiques.

En Côte d'Ivoire, elle est couramment intégrée à la médecine traditionnelle pour traiter diverses affections, notamment les inflammations chroniques, les troubles respiratoires et les douleurs rhumatismales (Adjanooun, 1994 ; Adjanooun & Aké Assi, 1979). Le décocté de feuilles est utilisé comme antidyssentérique en Côte d'Ivoire, au Burkina Faso et en Centrafrique, contre les douleurs abdominales au Ghana, et comme emménagogue (Kerharo, 1950). L'écorce de tronc, parfois associée à celle de *Symphonia lobulifera*, est administrée comme apéritif.

Les racines sont rapportées comme remède contre la lèpre (Abbiw, 1990), tandis que la poudre de feuilles appliquée localement favorise une cicatrisation rapide des plaies et des ulcères (Kerharo, 1950). En Guinée, différentes parties de la plante sont exploitées : l'écorce comme vermifuge et en compresses contre la splénomégalie, les racines pour soigner les morsures de serpent, et les feuilles comme antispasmodiques, ainsi que pour traiter bronchites, conjonctivites et troubles digestifs (Mustofa *et al.*, 2000). En usage externe, le jus appliqué en friction soigne diverses maladies cutanées, notamment la teigne (Kerharo, 1950).

En médecine vétérinaire, l'infusion de feuilles ou de racines est administrée au bétail pour traiter la trypanosomiase. La plante est également cultivée en République Démocratique du Congo pour ses vertus médicinales (Mavar-Manga *et al.*, 2007). Au Nigeria, la décoction de fruits écrasés est utilisée pour prévenir les fausses couches, tandis que le jus des fruits sert à traiter les affections oculaires et certaines dermatoses (Kerharo, 1950).

2.8.1.1. Autres usages

Au Congo, *Alchornea cordifolia* fait partie de l'une des plantes sauvages comestibles par les populations de la localité de Yoko, (Solomo *et al.*, 2017). Au Gabon, l'écorce et les feuilles d'*Alchornea cordifolia* sont employées pour teindre en noir les étoffes et les poteries, la cendre du bois servant de mordant (Madiélé *et al.*, 2013 ; Mavar-Manga *et al.*, 2007). La tige est utilisée pour la construction domestique et comme bois de chauffe, tandis que le bois sert également de combustible (Adjanooun *et al.*, 1985).

L'extrait de la plante est appliqué comme anti-salissant dans les peintures, revêtements et polymères, et l'acide alchornéique qu'il contient a été proposé comme matière première pour l'hémisynthèse du plastique (Mavar-Manga *et al.*, 2007). Les feuilles constituent aussi un fourrage pour les petits ruminants et volailles (Agbe & Oguntimein, 1987). En Côte d'Ivoire et au Ghana, elles sont utilisées comme insecticide, tandis qu'au Nigeria, l'écorce est jetée dans les retenues d'eau pour la pêche. Enfin, *Alchornea cordifolia* est cultivée en allées pour fournir du paillage in situ dans les bananeraies et les champs de maïs d'Afrique de l'Ouest et de l'Est (Mavar-Manga *et al.*, 2007).

2.8.2. Toxicité

Les études de toxicité réalisées sur *Alchornea cordifolia* indiquent une bonne tolérance chez les souris albinos. L'administration orale de doses croissantes d'extrait sec alcoolique, comprises entre 0,5 g/kg et 400 g/kg, n'a provoqué aucun signe de toxicité. De plus, les examens anatomo-pathologiques des organes tels que le cœur, l'estomac, le foie et les reins n'ont révélé aucune lésion apparente (Kambu *et al.*, 2005). Par ailleurs, l'application locale du même extrait sur les organes génitaux de souris femelles n'a entraîné aucune toxicité observable, comme le confirment les analyses histopathologiques (Kambu *et al.*, 2005). Dans le même sens, les travaux de Traoré (2004) ont montré que les extraits aqueux d'*Alchornea cordifolia* sont dépourvus de toxicité, avec des valeurs de DL50 supérieures à 500 mg/kg par voie orale et à 1000 mg/kg par voie intrapéritonéale chez les souris femelles.

2.9. Potentiel économique et perspectives de valorisation

La valorisation économique d'*Alchornea cordifolia* reste encore limitée malgré son fort potentiel. Dans plusieurs pays, tels que le Nigeria, le Ghana et la Sierra Leone, des entreprises locales commercialisent déjà des tisanes ou des extraits secs standardisés. Les feuilles séchées sont également vendues sur les marchés sous forme de poudre ou d'infusions prêtes à l'emploi.

Le développement de filières structurées pourrait favoriser la création de produits dérivés, tels que les thés, tisanes, poudres et extraits, tout en assurant une meilleure standardisation des procédés. Cela permettrait également d'augmenter les revenus des collecteurs et producteurs et de promouvoir une exploitation durable de cette ressource locale. Selon El Bilali *et al.* (2022), la valorisation durable des plantes indigènes contribue non seulement à la diversification alimentaire, mais également au développement d'industries phytothérapeutiques locales. Dans ce contexte, l'étude d'*Alchornea cordifolia* apparaît pertinente pour renforcer la bioéconomie ivoirienne.

3. Généralités sur le thé

3.1. Histoire du thé

Le thé est une boisson stimulante obtenue par infusion des feuilles de *Camellia sinensis*, préalablement séchées et généralement oxydées, et qui peut présenter des propriétés thérapeutiques. Selon la tradition, sa découverte remonterait à plus de 2 000 ans avant notre ère et serait attribuée à l'empereur chinois Shen Nong.

La légende raconte que, s'étant endormi à l'ombre d'un arbre avec un bol d'eau chaude à ses côtés, une feuille de théier aurait été portée par le vent dans sa tasse. À la dégustation, il aurait été frappé par l'arôme remarquable de l'infusion, donnant ainsi naissance à la consommation du thé (Mondal, 2004 ; Cabrera *et al.*, 2006).

3.2. Origine du thé

Le thé, issu de la plante *Camellia sinensis*, est la deuxième boisson la plus consommée au monde après l'eau, témoignant de son importance culturelle et sociale (Paiva *et al.*, 2021). Cependant, il est essentiel de noter que le terme « thé » désigne spécifiquement les boissons obtenues par infusion des feuilles de *Camellia sinensis*, et non les infusions réalisées à partir d'autres plantes, qui sont classées comme des tisanes (Shang *et al.*, 2021).

L'origine du thé remonte à plusieurs millénaires. Des découvertes archéologiques suggèrent que la consommation de thé a débuté dans la province du Yunnan, en Chine, au cours du deuxième millénaire avant notre ère, initialement à des fins médicinales. Au fil du temps, l'usage du thé s'est étendu à d'autres localités de la Chine, notamment le Sichuan, où il a été transformé en une boisson stimulante, consommée sans l'ajout d'autres herbes ou feuilles (Chen *et al.*, 2012).

Aujourd'hui, les principaux pays producteurs et exportateurs de thé sont l'Inde, la Chine, le Sri Lanka et le Kenya. Certains pays se spécialisent dans la production de thé noir, tandis que d'autres privilégient le thé vert. La quantité de thé exportée chaque année varie en fonction des conditions climatiques, des contextes politiques et de la demande internationale, bien que les fluctuations de production d'un pays soient souvent compensées par les exportations accrues d'autres nations (Kriepps, 2009).

3.3. Sources végétales du thé et profils biochimiques

La plante *Camellia sinensis* (Figure 5) est originaire de la localité située à l'intersection du sud-ouest de la Chine, du nord du Myanmar et du nord-est de l'Inde. Cette localité est

considérée comme le centre d'origine de la domestication du thé, où des populations sauvages ont été identifiées dans les forêts (Chen *et al.*, 2012).

Le théier, arbuste appartenant à la famille des Théacées, est cultivé principalement pour ses feuilles, qui, après séchage et oxydation partielle ou complète, servent à la préparation du thé par infusion. Cette espèce est étroitement apparentée au camélia horticole. L'étymologie de son nom scientifique, *Camellia sinensis*, signifiant littéralement « Camélia chinois », renforce l'hypothèse d'une origine chinoise de cette boisson millénaire (Chen *et al.*, 2012).



Figure 5: *Camellia sinensis*

Source : Elyssa (2023)

3.3.1. Compositions des feuilles de *Camellia sinensis*

3.3.1.1. Composition bioactive des fleurs et feuilles de *Camellia sinensis*

Les fleurs et les feuilles de *Camellia sinensis* sont riches en composés bioactifs tels que les phénols (acides phénoliques, flavonoïdes, tanins), les alcaloïdes (méthylxanthines) et divers nutriments (glucides, protéines, minéraux) (Sharma *et al.*, 2021). Ces composés phénoliques en moyenne de 36 % confèrent au thé une puissante activité antioxydante, aidant à prévenir le vieillissement et les maladies chroniques dégénératives (Luczaj & Skrzydlewska, 2005, Shang *et al.*, 2021). Par ailleurs, d'autres effets bénéfiques incluent la modulation de la santé intestinale, le soutien du système immunitaire et la réduction de l'obésité dans des modèles animaux ont été rapportés par les auteurs tels que Chen *et al.* (2019) ; Sun *et al.* (2019) ; Chen *et al.* (2020).

3.3.1.2. Composition chimique des feuilles de *Camellia sinensis*

La composition chimique des fleurs de *Camellia sinensis*, à partir desquelles est produit le thé, se caractérise par une richesse variée en nutriments et composés bioactifs. Elles contiennent notamment 34 % de glucides (glucose, fructose, saccharose et polysaccharides), 12 % de composés phénoliques (PC), 28 % de protéines brutes et 3 % de saponines. Les fleurs renferment également une large gamme d'acides aminés, tels que l'acide aspartique, la sérine, l'histidine, l'arginine, l'acide γ -aminobutyrique, la thréonine, la tyrosine, la valine, la méthionine, la leucine, la phénylalanine, la lysine et la théanine (Chen *et al.*, 2020). Quant aux feuilles sèches, leur composition inclut de 1 à 4 % d'acides aminés (26 acides aminés identifiés dans la littérature) et de 18 à 36 % de composés phénoliques, comprenant des flavonols, flavonoïdes et acides phénoliques. Parmi ces derniers, 12 à 24 % sont des catéchines (Chen *et al.*, 2021).

Par ailleurs, les études de Carr *et al.* (2003) montrent que les feuilles fraîches de *Camellia sinensis* contiennent environ 3 % de minéraux, avec des concentrations plus élevées dans les feuilles matures que dans les jeunes. Les minéraux les plus abondants sont le potassium, le calcium, le magnésium et l'aluminium, tandis que le fer et le manganèse se trouvent à des niveaux moyens (Tableau I).

Tableau I: Composition en éléments minéraux (mg/g) des feuilles de *Camellia sinensis*

Type de feuille	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn
Feuilles jeunes	381 ± 80	3560 ± 364	3 ± 1	2916 ± 1214	1716 ± 108	113 ± 40
Feuilles matures	6866 ± 645	18784 ± 2674	227 ± 21	15239 ± 2552	2596 ± 343	1340 ± 189

Al : Aluminium ; Ca : Calcium ; Fe : Fer ; K : Potassium ; Mg : Magnésium ; Mn : Manganèse

3.4. Procédés de fabrication de thé

La transformation des feuilles fraîches de *Camellia sinensis* en thé implique une série d'opérations technologiques dont la combinaison détermine la catégorie finale du thé (thé vert, noir, oolong, blanc, jaune, ou puerh). Ces procédés visent à développer les propriétés organoleptiques (arôme, couleur, goût) et fonctionnelles (composition biochimique, activité antioxydante) du produit (Obanda *et al.*, 2001 ; Hilal & Engelhardt, 2007) (Figure 6).

Les six étapes initiales de transformation furent simplifiées et regroupées en cinq, donnant naissance au procédé « orthodoxe ». L'élément clé de cette production reste le flétrissage rapide des feuilles, première étape de transformation, qui permet d'éviter toute fermentation précoce.

Pour garantir ce contrôle, des *factories*, bâtiments dédiés à la préparation du thé, sont généralement implantées à proximité immédiate des plantations (Montseren, 1999).

3.4.1. Flétrissage

Le flétrissage consiste à réduire la teneur en eau des feuilles fraîches (de 70–80 % à environ 60 %), favorisant ainsi l'assouplissement des tissus et le déclenchement d'enzymes responsables de l'oxydation (Rahman *et al.*, 2020). Cette étape est essentielle pour les thés noirs et semi-fermentés (Karori *et al.*, 2007). La durée du flétrissage varie selon la variété de thé, s'étendant de 6 à 24 heures, à une température de 30°C – 40°C et influence le caractère aromatique de l'infusion selon le taux d'humidité résiduel. On parle de *medium withering* ou flétrissage moyen pour un taux d'humidité résiduel optimal de 50 %. Cette étape permet d'inhiber les enzymes responsables de l'oxydation (Delmas & Minet, 2007 ; Edeas, 2011).

3.4.2. Roulage

Le roulage mécanique ou manuel a pour but de rompre les parois cellulaires afin de libérer les composés phénoliques (catéchines) et les enzymes oxydatives (polyphénol oxydase), facilitant ainsi les réactions de fermentation dans les thés noirs et oolong (Obanda *et al.*, 2001). Une déshydratation adéquate des feuilles est essentielle pour un roulage efficace, qui se déroule généralement en trois ou cinq étapes d'environ dix minutes chacune, pour une durée totale de 30 à 40 minutes.

Cette opération peut être répétée afin d'augmenter la libération des huiles essentielles, renforçant ainsi la force aromatique du thé. Le roulage s'effectue dans des cuves cylindriques où les cellules végétales sont brisées, libérant à la fois huiles essentielles et enzymes (Montseren, 1999).

3.4.3. Fermentation

L'étape de fermentation consiste en l'oxydation enzymatique des polyphénols responsables de la couleur et du goût de certains thés. (Rahman *et al.*, 2020 ; Salman *et al.*, 2021). La durée de cette fermentation varie généralement de 1 à 4 heures, influençant directement le type de thé : quasi nulle pour le thé vert, moyenne pour le thé Oolong et prolongée pour le thé noir. Une fermentation trop courte produit un thé amer, tandis qu'une fermentation excessive entraîne une perte d'astringence due à l'oxydation excessive des polyphénols en théaflavines, théarubigènes et théasinensines. (Montseren, 1999 ; Hilal & Engelhardt, 2007).

3.4.4. La fixation

Dans la fabrication du thé vert, l'étape de fixation thermique (par étuvage ou torrification) inactive les enzymes oxydatives, préservant ainsi les catéchines et la couleur verte des feuilles (Chen *et al.*, 2020).

3.4.5. Dessiccation ou séchage

La dessiccation constitue l'étape la plus délicate dans la préparation du thé, visant à interrompre la fermentation et à éliminer toute l'eau afin de préserver la qualité du produit (Donlao & Ogawa, 2019). Les feuilles issues de la fermentation sont transférées sur le tapis roulant d'un dessiccateur, où elles sont exposées à un courant d'air chaud et très sec, à une température de 85 à 90 °C, jusqu'à atteindre un taux d'humidité résiduel de 2 à 3 % (Montseren, 1999 ; Obanda *et al.*, 2001). La vitesse de dessiccation est déterminante : un séchage trop rapide rend les feuilles cassantes et entraîne la perte d'une partie de l'arôme, tandis qu'un séchage trop lent ne parvient pas à arrêter efficacement la fermentation.

L'objectif principal de cette étape est l'inactivation des enzymes responsables de la fermentation (Salman *et al.*, 2021). Ces différentes phases (flétrissage, roulage, fermentation, séchage) jouent un rôle déterminant sur le profil phytochimique, aromatique et la qualité finale du thé (Bortolini *et al.*, 2021 ; Aaqil *et al.*, 2023).

3.4.6. Tamisage et emballage

Le tri des feuilles sèches s'effectue à l'aide de tamis vibrants ou de souffleries d'air, permettant de les classer selon leur taille. Un rouleau en bakélite retient les fibres indésirables grâce à son pouvoir électrostatique. Cette étape doit être réalisée rapidement afin d'éviter le noircissement (*greying*) des feuilles (Montseren, 1999). Pour les thés de haute qualité, le tamisage est effectué manuellement (Klegou, 2005). Afin d'obtenir des lots homogènes, les feuilles provenant de plusieurs jours sont généralement mélangées, car il est difficile d'obtenir un thé identique d'un jour à l'autre. Seuls les thés de très haute qualité sont emballés quotidiennement pour garantir leur pureté maximale (Klegou, 2005).

3.5. Différentes couleurs du thé

Il existe six principaux types de thé, souvent désignés par leur couleur caractéristique. Quelle que soit la couleur finale, toutes les variétés proviennent du même arbuste, *Camellia sinensis* (Figure 7). La distinction entre les types de thé, la saveur réside uniquement dans les méthodes de traitement (flétrissement, roulage ; stockage, oxydation) appliquées aux feuilles

après récolte (Shang *et al.*, 2021). Ainsi, une même feuille peut donner naissance à un thé blanc, vert ou noir, selon le procédé de fabrication employé (Chen *et al.*, 2021).

3.5.1. Thé blanc

Pour le thé blanc (thé non fermenté), les feuilles fraîchement cueillies subissent un flétrissage au soleil, suivi d'un séchage au four. Ce procédé minimaliste permet de passer presque directement du théier à la tasse (Paiva *et al.*, 2021). Toutefois, il s'agit d'une méthode de transformation délicate, difficile à maîtriser.

3.5.2. Thé vert

Dans la production du thé vert, les feuilles ne subissent pas d'oxydation. Elles sont chauffées afin d'interrompre le processus naturel d'oxydation : en Chine, les feuilles sont chauffées à haute température, souvent dans des woks, tandis qu'au Japon, la cuisson se fait à la vapeur chaude (Donlao & Ogawa, 2019).

3.5.3. Thé jaune

Le thé jaune, relativement rare, est obtenu par une fermentation très légère des feuilles, qui se déroule sous une couverture de paille. (Yang, 2014).

3.5.4. Thé Oolong

Le thé semi-oxydé, également appelé Oolong ou Wulong, subit une oxydation partielle. Selon le résultat recherché, il peut être légèrement, modérément ou fortement oxydé, l'oxydation étant arrêtée au moment souhaité (Rahman *et al.*, 2020).

3.5.5. Thé noir (ou rouge)

Le thé noir correspond à des feuilles entièrement oxydées. En Occident, il est appelé « thé noir » en raison de la couleur sombre des feuilles, tandis qu'en Chine, il est désigné comme « thé rouge », les Chinois se référant à la couleur de la liqueur obtenue après infusion plutôt qu'à celle de la feuille (Rahman *et al.*, 2020).

3.5.6. Thé sombre

Également appelés *Pu Erh* ou thés post-fermentés, ces thés se présentent sous forme de vrac ou de galettes, dans des versions crues ou cuites. Ils sont obtenus par un processus de vieillissement en cave, parfois accéléré, qui leur confère des arômes caractéristiques de sous-bois, voire des notes animales. Le *Pu Erh* constitue par ailleurs l'unique catégorie de thé susceptible de se bonifier avec le temps (Zhu *et al.*, 2008).

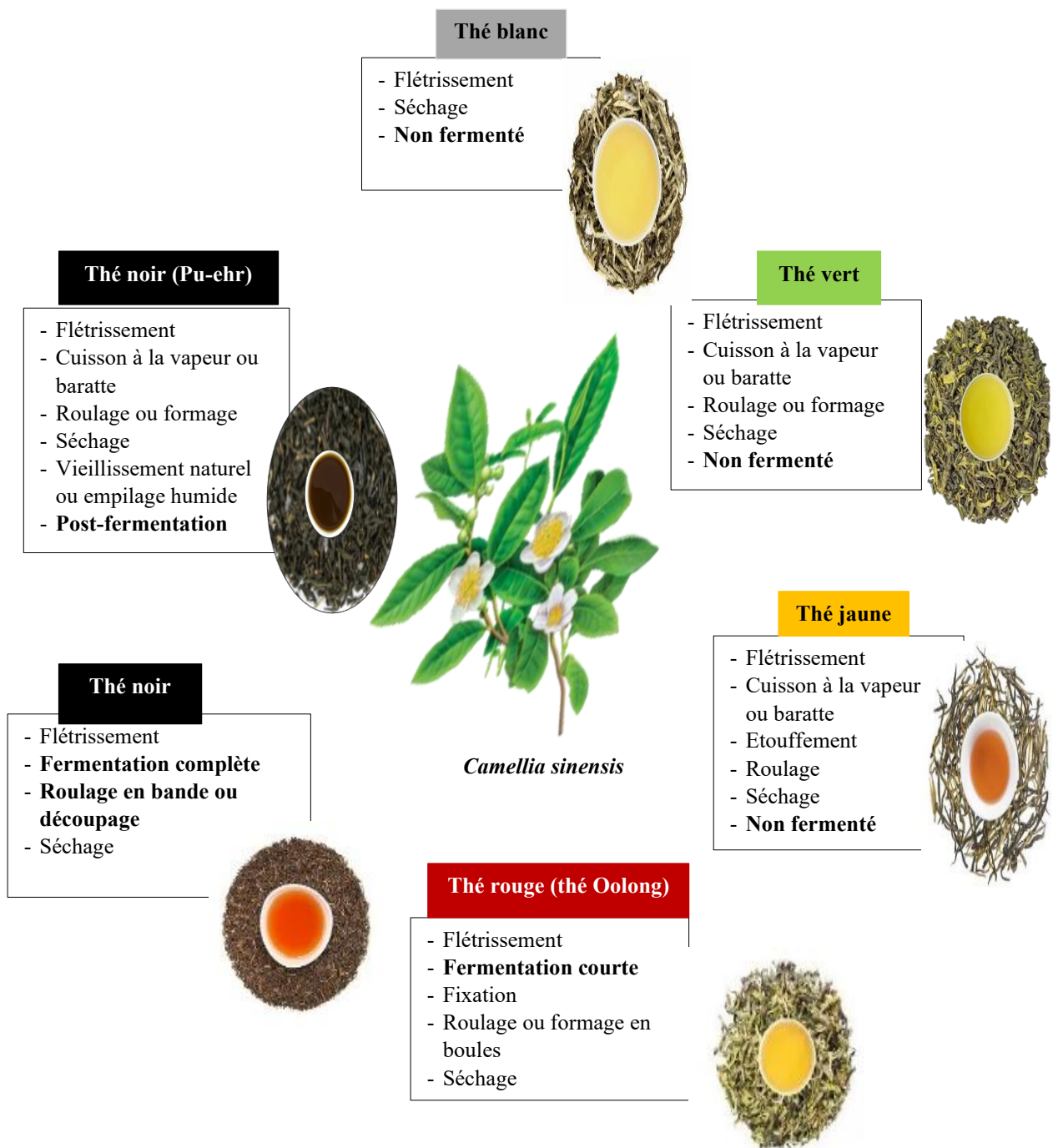


Figure 6:Types de thé selon le traitement

Source : Bortolini *et al.* (2021)

3.6. Table d'infusion

La table d'infusion récapitule les temps, les températures d'infusion et le moment de la prise par types de thé (Tableau II) : (Kakuzô, 2006).

Tableau II: Température d'infusion, temps d'infusion et moment de prise du thé

Type de thé	Température de l'eau	Temps d'infusion	Moment de la journée
Thé noir	90°C	4 à 5 min	Matin, après-midi
Thé vert chinois	70 à 80°C	2 à 3 min	Journée
Thé vert japonais	60 à 70°C	1 à 2 min	Matin, journée
Thé blanc/ jaune	80°C	5 à 10 min	Journée
Thé wulong	90 à 95°C	5 à 7 min	Journée, soir
Pu-erh	90 à 95°C	4 à 5 min	Après-midi, soir

3.7. Différents grades de thé

Dans l'industrie du thé, la classification des grades repose essentiellement sur la taille et l'intégrité physique des feuilles après transformation. Cette distinction influence fortement la cinétique d'extraction, la composition chimique et les propriétés organoleptiques des infusions obtenues (Engelhardt, 2024).

3.7.1. Thés à feuilles entières (Whole Leaf Tea)

Les thés à feuilles entières correspondent aux grades constitués de feuilles intactes obtenues après les étapes de flétrissage et de roulage. Le grade Orange Pekoe (O.P.) est formé de feuilles longues, entières et bien roulées. En raison de leur surface d'échange relativement limitée avec l'eau, ces thés produisent généralement une infusion plus claire, plus aromatique et moins astringente (Moreira *et al.*, 2024). Les grades supérieurs tels que Flowery Orange Pekoe (F.O.P.) ou Golden Flowery Orange Pekoe (G.F.O.P.) contiennent une proportion plus élevée de bourgeons terminaux (*tips*), reconnus pour leur richesse en composés bioactifs et en précurseurs aromatiques. La présence de ces jeunes tissus végétaux est souvent associée à une amélioration de la qualité sensorielle et de la valeur nutritionnelle du thé (Chen *et al.*, 2021).

Ainsi, les thés à feuilles entières sont généralement considérés comme des produits hauts de gamme en raison de leur intégrité physique et de leur profil organoleptique plus équilibré.

3.7.2. Thés à feuilles brisées (Broken Leaf Tea)

Les thés à feuilles brisées correspondent à des fragments obtenus après roulage ou suite à un traitement mécanique plus intensif, notamment dans le procédé CTC (Crush–Tear–Curl). Le grade Broken Orange Pekoe (B.O.P.) en est l'exemple le plus représentatif. La réduction de la taille des particules augmente la surface d'extraction, favorisant ainsi une diffusion plus rapide des composés phénoliques et aromatiques dans l'eau (Obanda *et al.*, 2001). Par conséquent, ces thés produisent une infusion plus rapide, au goût plus corsé et souvent plus astringent. Toutefois, la qualité des thés brisés dépend fortement de la proportion de bourgeons présents et de l'homogénéité des fragments. Une teneur élevée en jeunes pousses améliore la richesse en polyphénols et l'intensité aromatique (Chen *et al.*, 2021). Les thés B.O.P. sont ainsi largement utilisés dans les mélanges destinés à une consommation quotidienne, notamment pour les thés de type « petit-déjeuner », en raison de leur infusion plus robuste.

3.7.3. Thés à feuilles broyés (Fannings et Dust)

Les grades Fannings et Dust correspondent aux particules fines issues du triage ou du broyage des feuilles. Les Fannings sont constitués de petits fragments provenant des feuilles brisées, tandis que le Dust correspond à une poudre très fine. La finesse de ces particules favorise une extraction très rapide des composés solubles, conduisant à une infusion plus intense (Moreira *et al.*, 2024). Cependant, cette rapidité d'extraction s'accompagne souvent d'une libération accrue de tanins, responsables d'une astringence plus marquée (Engelhardt, 2024). Ces grades sont principalement utilisés dans les sachets de thé, car leur structure facilite une diffusion rapide des composés phénoliques et aromatiques dans l'eau, bien que cela puisse accentuer l'amertume et modifier le profil sensoriel final.

3.8. Activité thérapeutique du thé vert

Le thé vert présente de nombreuses propriétés pharmacologiques reconnues par la littérature. Il possède notamment des effets antioxydants (McKay & Blumberg, 2002), anti-mutagéniques, anti-ulcéreux, ainsi que des propriétés antivirales et capables d'inactiver certains virus (Hara, 2001 ; Zhen, 2002). Il contribue également à la réduction de la glycémie (Hara, 2001), exerce une action anti-inflammatoire (Kaur & Saraf, 2011). Les extraits de thé vert participent à la prévention des effets nocifs des rayons UV, de l'inflammation et de la

carcinogénèse (Ichihashi, 2000), et jouent un rôle dans la prévention de l'hypertension (Alipoor & Rad, 2012).

3.8.1. Activité cardiovasculaire

Pour Chen *et al.* (2002) les agents qui inhibent l'agrégation anormale des plaquettes réduisent aussi les risques de maladies cardiaques. Plusieurs études épidémiologiques ont montré que la consommation du thé est liée à une importante baisse des maladies cardiovasculaires. Le thé inhibe l'agrégation des plaquettes ainsi que le facteur d'activation des plaquettes (PAF). Des études de laboratoire ont montré que les flavonols, et, particulièrement, l'épigallocatechin-3-gallate (EGCG) de thé, réduisent le taux de cholestérol (*in vivo*), et inhibent l'oxydation des lipoprotéines à basse densité (LDL) (*in vitro*). Le thé vert peut aussi diminuer la tension artérielle en inhibant l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ECA). Les inhibiteurs de l'ECA sont les médicaments de choix utilisés pour combattre l'hypertension artérielle.

3.8.2. Activité anti-cancéreux

Ces dernières années, de nombreux travaux publiés dans des revues scientifiques internationales ont mis en évidence le rôle préventif du thé contre certaines maladies cancéreuses. Des études récentes suggèrent que sa consommation pourrait exercer un effet protecteur contre les cancers de la prostate, de la peau, du côlon et du pancréas. Des recherches expérimentales sur divers modèles animaux atteints de tumeurs induites ont montré que le thé, et en particulier l'EGCG, possède un effet préventif contre certaines tumeurs du sein, de la peau, de la prostate et du poumon (Katiyar & Mukhtar, 1997 ; Malvy *et al.*, 2000). Ces expériences ont également démontré que le thé vert et l'EGCG peuvent intervenir à toutes les étapes de la carcinogénèse, depuis l'initiation jusqu'à la progression et la terminaison de la tumeur, soulignant ainsi leur potentiel thérapeutique et préventif.

3.9. Activité thérapeutique du thé blanc

3.9.1. Activité antioxydante

Le thé blanc se caractérise par une transformation minimale, ce qui lui permet de conserver une forte concentration en catéchines, notamment l'épigallocatechine gallate (EGCG). Cette richesse en polyphénols lui confère une activité antioxydante élevée, permettant de neutraliser les radicaux libres et de réduire le stress oxydatif impliqué dans le vieillissement cellulaire et diverses pathologies (Higdon & Frei, 2003).

3.9.2. Activité anticancéreuse

Grâce à ses composés phénoliques, le thé blanc présente un potentiel anticancéreux en inhibant la prolifération cellulaire et en réduisant les mutations de l'ADN. Des études ont montré qu'il possède une activité antimutagène significative, parfois supérieure à celle du thé vert (Cabrera et al., 2006).

3.9.3. Activité cardiovasculaire

Le thé blanc contribue à la protection du système cardiovasculaire en limitant l'oxydation des lipides et en améliorant la fonction endothéliale. Il participe ainsi à la prévention de l'athérosclérose et à la réduction du risque de maladies cardiovasculaires (Higdon & Frei, 2003).

3.10. Activité thérapeutique du thé jaune

3.10.1. Activité antioxydante

Le thé jaune, légèrement fermenté, présente une activité antioxydante notable liée à la présence de polyphénols partiellement transformés. Cette activité permet de limiter les dommages cellulaires induits par les espèces réactives de l'oxygène (Cabrera et al., 2006).

3.10.2. Activité anti-inflammatoire

Les composés bioactifs du thé jaune contribuent à la modulation des réponses inflammatoires, en réduisant la production de cytokines pro-inflammatoires, ce qui peut participer à la prévention des maladies chroniques (Yang et al., 2014).

3.10.3. Activité métabolique et cardiovasculaire

Le thé jaune joue un rôle dans la régulation du métabolisme lipidique et glucidique, contribuant ainsi à la réduction des facteurs de risque cardiovasculaire tels que l'hyperlipidémie et l'insulinorésistance (Mckay & Blumberg, 2002).

3.11. Activité thérapeutique du thé oolong

3.11.1. Activité anti-obésité

Le thé oolong est reconnu pour son rôle dans la réduction de la masse grasse. Il agit notamment en augmentant la dépense énergétique et en favorisant l'oxydation des lipides (Hursel & Westerterp-Plantenga, 2013).

3.11.2. Activité antidiabétique

La consommation de thé oolong est associée à une amélioration de la sensibilité à l'insuline et à une meilleure régulation de la glycémie, ce qui en fait un allié dans la prévention du diabète de type 2 (Cabrera et al., 2006).

3.11.3. Activité cardiovasculaire

En améliorant le profil lipidique sanguin et en réduisant les triglycérides, le thé oolong contribue à la protection cardiovasculaire. Il participe également à la diminution du risque d'athérosclérose (Yang et al., 2014).

3.12. Activité thérapeutique du thé noir

3.12.1. Activité antioxydante

Le thé noir contient des théaflavines et des théarubigines, issues de l'oxydation des catéchines, qui présentent une activité antioxydante efficace, bien que différente de celle du thé vert (Higdon & Frei, 2003).

3.12.2. Activité cardiovasculaire

Le thé noir exerce des effets cardioprotecteurs importants, notamment en réduisant le cholestérol LDL et en améliorant la fonction vasculaire. Sa consommation régulière est associée à une diminution de la pression artérielle et du risque de maladies cardiovasculaires (Mckay & Blumberg, 2002).

3.12.3. Activité antidiabétique et métabolique

Il contribue à la régulation du métabolisme glucidique et lipidique, participant ainsi à la prévention du diabète et de l'obésité (Cabrera *et al.*, 2006).

3.13. Activité thérapeutique du thé Pu-erh

3.13.1. Activité hypolipémiante

Le thé Pu-erh est particulièrement reconnu pour ses effets sur la réduction du cholestérol total et des triglycérides, grâce à la présence de théabrownines et de polysaccharides bioactifs (Kuo *et al.*, 2005).

3.13.2. Activité digestive

Il améliore la digestion en favorisant l'activité enzymatique et en modulant le microbiote intestinal, ce qui contribue à une meilleure assimilation des nutriments (Jie *et al.*, 2006)

3.13.3. Activité cardiovasculaire et anti-obésité

En régulant le métabolisme lipidique et en réduisant les dépôts de lipides, le thé Pu-erh participe à la prévention des maladies cardiovasculaires (Deng *et al.*, 2021).

Le thé Pu-erh est également associé à une réduction de la masse corporelle et à une amélioration des paramètres métaboliques, notamment dans les cas de syndrome métabolique (Way *et al.*, 2009).

4. Généralités sur la tisane

4.1. Origine et définition de la tisane

La consommation de tisanes constitue une pratique ancestrale, profondément enracinée dans de nombreuses traditions culturelles. Dès l'Antiquité, les Égyptiens recouraient déjà aux infusions de camomille et d'hibiscus, tant pour leurs vertus digestives que dans le cadre de rituels symboliques (McKay & Blumberg, 2006).

La tisane se définit comme une boisson obtenue par infusion, décoction ou macération de différentes parties de plantes (feuilles, fleurs, écorces, racines ou fruits). Ces préparations sont traditionnellement consommées à des fins médicinales, préventives, nutritionnelles ou simplement récréatives (Liu *et al.*, 2013 ; Bussmann *et al.*, 2015).

Contrairement au thé, dont l'origine botanique est strictement liée à *Camellia sinensis*, les tisanes regroupent une grande diversité d'espèces aromatiques et médicinales. Leur richesse en métabolites secondaires et en composés bioactifs suscite un intérêt scientifique croissant, en raison de leurs effets potentiels sur la santé humaine (Killedar & Pawar, 2017).

4.2. Composition chimique de la tisane

Les tisanes se distinguent par une composition chimique complexe et variée, qui dépend à la fois de l'espèce végétale utilisée, de l'organe prélevé (feuille, fleur, racine, écorce, fruit) et du procédé d'extraction appliqué (infusion, décoction ou macération). Elles contiennent principalement des flavonoïdes (quercétine, kaempférol, apigénine), des polyphénols (acides phénoliques tels que l'acide chlorogénique et l'acide rosmarinique), ainsi que divers composés terpénoïdes impliqués dans les arômes et les activités biologiques (Ye *et al.*, 2015 ; Dai & Mumper, 2010).

À cela s'ajoutent des acides organiques (acide citrique, acide malique), des huiles essentielles riches en monoterpènes et sesquiterpènes (Wojdyło *et al.*, 2007). Certaines espèces peuvent également contenir des alcaloïdes, bien que leur présence soit plus rare et dépendante des plantes infusées (Heinrich *et al.*, 2017).

Cette diversité biochimique confère aux tisanes des propriétés fonctionnelles et pharmacologiques notables, notamment des effets antioxydants, anti-inflammatoires, digestifs et sédatifs, qui expliquent leur large utilisation dans les médecines traditionnelles et modernes (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014 ; Poswal *et al.*, 2019).

4.3. Usages et bienfaits de la tisane

La consommation mondiale d'infusions à base de plantes représente aujourd'hui un secteur majeur des boissons fonctionnelles, soutenu par un intérêt croissant des consommateurs pour les produits naturels, associés au bien-être et à la santé (Dini, 2019). Par définition, un aliment fonctionnel est une denrée qui, au-delà de sa valeur nutritionnelle, contribue à réduire le risque de développer certaines pathologies ou exerce un effet bénéfique mesurable sur la santé et la qualité de vie (Huda *et al.*, 2024). Dans ce contexte, les tisanes occupent une place particulière en raison de leur polyvalence et de la diversité des composés bioactifs qu'elles contiennent.

Traditionnellement, les tisanes sont valorisées pour leurs effets thérapeutiques spécifiques. Certaines espèces sont utilisées pour leurs propriétés digestives, comme la menthe poivrée (*Mentha × piperita*) et le fenouil (*Foeniculum vulgare*), dont l'efficacité a été documentée dans le soulagement des troubles gastro-intestinaux (McKay & Blumberg, 2006 ; Poswal *et al.*, 2019). D'autres plantes, telles que le tilleul (*Tilia cordata*) et la camomille (*Matricaria chamomilla*), sont reconnues pour leurs effets relaxants et sédatifs, favorisant la détente et le sommeil (Amsterdam *et al.*, 2009).

Par ailleurs, les infusions à base de hibiscus (*Hibiscus sabdariffa*) et de rooibos (*Aspalathus linearis*) se distinguent par leur forte activité antioxydante, attribuée à leur richesse en anthocyanes, flavonoïdes et autres composés phénoliques (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014 ; Joubert & De Beer, 2011). Ces propriétés renforcent leur intérêt dans la prévention du stress oxydatif et des maladies chroniques associées.

Un autre avantage majeur réside dans l'absence naturelle de caféine de la plupart des tisanes, ce qui les différencie nettement du thé (*Camellia sinensis*) et du café, deux boissons stimulantes largement consommées. Toutefois, il existe des exceptions notables, à l'instar du maté (*Ilex paraguariensis*), dont la teneur en méthylxanthines lui confère des propriétés stimulantes comparables au thé et au café (Heck & Mejia, 2007).

4.4. Mode de préparation de la tisane

La tisane peut être obtenue par trois procédés différents : infusion, décoction et macération

4.4.1. Infusion

L'infusion correspond à une méthode couramment appliquée pour l'extraction des constituants présents dans les tissus herbacés tendres, tels que les fleurs, les feuilles, les racines fines ou les fruits charnus. Elle consiste à immerger les parties de plante dans de l'eau à des températures variables, généralement chaudes, durant un temps limité (5–15 minutes). Ce procédé, considéré comme une extraction douce, favorise la libération de composés volatils, notamment les huiles essentielles, tout en préservant leur intégrité (Huda *et al.*, 2024).

4.4.2. Décoction

La décoction repose sur l'utilisation de conditions d'extraction plus intensives, impliquant l'ébullition prolongée de la matière végétale dans l'eau. Elle est particulièrement adaptée aux tissus ligneux ou hautement lignifiés tels que les écorces, racines, tiges ou certains fruits secs. Par ce mode opératoire, des composés peu solubles ou nécessitant une rupture des parois cellulaires comme les tanins, flavonoïdes ou certains alcaloïdes sont efficacement libérés. En raison de son intensité, la décoction est considérée comme l'une des méthodes les plus performantes pour extraire les métabolites actifs de ces matrices végétales (Huda *et al.*, 2024 ; Cseke *et al.*, 2006).

4.4.3. Macération

La macération désigne une technique d'extraction consistant à laisser tremper les parties de plante dans de l'eau froide ou à température ambiante pendant une durée prolongée, généralement plusieurs heures. Sans recours à la chaleur, elle présente l'avantage de préserver les constituants sensibles à la température, tels que certaines vitamines, huiles essentielles ou polyphénols instables. Cette méthode est privilégiée pour les espèces délicates, aromatiques ou florales dont les principes actifs risquent d'être altérés par les hautes températures. Elle constitue ainsi une alternative douce, adaptée aux plantes thermosensibles (Huda *et al.*, 2024). De nombreuses études comparatives ont confirmé que le mode de préparation notamment la température de l'eau et la durée d'extraction influencent significativement la teneur en polyphénols, flavonoïdes et autres antioxydants. Ces variations conditionnent non seulement la composition phytochimique, mais également l'activité biologique et fonctionnelle des tisanes obtenues (Wang *et al.*, 2022).

5. Test organoleptique

L'analyse sensorielle est une science multidisciplinaire qui fait appel aux cinq sens (la vue, l'odorat, le goût, le toucher et l'ouïe) afin d'évaluer les caractéristiques sensorielles et

l'acceptabilité des produits alimentaires, ainsi que de nombreux autres biens de consommation. Elle repose sur l'intervention de dégustateurs, formés ou non, permettant de recueillir à la fois des données objectives et subjectives.

Historiquement, l'analyse sensorielle s'est développée dans les années 1930 pour pallier l'absence de méthodes instrumentales fiables dans l'évaluation du goût (Lefebvre & Bassereau, 2003). Longtemps négligée, elle connaît aujourd'hui un essor considérable et bénéficie d'un intérêt croissant de la part des industries agroalimentaires (Depledt, 2009).

Deux grandes méthodes sont généralement distinguées à savoir l'épreuve hédonique et l'épreuve analytique.

5.1.1. Epreuve hédonique

L'épreuve hédonique mesure le degré de plaisir ou d'aversion ressenti par les consommateurs lors de la dégustation d'un produit (Lawless & Heyman, 1999). Cette appréciation dépend à la fois des caractéristiques sensorielles de l'aliment, de l'état physiologique du consommateur (faim, motivation, expériences passées) et du contexte expérimental (environnement, mode de préparation, influence sociale, horaire) (Nindjin, 2002).

Deux types de tests affectifs sont utilisés (Meilgaard *et al.*, 1999) :

- les tests de préférence, qui identifient le produit le plus apprécié parmi plusieurs ;
- les tests d'acceptabilité, qui évaluent l'attrait global d'un produit.

L'acceptabilité correspond à la perception favorable d'un produit par une population donnée (SSHA, 1990 ; Depledt, 2009). Ces tests impliquent généralement au moins 60 juges naïfs, représentatifs de la population cible, et les échantillons sont présentés monadique, c'est-à-dire un par un (Köster, 2009). L'épreuve hédonique, qui mesure le degré d'appréciation ou de préférence des consommateurs.

5.1.2. Épreuve analytique

L'épreuve analytique regroupe deux types de tests :

- les tests discriminatifs, qui comparent les produits entre eux ;
- les tests descriptifs, qui décrivent en détail leurs attributs sensoriels.

Ces méthodes permettent de suivre, comparer ou contrôler les caractéristiques sensorielles d'un produit.

5.1.2.1. Tests discriminatifs

Les tests discriminatifs évaluent la capacité des dégustateurs à percevoir une différence entre deux produits. Les principales méthodes utilisées sont :

- l'épreuve triangulaire,
- l'épreuve par paire,
- l'épreuve duo-trio,
- l'épreuve A-non A (Touraille, 2009).

5.1.2.2. Tests descriptifs

Les tests descriptifs, aussi appelés analyse descriptive quantitative (Stone *et al.*, 2004), visent à établir un profil sensoriel complet d'un produit, à la fois qualitatif et quantitatif. Ce profil, souvent représenté graphiquement, repose sur des descripteurs sensoriels pertinents, précis et non ambigus (Barthelemy, 1990).

La démarche comprend plusieurs étapes :

- Constitution du panel : au moins 10 juges qualifiés, sélectionnés et formés.
- Élaboration de la liste de descripteurs : par consensus ou individuellement, puis tri pour éliminer les termes hédoniques ou non discriminants.
- Entraînement des juges : afin d'assurer une utilisation cohérente et répétable des descripteurs.
- Évaluation des produits : réalisée dans un temps limité (environ une semaine), avec présentation anonyme *et aléatoire* des échantillons (max. 6 par séance, présentés de façon homogène : quantité, récipient, codes à trois chiffres) (Mossion, 2007).

5.2. Evaluation sensorielle du thé et de la tisane

Dans le cas particulier du thé et de la tisane, la préparation des infusions destinées à l'évaluation sensorielle est encadrée par la norme ISO 3103 :1980 (ISO, 1981). Celle-ci précise que l'infusion doit être réalisée dans un pot en porcelaine blanche muni d'un couvercle, puis transvasée dans un bol en porcelaine ou en faïence blanche, le couvercle servant à retenir les feuilles. Chaque type de thé, qu'il soit vert ou noir, présente des caractéristiques organoleptiques spécifiques. Pour les thés noirs, une norme dédiée définit les principaux descripteurs sensoriels (ISO, 1982), parmi lesquels l'odeur, l'apparence et le goût.

L'odeur résulte de la présence de plus de 600 composés organiques volatils. La couleur, l'amertume et l'astringence dépendent quant à elles de la composition chimique du thé (Cai *et*

al., 1990). L'astringence se traduit par une sensation de dessèchement en bouche, due à la contraction des muqueuses provoquée par les polyphénols, qui interagissent avec les protéines salivaires pour former des complexes de solubilité variable (AFNOR, 1992 ; Haslam, 1998). Cette perception peut varier d'un individu à l'autre, selon sa morphologie buccale. Par ailleurs, la qualité de l'eau utilisée pour l'infusion influence fortement les propriétés sensorielles, en particulier l'amertume, l'astringence et la couleur (Pangborn *et al.*, 1971).

DEUXIEME PARTIE :
MATERIEL ET METHODES

1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans les localités de Daloa, Yamoussoukro et Séguéla, toutes situées dans des localités où *Alchornea cordifolia* pousse naturellement et où la cueillette et la commercialisation des feuilles de cette plante sont pratiquées (Figure 8).

1.1 Daloa

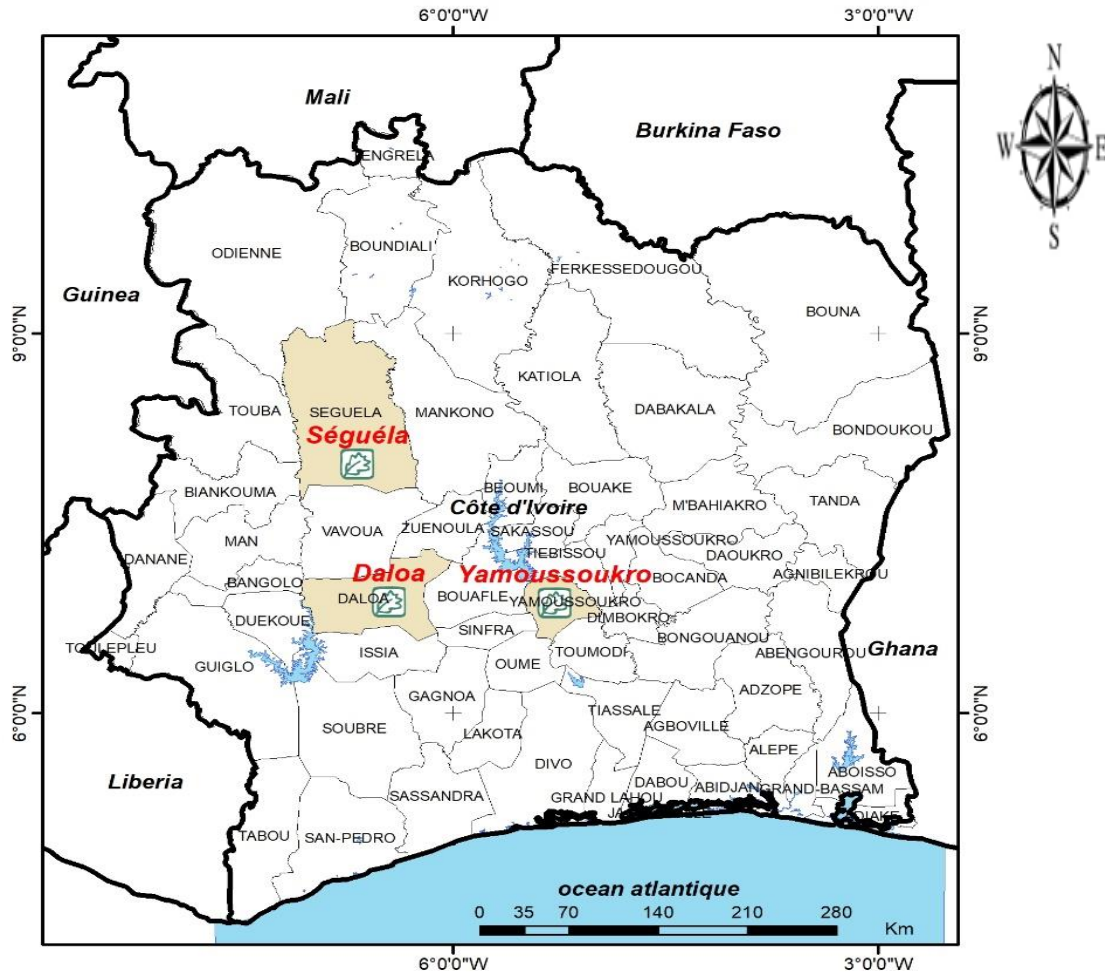
Daloa, Chef-lieu de la localité du Haut-Sassandra, se trouve au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, située entre les latitudes 6°30' et 8° Nord, et entre les longitudes 5° et 8° Ouest. Elle est distante de 141 km de Yamoussoukro, la capitale politique, et de 383 km d'Abidjan, la capitale économique (INS, 2014). Daloa appartient à la vaste localité forestière de la Côte d'Ivoire. Elle est reconnue comme la deuxième localité productrice de cacao et la première de café (MINAGRI, 2010).

1.2 Yamoussoukro

Yamoussoukro, capitale politique et administrative de la Côte d'Ivoire, est située au centre du pays entre les latitudes 6°49'13.98" N et les longitudes 5°16'36.26" O (Latitude.to, 2025). Elle se trouve à environ 248 km d'Abidjan et à 141 km de Daloa par route (Distancesfrom, 2025). Yamoussoukro est localisée dans une localité de transition forêt-savane, bénéficiant d'un climat subéquatorial caractérisé par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. Ce cadre agroécologique favorise diverses cultures vivrières (igname, riz, maïs) et industrielles (cacao, café) (MINAGRI, 2010)

1.3 Séguéla

Le département de Séguéla, situé au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire (9°53' de latitude Nord et 6°49' de longitude Ouest), à environ 515 km d'Abidjan, fait partie de la localité du Worodougou aux côtés du département de Mankono. Il s'étend sur un trapèze d'environ 10 400 km², délimité par les fleuves Sassandra et Marahoué. Le territoire est limitrophe des départements de Man, Biankouma et Touba à l'Ouest, de Vavoua au Sud, de Mankono à l'Est, ainsi que de Boundiali et Odienné au Nord. La végétation y est dominée par la savane, ponctuée d'îlots de forêts mésophiles dans la partie méridionale. Cette localité constitue ainsi une localité de transition entre la forêt et la savane, avec une végétation qui s'éclaircit progressivement du Sud vers le Nord. Le climat est marqué par une saison pluvieuse, de juillet à octobre, et une longue saison sèche, de novembre à juin (Konan *et al.*, 2014).



Légende



Figure 7: Localité d'étude

2. MATERIEL

2.1. Matériel biologique

Le matériel végétal utilisé dans cette étude se compose de feuilles et de fruits d'*Alchornea cordifolia* (Figure 8). Les échantillons ont été récoltés dans trois villes à savoir : Daloa, Yamoussoukro et Séguéla, entre les mois de juin et juillet. Il convient de noter que les feuilles ont été prélevées à différents stades de développement (feuilles jeunes et feuilles matures), tandis que les feuilles mortes ont été ramassés. Les fruits quant à eux, ont été recoltés pendant la période de floraison, février et mars.



Figure 8: Feuilles jeunes (a) ; Feuilles matures (b) ; feuilles mortes (c) et Fruits (d) (Zioh, 2022)

2.2. Matériel technique et réactifs

Le matériel technique utilisé dans le cadre de cette étude se compose de divers équipements spécialisés. Un appareil photo numérique a servi à prendre des photos. Un couteau a servi à récolter les feuilles d'*Alchornea cordifolia*, qui ont ensuite été conservées dans un sac en plastique puis dans une glacière. Une balance de précision (modèle PA2102C de la marque Ohaus) a servi à peser les échantillons. La détermination de la teneur en matière sèche a été réalisée à l'aide d'une étuve (MEMMERT, modèle 854, Schwabach, Allemagne), tandis que les teneurs en cendres ont été mesurées à l'aide d'un four à moufle (NABERTHERM GmbH, température : de 30 °C à 3 000 °C). Pour le broyage des échantillons, un broyeur (RETSCH, modèle SK100/C Gusseinsen) a été utilisé. L'extraction de la matière grasse a été effectuée au moyen d'un appareil de Soxhlet (Unid Tecator, Système HT2 1045, Suède), et la teneur en protéines a été déterminée à l'aide d'un dispositif de Kjeldahl. Enfin, tous les réactifs utilisés pour doser les protéines, les glucides, les lipides et les minéraux, ainsi que pour effectuer les tests phytochimiques, étaient de qualité analytique

3. METHODES

3.1. Echantillonnage

Pour garantir l'homogénéité des échantillons, les feuilles d'*Alchornea cordifolia* ont été collectées dans trois localités : Daloa, Yamoussoukro et Séguéla. Dans chacune de ces localités, trois sites représentatifs ont été sélectionnés en raison de leur forte capacité de repousse de l'espèce et de leur faible connaissance par les collectrices locales. Les récoltes ont été réalisées tôt le matin, selon la méthode de cueillette feuille par feuille. Différents types de feuilles (jeunes, matures et sénescents) ainsi que des fruits ont été prélevés. Chaque lot a été placé dans un sachet plastique étiqueté indiquant la localité et la catégorie de matériel végétal. Les sachets ont ensuite été transportés dans des glacières contenant des accumulateurs de glace jusqu'au Laboratoire d'Agro-valorisation de l'université Jean LOROUGNON GUEDE, à Daloa.

Au laboratoire, les échantillons ont été séchés à l'ombre, à température ambiante, pendant deux semaines. Les feuilles et les fruits séchés ont ensuite été conditionnés dans des sacs en jute en vue d'analyses ultérieures.

3.2. Préparation des extraits végétaux

3.2.1. Obtention de la poudre des feuilles et des fruits d'*Alchornea cordifolia*

Les feuilles et les fruits séchés ont d'abord été triés manuellement pour éliminer ceux présentant des irrégularités ou des défauts. Ils ont ensuite été pesés à l'aide d'un peson numérique afin de prélever 350 g de feuilles et de fruits. Les échantillons obtenus ont ensuite été broyés à l'aide d'un broyeur (modèle SK100/C Gusseinsen de la marque Retsch), puis tamisés à travers un maillage de 200 µm afin d'obtenir une poudre fine et homogène. Cette poudre a ensuite été conditionnée dans des sachets étiquetés, puis conservée à température ambiante au laboratoire en vue des différentes analyses (Ekissi, 2014).

3.2.2. Préparation des extraits par macération

La macération a été effectuée conformément à la méthode décrite par Konan *et al.* (2022). Ainsi, cinquante grammes de chaque poudre ont été dissous dans un litre d'eau distillée, puis placés dans un agitateur pendant une heure. Les mélanges obtenus ont ensuite été filtrés à l'aide de coton hydrophile. Les filtrats obtenus ont été codés FJ, FM, FMo et F, puis utilisés pour réaliser les différentes analyses.

3.3. Analyses biochimiques

Les analyses biochimiques ont été conduites sur les échantillons de tisane, de thé vert ainsi que sur les différentes catégories de feuilles (jeunes, matures et mortes) et de fruits réduits en poudre. Le pourcentage d'humidité a été évalué sur les échantillons de feuilles fraîches.

3.3.1. Détermination de la teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche a été déterminée selon la méthode de l'AOAC (1999). Une masse de 5 g de chaque échantillon frais de feuilles et de fruits d'*Alchornea cordifolia* a été pesée dans des creusets métalliques de masse connue (M_0) à l'aide d'une balance de précision (Wunder SA, modèle NHB) avec une précision de 0,001 g. Les creusets ont ensuite été placés dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures. Après ce délai, l'ensemble a été retiré, refroidi dans un dessiccateur, puis pesé.

La teneur en matière sèche a été exprimée en pourcentage de masse et les mesures ont été effectuées en triplicata. La teneur en eau (Te) a été obtenue par différence entre 100 % et le taux de matière sèche, selon les formules 1 et 2 :

$$MS (\%) = \frac{M_2 - M_0}{Pe} \times 100 \quad (1)$$

Où :

$MS\%$ = Taux de matière sèche

M_0 = masse en gramme du creuset vide (g)

Pe = masse en gramme de la prise d'essai (g)

M_2 = masse en gramme du creuset et de la prise d'essai après dessiccation (g).

$$Te (\%) = 100 - (\%)MS \quad (2)$$

Où :

$Te (\%)$ = Teneur en eau

3.3.2. Détermination de la teneur en protéines brutes

Le dosage des protéines a été réalisé selon la méthode de Kjeldahl (AOAC, 1999). Cette approche consiste à déterminer la teneur en protéines à partir de la quantification de l'azote total présent dans l'échantillon. La méthode comprend trois étapes principales : minéralisation, distillation et titrage par acide chlorhydrique.

- Minéralisation

Un mélange constitué de 1 g de poudre végétale, de 5 g de catalyseur (composé de 95 % de K_2SO_4 , de 1,5 % de $CuSO_4$ et de 2 % de sélénium), de 5 mL d'eau distillée et de 8 mL d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) a été introduit successivement dans un tube matras à

minéralisation. Le tube a été recouvert d'un collecteur de vapeur, puis placé dans un digesteur de marque Buchi (France) réglé progressivement de 200 à 400 °C sous hotte. La fin de la digestion a été marquée par une coloration limpide du minéralisat, qui a été laissé à température ambiante (25 °C). Deux tubes à blanc contenant tous les réactifs ont été réalisés simultanément

- Distillation

Après refroidissement complet, le minéralisat a été transvasé dans un ballon, en prenant soin de rincer la paroi interne des tubes avec 80 mL d'eau distillée. Puis, 10 mL de NaOH à 40 % ont été transvasés dans les tubes. Le mélange a ensuite été placé dans le réservoir du distillateur. L'allonge du réfrigérant du distillateur a ensuite été plongée dans un béccher contenant 20 mL d'acide borique additionné d'un indicateur mixte (rouge de méthyle et vert de bromocrésol). La distillation a été effectuée pendant 10 minutes jusqu'à l'obtention d'un distillat violet.

- Titrage par acide chloridrique

Le distillat a été ensuite dosé par une solution d'acide chlorhydrique (HCl) 0,1 N contenue dans une burette digitale. Un blanc a été réalisé avec de l'eau distillée. La fin de la titration a été marquée par le passage de la couleur violette à la couleur verte. Les essais ont été réalisés en triple. La quantité d'azote (QN) a été exprimée en pourcentage de matière sèche calculée selon la formule 3 :

$$\text{QN}(\% \text{ de MS}) = \frac{14 \times \text{NHCl} \times (\text{VA} - \text{VB})}{\text{PNet}} \times 100 \quad (3)$$

NHCl = normalité de HCl égal à 0,1 N ;

VA = volume de la solution de HCl nécessaire au titrage du blanc (mL) ;

VB = volume de la solution de HCl nécessaire au titrage de l'échantillon (mL) ;

PNet = % matières seches × Poids échantillon (g) ;

Quant à la teneur en protéines (P), elle a été déterminée en appliquant le coefficient de conversion de l'azote en protéines (Mariotti *et al.*, 2008) selon la formule 4 :

$$\text{P} (\% \text{ de MS}) = \% \text{QN} \times 6,25 \quad (4)$$

3.3.3. Détermination de la teneur en cendres

Les cendres totales sont les résidus de composés minéraux qui restent après l'incinération des substances organiques d'un échantillon d'origine animale ou végétale. La méthode utilisée pour la détermination de la teneur en cendres est celle d'AOAC (1995).

Une masse de 0,5 g de poudre fine de feuilles d'*Alchornea cordifolia* a été pesée à l'aide d'une balance de précision (BIOBASE, modèle BP1203B) dans un creuset de masse connue (M_0). L'ensemble (creuset + échantillon) a ensuite été introduit dans un four à moufle (NABERTHERM, D-2304 Litenthal/Bremen, température +30 °C à +3000 °C) et porté à 650 °C (± 2 °C) pendant 8 heures. Après incinération, le creuset a été refroidi dans un dessiccateur (GLASWERK WERTHEIM, 2 bars), puis pesé (M_1). Trois répétitions ont été effectuées.

La teneur en cendres a été calculée à l'aide de la relation suivante (formule 5) :

$$C (\%) = \frac{M_1 - M_0}{Pe} \times 100 \quad (5)$$

M_1 : Masse du creuset + cendres (en g)

Pe : Prise d'essai (en g)

M_0 : Masse du creuset vide (en g)

3.3.4. Dosage des sucres totaux

La teneur en sucres totaux a été déterminée selon la méthode au phénol-sulfurique telle que décrite par Dubois *et al.* (1956). Un volume de 100 μ L d'extraits hydrosolubles de sucres a été introduit dans un tube à essai. À cela, ont été ajoutés respectivement 1 mL de phénol (5 %, m/v), 0,9 mL d'eau distillée et 5 mL d'acide sulfurique concentré (95 %). Après agitation puis refroidissement du tube à l'abri de la lumière, la densité optique (DO) a été mesurée au spectrophotomètre (JASCO V-530) à 490 nm, contre un blanc préparé sans extrait. Une gamme étalon a été réalisée à partir d'une solution mère de glucose (1 mg/mL) et utilisée pour établir la droite de régression permettant de déterminer la quantité de sucres dans chaque échantillon. Les résultats sont donc exprimés en pourcentage de matière sèche (% MS). Tous les essais ont été réalisés en triple. La teneur en sucres totaux a ensuite été rapportée à la masse de matière sèche de l'échantillon selon la formule 6 :

$$\text{Sucres réducteurs (\% de MS)} = \frac{Q_s}{Pe} \times 100 \quad (6)$$

Q_s (mg) : quantité de sucres totaux déterminée à partir de la droite d'étalonnage en glucose.

Pe : prise d'essai utilisée pour l'extraction (mg)

3.3.5. Dosage des sucres réducteurs solubles

La teneur en sucres réducteurs a été déterminée selon la méthode de Bernfeld (1951). Un volume de 1 mL d'extrait éthanolique de la poudre de *Alchornea cordifolia* a été introduit dans un tube à essai, puis ont été ajoutés successivement 0,5 mL d'eau distillée et 0,5 mL de

réactif 3,5-dinitrosalicylique (DNS). Le mélange a été chauffé au bain-marie bouillant pendant 5 minutes, puis refroidi, et 10 mL d'eau distillée ont été ajoutés. La densité optique (DO) a été mesurée au spectrophotomètre (JASCO V-530) à 540 nm, en utilisant un blanc préparé dans les mêmes conditions mais sans extrait. Une gamme étalon préparée à partir d'une solution de glucose (1 mg/mL) a permis de déterminer la quantité de sucres réducteurs dans chaque échantillon. Tous les essais ont été réalisés en triple. Les résultats sont exprimés en pourcentage de matière sèche (% MS). La teneur en sucres réducteurs a ensuite été rapportée à la masse de matière sèche de l'échantillon selon la formule 7 :

$$\text{Sucres reducteurs (\% de MS)} = \frac{Q_s}{P_e} \times 100 \quad (7)$$

Q_s (mg) : quantité de sucres réducteurs déterminée à partir de la droite d'étalonnage en glucose.

P_e : prise d'essai utilisée pour l'extraction (mg)

3.3.6. Détermination des fibres brutes

Les fibres brutes, regroupent principalement la cellulose, certaines hémicelluloses ainsi que la lignine. Leur teneur a été déterminée selon la méthode de Weende (AOAC, 1990), qui repose sur un double traitement à ébullition de l'échantillon, d'abord par l'acide sulfurique puis par la soude. Le résidu obtenu est ensuite séché, incinéré et pesé.

Une masse de 2 g d'échantillon a été introduite dans un bécher contenant 50 mL d'acide sulfurique 0,25 N. Le mélange a été porté à ébullition pendant 30 minutes. Par la suite, 50 mL de soude 0,31 N ont été ajoutés, et le mélange a de nouveau été maintenu à ébullition pendant 30 minutes. Après filtration, le résidu a été lavé plusieurs fois à l'eau distillée chaude jusqu'à élimination complète des alcalis.

L'insoluble obtenu a ensuite été séché à 105 °C pendant 8 heures, puis pesé (M_1). Le résidu sec a été incinéré à 550 °C dans un four à moufle préchauffé à cette température pendant 3 heures, et les cendres ont été pesées (M_2).

La teneur en fibres brutes a été calculée selon la relation suivante (formule 8) :

$$F (\% \text{ de MS}) = \frac{M_1 - M_2}{P_e} \times 100 \quad (8)$$

F : teneur en fibres brutes

M₁ : masse de l'échantillon après 8 h à l'étuve

M₂ : résidu sec après une incinération à 550 °C pendant 3 h

P_e : prise d'essai

3.3.7. Détermination de la teneur en lipides

Le dosage des lipides a été réalisé selon la méthode de Soxhlet (AOAC, 1990). Ce procédé repose sur l'extraction des matières grasses par chauffage à reflux à l'aide d'un solvant organique (hexane), suivie de leur quantification après évaporation du solvant. Une masse de 10 g d'échantillon a été introduite dans une cartouche Whatman, dont l'ouverture a été obturée avec du coton afin d'éviter toute perte de matière lors de l'extraction. Dans un ballon d'extraction, 300 mL d'hexane ont été ajoutés, puis le ballon a été placé sur un bloc chauffant et relié à l'ensemble de l'appareil de Soxhlet (tube Pyrex, France, 500 mL). Le robinet du réfrigérant a été ouvert et le chauffage maintenu pendant 6 heures.

À la fin de l'extraction, le ballon a été retiré, puis placé à un évaporateur rotatif (Heidolph, n° de série : 099800937) afin de séparer les matières grasses du solvant. Le ballon contenant le résidu lipidique a ensuite été séché à l'étuve, refroidi au dessiccateur pendant 15 minutes, puis pesé.

La teneur en matières grasses a été calculée à l'aide de la relation suivante (formule 9)

$$\text{MG (\% g de MS)} = \frac{(M_1 - M_0)}{P_e} \times 100 \quad (9)$$

MG : teneur en matières grasses

M₀ : masse du ballon vide (g)

M₁ : masse du ballon vide et de l'huile après extraction (g)

P_e : prise d'essai (g)

3.3.8. Détermination de la Teneur en glucides totaux

La teneur en glucides totaux a été estimée par différence, conformément à la méthode décrite par Onwuka (2005). Cette estimation repose sur le calcul par soustraction des autres constituants majeurs de l'échantillon (protéines, lipides, fibres, cendres et humidité) à 100 %.

La relation utilisée est donnée par la formule 10 :

$$\text{Glucides (\%)} = 100 - [\text{cendres (\%)} + \text{protéines (\%)} + \text{lipides (\%)} + \text{fibres (\%)}] \quad (10)$$

3.3.9. Détermination de la valeur énergétique (VE)

La valeur énergétique (VE) des échantillons a été estimée à partir de la contribution des trois principaux macronutriments : glucides, protéines et lipides. Le calcul a été effectué en appliquant les facteurs d'Atwater (4 kcal/g pour les glucides, 4 kcal/g pour les protéines et 9 kcal/g pour les lipides), conformément à la méthode décrite par Onwuka (2005).

L'équation de calcul est donnée par l'expression suivante (formule 11) :

$$\text{VE (Kcal/100g)} = [(\% \text{glucides} \times 4) + (\% \text{protéines} \times 4) + (\% \text{lipides} \times 9)] \quad (11)$$

3.3.10. Détermination de la couleur

Les mesures colorimétriques ont été réalisées sur les poudres des différents échantillons d'*Alchornea cordifolia* à l'aide d'un colorimètre (Konica Minolta, modèle CR-400, Japon). La couleur a été exprimée selon le système CIE Lab* (Commission Internationale de l'Éclairage, 1976), tel que décrit par McGuire (1992). Dans ce système :

- L* indique la clarté, variant de 0 (noir) à 100 (blanc) ;
- a* traduit les nuances allant du vert (valeurs négatives) au rouge (valeurs positives), sur une échelle de -60 à +60 ;
- b* représente les teintes allant du bleu (valeurs négatives) au jaune (valeurs positives), également sur une échelle de -60 à +60 (Konica, 2022).

Pour chaque mesure, 3 g de poudre d'échantillon ont été analysés. Les résultats ont été obtenus en triples afin de garantir leur reproductibilité.

3.3.11. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH des échantillons a été déterminé conformément à la méthode décrite par l'AOAC (1984). Pour ce faire, une masse de 5 g d'échantillon a été introduite dans un tube de 50 mL, puis homogénéisée avec 20 mL d'eau distillée. Le mélange obtenu a été centrifugé à 4000 tr/min pendant 15 minutes. Un volume de 10 mL du surnageant a ensuite été transféré dans un bécher pour la mesure du pH.

La détermination a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre (modèle HANNA HI522), dont l'électrode avait été préalablement étalonnée avec des solutions tampons de pH 4,00 et 7,00. La valeur du pH a ensuite été directement lue sur l'écran de l'appareil.

3.3.12. Détermination des minéraux

La détermination des minéraux contenus dans un échantillon commence par la minéralisation et la préparation des solutions de l'échantillon. Une quantité de 0,3 g d'échantillon de poudre végétale dans un creuset en porcelaine puis mis au four à 600 °C pendant 5 heures.

➤ Digestion sur le bain de sable

Après refroidissement, 5 mL d'acide nitrique (HNO₃, 1N) sont ajoutés à la cendre obtenue puis portés à évaporation totale sur un bain de sable. Au résidu, sont ajoutés 5 mL d'acide chlorhydrique (HCl, 1N). Il est ensuite remis au four à 400 °C pendant 30 minutes. Le résidu final est récupéré avec 10 mL d'acide chlorhydrique puis versé dans une fiole de 50 mL. Le creuset est rincé trois fois avec 10 mL d'acide chlorhydrique (HCl, 0,1N). La fiole est complétée à 50 mL avec de l'eau désionisée, avant l'analyse des minéraux par ICP-MS (Poitevin, 2016).

➤ **Analyse des échantillons par ICP-MS**

Les échantillons de poudre de feuille d'*Alchornea cordifolia* ont été analysés à l'aide de la technique de la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (Thermo Fisher Scientific Chromatography and Mass Spectrometry Hanna-Kunath-Strasse 11, Bremen, Germany). La solution finale (50 mL) est filtrée à l'aide d'un filtre à seringue de 0,45 µm dans des tubes coniques. Après filtration, 10 mL de solution sont utilisés pour l'analyse des minéraux. La solution est acheminée grâce à une pompe péristaltique vers un nébuliseur qui va le transformer en aérosol dans une chambre de nébulisation. Le principe est basé sur la séparation des éléments sous forme ionisée dans un spectromètre de masse en fonction du rapport masse sur charge. La quantification est réalisée grâce à un détecteur placé après le quadripôle. Le détecteur est constitué d'une série de dynodes qui transforment les ions reçus en électrons qui sont amplifiés par les dynodes essentiels du photomultiplicateur). Il permet un comptage extrêmement rapide des masses de façon séquentielle. Les concentrations en minéraux sont exprimées suivant la relation 12 :

$$C_m \text{ (ppm)} = \frac{C - V_t}{m} \quad (12)$$

Avec :

C_m = concentration du minérale en ppm

C = concentration lue sur l'appareil (ppm)

V_t = volume total (mL)

m = masse de l'échantillon (g)

3.3.13. Screening phytochimique

Le screening phytochimique a permis de mettre en évidence les différents composés présents dans la poudre de *Alchornea cordifolia*. La détermination des composés phytochimiques a été réalisée selon la méthode développée par Evans (2002). Les résultats ont été classés selon la réaction obtenue (positive ou négative)

3.3.13.1. Recherche des tanins

La recherche des tanins a été effectuée par la réaction au chlorure ferrique à 1 %. Pour ce test, 1 mL de poudre végétale a été introduit dans un tube à essai et mélangé à 2 mL d'eau distillée. Après agitation jusqu'à homogénéisation, une à deux gouttes de solution de chlorure ferrique (1 %, p/v) ont été ajoutées. L'apparition d'une coloration bleue ou bleu-noire a été considérée comme révélatrice de la présence de tanins.

3.3.13.2. Recherche des alcaloïdes

La recherche des alcaloïdes a été réalisée par le test de Mayer. À cet effet, 2 mL de la solution de poudre végétale ont été placés dans un tube à essai, puis quelques gouttes du réactif de Mayer ont été ajoutées. La formation d'un précipité blanc ou blanc-jaune a été considérée comme révélatrice de la présence d'alcaloïdes.

3.3.13.3. Recherche des saponines

Les saponines issues de feuilles de *Alchornea cordifolia* ont été déterminées par la présence de mousse persistante. En effet, un volume de 3 mL d'eau distillée a été ajouté à un volume de 2 mL du matériel végétal sec broyé contenu dans un tube à essai. La formation persistante de mousse après agitation manuelle du tube à essai, indique la présence de saponines.

3.3.13.4. Recherche des polyphénols

La recherche des polyphénols a été effectuée à l'aide du test au chlorure ferrique à 2 %. Pour ce test, 2 mL de la solution de poudre végétale ont été placés dans un tube à essai, puis une goutte de solution alcoolique ou aqueuse de chlorure ferrique (2 %, p/v) a été ajoutée. L'apparition d'une coloration bleu-noirâtre, verte ou foncée, comparée à une solution témoin de phénol, a été considérée comme révélatrice de la présence de polyphénols.

3.3.13.5. Recherche des flavonoïdes

La soude (NaOH) à 0,1N a été utilisée pour tester la présence de flavonoïdes. Pour ce test, 3 mL de la solution de poudre végétale ont été placés dans un tube à essai, puis trois gouttes de soude (NaOH, 0,1 N) ont été ajoutées. L'apparition d'une coloration jaune à jaune-orangé a été considérée comme révélatrice de la présence de flavonoïdes.

3.3.14. Quantification des composés phénoliques

3.3.14.1. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux des échantillons d'*Alchornea cordifolia* a été déterminée selon la méthode décrite par Wood *et al.* (2002), utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu.

Pour la préparation des extraits, 1 g de poudre d'échantillon a été macéré dans 50 mL d'eau distillée pendant 10 minutes. Par la suite, 30 μ L de l'extrait obtenu ont été mélangés à 2,5 mL de réactif de Folin-Ciocalteu préalablement dilué au dixième. Après un temps de repos de 2 minutes dans l'obscurité à température ambiante (25 °C), 2 mL de carbonate de sodium (75 g/L) ont été ajoutés. Le mélange a ensuite été incubé au bain-marie à 50 °C pendant 15 minutes, puis refroidi rapidement. L'absorbance a été mesurée à 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, avec de l'eau distillée comme blanc. Une courbe d'étalonnage a été réalisée à partir de solutions standards d'acide gallique, de concentrations comprises entre 0 et 0,200 mg/mL. Les analyses ont été effectuées en triplicat, et les résultats ont été exprimés en grammes équivalents acide gallique par litre (g EAG/L) d'extrait. Ils peuvent être convertis en mg équivalent acide gallique par gramme d'échantillon (mg EAG/g) en tenant compte du facteur de dilution.

La teneur en polyphénols totaux a été évaluée conformément à la formule (13) suivante :

$$\text{Teneur en polyphenols (mgEAG/g de MS)} = C. \text{ ext} \times fd \quad (13)$$

Avec :

$C. \text{ ext}$ = concentration de l'extrait en mg/mL obtenue au spectrophotomètre à 760 nm ;

fd = Facteur de dilution

3.3.14.2. Dosage des flavonoïdes totaux

La teneur en flavonoïdes totaux a été déterminée selon la méthode décrite par Marinova *et al.* (2005). Pour la préparation des extraits, 1 g de poudre d'échantillon d'*Alchornea cordifolia* a été macéré dans 50 mL d'eau distillée pendant 10 minutes. Ensuite, 2,5 mL de l'extrait obtenu ont été introduits dans une fiole jaugée de 25 mL, puis mélangés successivement avec 0,75 mL de nitrite de sodium (NaNO_2) à 5 % (m/v) et 0,75 mL de chlorure d'aluminium (AlCl_3) à 10 % (m/v). Le mélange a été maintenu à l'obscurité pendant 6 minutes.

Après ce temps d'incubation, 5 mL de soude (NaOH 1N) ont été ajoutés, puis le volume a été complété à 25 mL avec de l'eau distillée. La solution a été homogénéisée à l'aide d'un agitateur magnétique (C-MAG HS10, IKA, France). L'absorbance a ensuite été mesurée à 510 nm au spectrophotomètre

Les résultats ont été exprimés en grammes équivalents quercétine par litre d'extrait (g EQ/L). Les essais ont été réalisés en triple sur l'ensemble des échantillons. Afin de rapporter les données par rapport à la matière sèche, les résultats ont été convertis en mg équivalent quercétine par gramme d'échantillon (mg EQ/g) en tenant compte du facteur de dilution.

La teneur en flavonoïdes totaux a été calculée selon la formule (14) suivante :

$$\text{Teneur en flavonoïdes (mg EQ/g de MS)} = C. \text{ ext} \times fd \quad (14)$$

Avec :

EQ = équivalent quercétine ;

C.ext = concentration de l'extrait en mg/mL obtenue au spectrophotomètre à 510 nm ;

fd = facteur de dilution

3.3.14.3. Détermination de la teneur en anthocyanes

La teneur en anthocyanes totales des échantillons d'*Alchornea cordifolia* a été déterminée selon la méthode du pH différentiel décrite par Lee *et al.* (2005). Cette méthode exploite la propriété des anthocyanes à changer de couleur en fonction du pH : à pH 1,0, elles se présentent sous forme flavylium rouge vif, tandis qu'à pH 4,5, elles adoptent une forme incolore.

Pour le dosage, 1 mL de chaque extrait a été dilué dans 1,5 mL de tampon pH 1,0 et, séparément, dans 1,5 mL de tampon pH 4,5. L'absorbance des deux solutions a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV/visible (JASCO V-530, Japon) à 520 nm (pour détecter la coloration maximale des anthocyanes) et à 700 nm (pour corriger la turbidité et la présence de particules en suspension).

La concentration en anthocyanes a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage préparée avec le standard cyanidine-3-glycoside (C3G). Les résultats ont été exprimés en mg d'équivalent cyanidine-3-glycoside par gramme de matière sèche (mg C3G/g MS) après correction par le facteur de dilution. Les analyses ont été réalisées en triples pour assurer la reproductibilité des résultats.

La concentration en anthocyanes totales (CAT) a été calculée selon la formule suivante (formule 15) :

$$\text{CAT (mg G3G/mL)} = \frac{A \times PM \times 10e3}{\epsilon \times L} \quad (15)$$

Avec :

A : Absorbance corrigée des solutions à pH 1,0 et 4,5

A = (A520 nm - A700 nm) pH 1,0 - (A520 nm - A700 nm) pH 4,5

PM : Poids moléculaire standard du cyanidine-3-glucoside (cyd-3-glu) = 449,2 g / mol

L : Longueur de la cuve = 1cm

ε : coefficient d'extinction molaire du standard (C3G) = 26 900 L.mol⁻¹.cm

10³ : facteur de conversion de g/mL en mg/L.

3.3.14.4. Détermination de la teneur en tanins condensés

La teneur en tanins condensés des échantillons d'*Alchornea cordifolia* a été déterminée selon la méthode modifiée de Heimler *et al.* (2006). Cette méthode repose sur la capacité de la vanilline à réagir avec le groupement flavonoïde terminal des tanins condensés pour former des complexes colorés rouges (Schofield *et al.*, 2001).

Pour le dosage, 50 µL de solution d'extrait (5 mg/mL) ont été placés dans un tube à essai, puis 3 mL de solution de vanilline méthanolique à 4 % ont été ajoutés. Ensuite, 1,5 mL d'acide chlorhydrique concentré (HCl, 37 %) ont été incorporés. Le mélange a été incubé à l'obscurité pendant 15 minutes à température ambiante (25–30 °C). L'absorbance a été mesurée au spectrophotomètre UV/visible à 500 nm, en utilisant du méthanol comme blanc. La catéchine a été utilisée comme standard pour établir une courbe d'étalonnage avec des concentrations allant de 0 à 1000 µg/mL (0 ; 1,95 ; 3,91 ; 7,81 ; 15,625 ; 31,25 ; 62,5 ; 125 ; 250 ; 500 ; 1000 µg/mL). Les résultats ont été exprimés en mg équivalent catéchine par gramme de matière sèche (mg EC/g MS). La teneur en tanins condensés a été calculée selon la relation suivante (formule 16) :

$$\text{Teneur en tanins condensés (mg EC/g)} = \frac{\text{Conc}_{\text{spect}} \times \text{fd} \times R}{\text{Conc}_{\text{ext}} \times 100} \quad (16)$$

Avec :

Conc_{ext} = concentration de l'extrait en mg/mL

Conc_{spect} = concentration de l'extrait en mg/mL obtenue au spectrophotomètre à 500 nm ;

fd = Facteur de dilution

R = rendement d'extraction

100 : Facteur de conversion pour exprimer le résultat en fonction de la matière sèche

3.3.14.5. Détermination de la teneur en tanins totaux

La teneur en tanins totaux a été déterminée par méthode colorimétrique au réactif de Folin-Ciocalteu, selon la procédure décrite par Ci & Indira (2016).

Pour le dosage, 100 µL de solution d'extrait (5 mg/mL) ont été ajoutés dans un tube à essai contenant 7,5 mL d'eau distillée et 0,5 mL de réactif de Folin-Ciocalteu. Ensuite, 1 mL de Na₂CO₃ à 35 % a été ajouté, et le volume final a été porté à 10 mL par l'ajout de 900 µL d'eau distillée. Le mélange a été homogénéisé puis laissé réagir pendant 30 minutes à température ambiante (25–30 °C). L'absorbance a été mesurée au spectrophotomètre UV/visible à 700 nm, avec de l'eau distillée comme blanc. Une courbe d'étalonnage a été réalisée à partir de solutions standards d'acide tannique, avec des concentrations allant de 0 à

1000 µg/mL (0 ; 1,95 ; 3,9 ; 7,81 ; 15,62 ; 31,25 ; 62,5 ; 125 ; 250 ; 500 ; 1000 µg/mL). Les résultats ont été exprimés en mg équivalent acide tannique par gramme d'extrait sec (mg EAT/g). La teneur en tanins totaux a été calculée selon la formule suivante (formule 17) :

$$\text{Teneur en tanins totaux (mg EAT/g de MS)} = \frac{\text{Conc}_{\text{spect}} \times \text{fd} \times R}{\text{Conc}_{\text{ext}} \times 100} \quad (17)$$

Avec :

Conc_{ext} = concentration de l'extrait en mg/mL

$\text{Conc}_{\text{spect}}$ = concentration de l'extrait en mg/mL obtenue au spectrophotomètre à 700 nm ;

fd = Facteur de dilution

R = rendement d'extraction

100 : Facteur de conversion pour exprimer le résultat en fonction de la matière sèche

3.3.15. Activité antioxydante

3.3.15.1. Test par radical ABTS

Le pouvoir antioxydant des échantillons a été évalué à l'aide du test ABTS (2,2'-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique), basé sur la capacité des composés à réduire le radical-cation ABTS^{+•}, selon la méthode de Re *et al.* (1999).

Pour la préparation du radical ABTS^{+•} : 8 mM d'ABTS (87,7 mg dans 20 mL d'eau distillée) ont été mélangés à 3 mM de persulfate de potassium (0,0162 g dans 20 mL d'eau distillée) dans un ratio 1 : 1 (v/v). Le mélange a été incubé à l'obscurité à température ambiante pendant 12–16 heures. La solution radicalaire obtenue a ensuite été diluée avec du méthanol afin d'obtenir une absorbance de $0,7 \pm 0,02$ à 734 nm. Pour le test, 3,9 mL de cette solution diluée d'ABTS^{+•} ont été ajoutés à 100 µL de l'extrait à tester. Après agitation, le mélange a été incubé pendant 6 minutes à l'obscurité (30 ± 2 °C). L'absorbance résiduelle du radical ABTS^{+•} a été mesurée à 734 nm au spectrophotomètre UV-visible, et devait se situer entre 20 % et 80 % de l'absorbance du blanc. Les essais ont été réalisés en triple, et les résultats ont été exprimés en µmol équivalent Trolox par litre d'extrait (µmol TE/L). Une courbe d'étalonnage a été établie à partir de solutions standards de Trolox aux concentrations suivantes : 0,375 ; 0,5 ; 0,625 ; 1 ; 1,125 ; 1,375 et 1,5 µM.

Le pourcentage d'inhibition (%I) du radical ABTS^{+•} a été calculé selon la formule suivante (formule 18)

$$\%I_{\text{ABTS}} = \frac{\text{Abs}_{734 \text{ blanc}} - \text{Abs}_{734 \text{ extrait}}}{\text{Abs}_{734 \text{ blanc}}} \times 100 \quad (18)$$

Avec : % I = pourcentage d'inhibition

$Abs_{734\text{ blanc}} = \text{absorbance du blanc à } 734\text{nm}$

$Abs_{734\text{ extrait}} = \text{absorbance de l'extrait à } 734\text{nm}$

La concentration initiale de l'extrait avant dilution était de 0,1 g/20 mL. Cette relation permet de convertir le pourcentage d'inhibition en μM d'équivalent Trolox, facilitant ainsi la comparaison de l'activité antioxydante des différents extraits.

La courbe d'étalonnage réalisée avec le standard Trolox a permis d'exprimer l'activité antioxydante des extraits selon la relation suivante (formule 19) :

$$\text{Potentiel antioxydant } (\mu\text{M } \text{éq Trolox}) = \frac{\%I \times fd}{4,99 \times 10} \quad (19)$$

Avec :

$\%I = \text{pourcentage d'inhibition}$

$fd = \text{Facteur de dilution}$

3.3.15.2. Test d'inhibition du radical DPPH

L'activité antioxydante des extraits a été évaluée à l'aide du test DPPH (1,1-diphényl-2-picryl-hydrazyl), modifié selon Mez *et al.* (2010) et réalisé suivant les méthodes de Randhir & Shetty (2007).

Le DPPH est un radical libre stable, soluble dans le méthanol ou l'éthanol, qui présente une couleur violette intense avec un maximum d'absorbance à 517 nm. La méthode repose sur la décoloration rapide du DPPH en jaune pâle lorsqu'il est réduit par une substance antioxydante. Pour le dosage, 50 μL de solution d'extrait aqueux ou éthanolique (50 % et 96 %) ont été ajoutés à 2,95 mL de solution méthanolique de DPPH (60 μM) dans un tube à essai. Le mélange a été agité pendant 10 secondes, puis incubé à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante (22–25 °C). L'absorbance a été mesurée à 517 nm au spectrophotomètre UV/visible, en utilisant comme blanc le mélange MeOH–DPPH. L'acide gallique a été utilisé comme standard, préparé à différentes concentrations : 15 ; 12,5 ; 10 ; 7,5 ; 5 ; 2,5 ; 1 ; 0,5 et 0,25 mg/mL.

Le pourcentage d'inhibition (%I) du radical DPPH a été calculé selon la formule suivante (formule 20) :

$$\%I_{\text{DPPH}} = \frac{Abs_{517\text{ blanc}} - Abs_{517\text{ extrait}}}{Abs_{517\text{ blanc}}} \times 100 \quad (20)$$

Avec : $\%I = \text{pourcentage d'inhibition}$

$Abs_{517\text{ blanc}} = \text{absorbance du blanc à } 517\text{nm}$

$Abs_{517\text{ extrait}} = \text{absorbance de l'extrait à } 517\text{nm}$

La concentration inhibitrice à 50 % (CI₅₀) correspond à la concentration d'extrait nécessaire pour inhiber 50 % du radical DPPH. Elle a été déterminée graphiquement à partir d'une régression linéaire de la relation entre le pourcentage d'inhibition et la concentration de l'extrait. Une CI₅₀ faible indique une forte activité antioxydante de l'extrait (Sahgal *et al.*, 2009).

3.3.16. Dosages des vitamines

3.3.16.1. Teneur en β-Carotène et vitamine A

La teneur en β-carotène des échantillons a été déterminée selon la méthode décrite par Aké *et al.* (2001).

Pour le dosage, 1 g d'échantillon a été mélangé à 2,5 mL d'éthanol (96°) et 0,1 mL d'hydroquinone alcoolique (20 g d'hydroquinone dans 100 mL d'éthanol 95°), puis 5 mL d'hexane ont été ajoutés. Le mélange a été rendu homogène par agitation au vortex, puis transvasé dans des godets et centrifugé à 3000 tours/min pendant 20 minutes. Le surnageant, protégé de la lumière par du papier aluminium, a été recueilli dans des tubes à essai. Pour la mesure, 4 mL du surnageant ont été transférés dans une cuve, et la densité optique a été lue à 450 nm au spectrophotomètre (T80 UV/VIS), en utilisant un blanc approprié. Une gamme étalon de β-carotène a été préparée à partir d'une solution mère de 10 µg/mL. La quantité de β-carotène de chaque échantillon a été calculée à partir de la courbe d'étalonnage, dont l'équation de régression était : $DO_{450} = 0,0163 Q$ avec $R^2 = 0,9988$.

$$\beta - \text{carotène } (\mu\text{g}/100 \text{ g}) = \frac{Q \times fd}{Pe} \quad (21)$$

fd: facteur de dilution

Pe : prise d'essai

Q : quantité de β-carotène dans chaque tube (µg)

La teneur en vitamine A a été déterminée en divisant la teneur en β-carotène par 6, selon la méthode de Borel *et al.* (2005), conformément à la formule suivante (formule 22) :

$$\text{Vitamine A } (\mu\text{g}/100 \text{ g}) = \frac{Q}{6} \quad (22)$$

6 : facteur de conversion :

1 µg de rétinol actif (vitamine A) = 6 µg de β-carotène provenant de l'alimentation

3.3.16.2. Teneur en vitamine C

La teneur en vitamine C des échantillons a été déterminée selon la méthode de Pongracz *et al.* (1971) et l'AOAC (2005). Cette méthode repose sur la réduction du 2,6-dichlorophénol-indophénol (DCPIP) par la vitamine C présente dans l'échantillon.

Pour le dosage, 10 g d'échantillon broyé ont été solubilisés dans 40 mL d'acide métaphosphorique-acide acétique (2 % ; p/v). Le mélange a été centrifugé à 3000 tours/min pendant 20 minutes, puis le surnageant a été transféré dans une fiole jaugée de 50 mL et complété avec de l'eau distillée bouillie et refroidie, à l'abri de l'air. Une aliquote de 10 mL de ce surnageant a été prélevée dans un erlenmeyer et titrée avec la solution de DCPIP (0,5 g/L) jusqu'au virage au rose persistant.

La teneur en vitamine C a été calculée selon la formule suivante (formule 23)

$$\text{Vitamine C (mg/100 g)} = \frac{C_{2,6\text{DCPIP}} \times V_e \times f_d}{P_e} \times 100 \quad (23)$$

V_e : volume de 2,6- dichlorophénol indophénol obtenu par titrage du filtrat

$C_{2,6\text{DCPIP}}$: concentration du dichlorophénol indophénol (0,5 g/l)

P_e : prise d'essai

F_d : facteur de dilution : 5

3.3.17. Transformation de *Alchornea cordifolia* en tisane et en thé vert

Les feuilles d'*Alchornea cordifolia* ont été retenues pour la préparation des infusions, les jeunes feuilles servant à la transformation en thé vert, tandis que l'ensemble des feuilles (jeunes et matures) a été utilisé pour la tisane. Ce choix repose sur des considérations pratiques, les feuilles sont plus faciles à sécher, broyer et infuser, et constituent la forme la plus couramment utilisée par les populations. Quant aux fruits, bien qu'inclus dans l'étude, ils n'ont pas été intégrés dans les formulations car ils se prêtent difficilement à une transformation artisanale en thé ou en tisane, et leur utilisation traditionnelle dans les préparations infusées reste limitée et beaucoup moins répandue que celle des feuilles

3.3.17.1. Procédé de transformation des feuilles de *Alchornea cordifolia* en tisane

Après la cueillette, les feuilles ont été soigneusement triées afin d'éliminer celles présentant des irrégularités. Pour la préparation de la tisane, 400 g de feuilles ont été prélevés, comprenant 200 g de feuilles jeunes et 200 g de feuilles matures, puis séchés au soleil pendant 3 à 5 jours. Les feuilles mortes ont également été collectées, triées et lavées avant utilisation.

Les feuilles obtenues ont été conditionnées dans des sachets plastiques, puis stockées dans des sacs à température ambiante, à l'abri de l'humidité et de la lumière, conformément à la méthode modifiée de Ekissi (2014) (Figure 9).

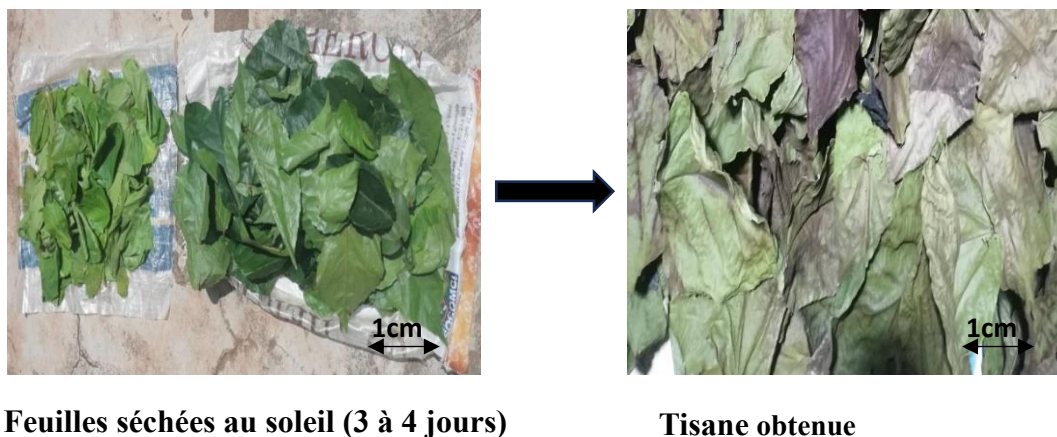


Figure 9: Procédé d'obtention de la tisane d'*Alchornea cordifolia* (Zioh, 2025)

3.3.17.2. Procédé de transformation des feuilles de *Alchornea cordifolia* en thé vert

La transformation des feuilles d'*Alchornea cordifolia* en thé vert a été réalisée selon la méthode orthodoxe de Coves (2000), mais modifiée. Après la cueillette, les feuilles ont été soigneusement triées, puis 200 g de feuilles ont été pesées et flétries à l'étuve (Memmert) à 32 °C pendant 9 à 13 heures.

Les feuilles flétries ont ensuite été roulées ou malaxées manuellement pendant 20 à 40 minutes, cette opération étant répétée deux fois pour favoriser l'oxydation enzymatique contrôlée. Après le roulage, les feuilles ont été séchées à l'étuve (Memmert) à 90–95 °C pendant 30 minutes, cette étape étant répétée après un repos de 15 minutes, jusqu'à obtention d'un produit sec, correspondant au thé vert (Figure 10). Les thés obtenus ont été conditionnés dans des sachets plastiques, puis stockés dans des cartons à température ambiante, à l'abri de l'humidité et de la lumière.

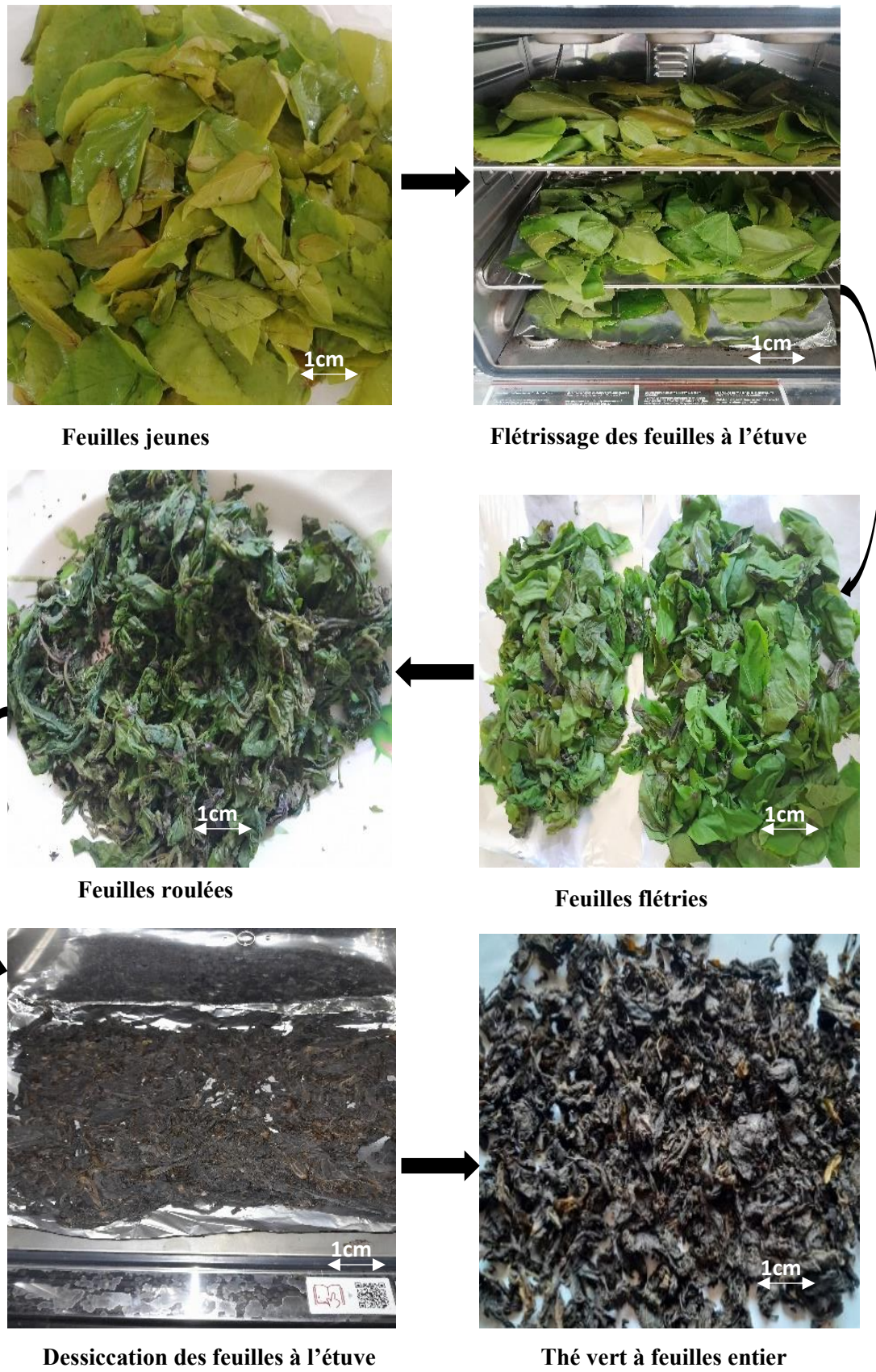


Figure 10: Transformation des feuilles d'*Alchornea cordifolia* en thé vert (Zioh, 2025)

3.3.18. Analyse sensorielle

3.3.18.1. Préparation des échantillons pour analyse sensorielle

Les analyses sensorielles ont été réalisées à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE. La salle dédiée à ces analyses était équipée de six paillasse individuelles pour les tests hédoniques et d'une salle annexe pour les travaux préparatoires. Les évaluations ont été effectuées sur papier, et les échantillons ont été présentés en mode monadique (un seul échantillon à la fois), accompagnés d'un verre d'eau et d'un biscuit afin d'atténuer le goût résiduel entre chaque dégustation. Les tests ont été réalisés à l'aide de 18 ensembles de thé en porcelaine, comprenant un bol de dégustation et une verseuse conforme à la norme ISO 3103 (1981), permettant de préparer la liqueur et de recueillir les feuilles dans le couvercle. Les pesées nécessaires ont été effectuées avec une balance de précision (SARTORIUS ANALYTIC, Allemagne).

Pour chaque session, 2 g de thé vert ont été infusés dans 100 mL d'eau chauffée à 95 °C pendant 3 minutes, conformément aux recommandations de l'ISO 3103 (1981). Chaque échantillon a été codé par un code à trois chiffres et présenté au juge sur un plateau. Le juge a procédé à l'observation visuelle, à l'olfaction, puis à la dégustation de la liqueur. Pour la tisane et les feuilles mortes, la préparation a été effectuée par décoction : 50 g de produit ont été bouillis dans 1 L d'eau pendant 10 minutes avant présentation aux juges.

3.3.18.2. Panel sensoriel

Le jury sensoriel était composé de 14 participants : huit femmes et six hommes, recrutés parmi le personnel de l'université et de la ville de Daloa. Tous les membres du panel étaient novices en évaluation sensorielle. Avant les séances, il leur a été recommandé de ne pas utiliser de parfums le jour de l'analyse et de s'abstenir de consommer nourriture, tabac ou boissons autres que l'eau, y compris le café, pendant au moins une heure avant la séance afin de garantir la fiabilité des évaluations.

3.3.19. Epreuves sensorielles de la tisane, du thé vert et des feuilles mortes

Deux tests sensoriels ont été menés pour les trois types de produits (tisane, thé vert et feuilles mortes), à savoir le test d'acceptabilité et le profil sensoriel.

3.3.19.1. Test d'acceptabilité

L'acceptabilité de la tisane, du thé vert et des feuilles mortes a été évaluée à l'aide de tests hédoniques. Les essais ont été menés en deux sessions pour chaque produit, avec la participation

d'environ soixante personnes non formées, comprenant des jeunes filles, des jeunes garçons, des femmes et des hommes adultes, sélectionnés en fonction de leur disponibilité et de leur familiarité avec les thés et les tisanes. Les échantillons, codés avec trois chiffres aléatoires pour le thé vert et la tisane, ont été présentés en mode monadique (un seul échantillon à la fois) à chaque dégustateur. L'acceptabilité de chaque échantillon a été évaluée selon une échelle hédonique à 9 points (voir Annexe 1) (Meilgaard *et al.*, 1999). Des valeurs numériques ont été attribuées aux différentes catégories de l'échelle (de 1 à 9), avec 1 représentant extrêmement désagréable et 9 représentant extrêmement agréable. Les dégustateurs ont été invités à rincer leur bouche après chaque dégustation. Ces tests hédoniques ont été réalisés à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE.

3.3.19.2. Profil sensoriel

La caractérisation sensorielle des feuilles d'*Alchornea cordifolia*, transformées en tisane et en thé vert, a permis d'établir et de comparer leurs profils sensoriels.

Un jury de quatorze de personnes (étudiants et membres du personnel de l'Université) a été constitué. Les panélistes, hommes et femmes adultes, ont été sélectionnés en fonction de leur disponibilité, de leur sensibilité sensorielle (vision, odorat, goût), de leurs compétences linguistiques en français et de leur capacité de raisonnement (Annexe 2).

La familiarité avec les produits à base d'*Alchornea cordifolia* n'a pas été un critère déterminant. Le jury a été formé à la méthode d'analyses descriptives et quantitatives (Stone & Sidel, 1993) lors de quatre séances. Les attributs sensoriels du thé vert, de la tisane et des feuilles mortes y ont été identifiés, définis, testés et quantifiés sur une échelle linéaire de 0 à 10 points (Annexe 3), en référence à des produits témoins de très faible ou de très forte intensité (Annexe 4).

Lors de l'évaluation, les échantillons codés de thé vert et de tisane et tisanes de feuilles mortes ont été présentés individuellement sur plateau, accompagnés d'un guide précisant les définitions des attributs et les instructions de test. Chaque panéliste a noté l'intensité perçue de chaque attribut sur l'échelle linéaire non structurée (Annexe 3), allant de l'extrémité gauche (intensité la plus faible) à l'extrémité droite (intensité la plus élevée) allant de 0 à 10 cm.

Afin de limiter l'effet de persistance en bouche, les panélistes consommaient un biscuit (O'lait) puis se rinçaient la bouche entre deux échantillons. Les évaluations ont été réalisées en deux sessions distinctes pour chaque produit, chacune d'une durée inférieure à une heure après la préparation des thés et tisanes.

3.3.20. Méthodologie des surfaces de réponses : plan factoriel complet

Un plan factoriel complet a été utilisé pour modéliser la production du thé vert à partir des feuilles d'*Alchornea cordifolia*. Une méthodologie des plans d'expériences a été suivie pour atteindre cet objectif.

3.3.20.1. Inventaire des facteurs et réponses

Des essais préliminaires (criblage des facteurs) ont permis d'identifier des facteurs clés influençant la production du thé vert. Il s'agit du temps de flétrissement (heure), de la température de flétrissement (°C), du temps de roulage (min) et la température de dessiccation (°C). Les réponses enregistrées sont la teneur en eau Y_1 (%) et la teneur en flavonoïdes Y_2 (mg EQ/g). Ces deux réponses ont été mesurées du fait de leur importance pour la conservation de longue durée et pour le bien-être du consommateur. L'objectif était d'atteindre la teneur minimale en eau avec la quantité maximale de flavonoïdes. Il faut noter ici que dans le cas des thés verts les feuilles de thé contiennent une grande quantité de polyphénols (environ 30 % dans les feuilles de thé séchées), principalement des flavonoïdes (Grassi *et al.*, 2009) ce qui a porté le choix sur les flavonoïdes.

3.3.20.2. Définition du domaine expérimental et établissement de la matrice factorielle de Yates

Avant toute investigation, il est nécessaire de délimiter le domaine d'étude, c'est-à-dire l'intervalle de variation de chaque facteur expérimental. Le domaine expérimental comprenant les niveaux bas et niveaux haut codés respectivement -1 et +1, est présenté dans le tableau III. En remplaçant, les valeurs codées par les valeurs réelles, le tableau d'expérimentation a été obtenu (Tableau IV). Dans la présente étude, le plan factoriel complet 2^k essais avec k le nombre de facteurs étudiés, a été utilisé. Pour ce plan comportant quatre (4) facteurs, le nombre d'essais à réaliser est de 2^4 , soit 16 essais. En outre, la matrice de Yates pour la réalisation de ce plan est consignée dans le tableau IV. A partir de ce tableau, les essais ont été réalisés. Concernant l'exécution des essais, elle a été effectuée en choisissant de manière aléatoire les essais à réaliser.

Par ailleurs, afin d'estimer la variabilité expérimentale et la courbure potentielle du modèle, trois (03) essais supplémentaires ont été réalisés au centre du domaine (niveau codé 0) (Feinberg, 1996 ; Adjoumani, 2021). Les points centraux ont été déterminés pour chaque facteur, en appliquant la formule 24 :

$$X_{\text{centre}} = \frac{X_{\text{max}} + X_{\text{min}}}{2} \quad (24)$$

avec X_{centre} : valeur réelle pour le niveau codé 0 ;

X_{max} : Valeur réelle pour le niveau codé +1 ;

X_{min} : Valeur réelle pour le niveau codé -1.

Tableau III: Domaine expérimental

FACTEURS	Niveau bas (-1)	Niveau haut (+1)
X_1 : Temps de flétrissement (heure)	11	13
X_2 : Température flétrissement (°C)	32	38
X_3 : Temps roulage (min)	25	35
X_4 : Température dessiccation (°C)	92	94

3.3.20.3. Etablissement du modèle de production du thé vert à partir des feuilles d'*Alchornea cordifolia* et détermination des paramètres de qualité

Pour évaluer l'effet de plusieurs facteurs sur une réponse, une variation simultanée de tous les facteurs a été effectuée en sélectionnant leurs bornes extrêmes (niveaux bas et haut), permettant ainsi de délimiter efficacement le domaine d'étude. Les niveaux des facteurs sont codifiés selon la notation de Yates. (Tableau IV) :

- Niveau +1 : valeur maximale
- Niveau -1 : valeur minimale

Les combinaisons expérimentales sont ensuite organisées sous forme matricielle. Dans cette étude, quatre facteurs ont été retenus :

- X_1 : Température de flétrissement (°C)
- X_2 : Temps de flétrissement (h)
- X_3 : Temps de roulage (min)
- X_4 : Température de dessiccation (°C)

Ces facteurs sont analysés pour leur impact sur deux réponses :

- Y_1 : Teneur en eau
- Y_2 : Teneur en flavonoïdes.

Dans ces conditions, l'équation générale du modèle postulé pour chaque réponse est :

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_{12} X_1 X_2 + a_{13} X_1 X_3 + a_{14} X_1 X_4 + a_{23} X_2 X_3 + a_{24} X_2 X_4 + a_{34} X_3 X_4 + a_{123} X_1 X_2 X_3 + a_{124} X_1 X_2 X_4 + a_{134} X_1 X_3 X_4 + a_{234} X_2 X_3 X_4 + a_{1234} X_1 X_2 X_3 X_4$$

Avec $a_0, a_1, \dots, a_{1234}$: les coefficients du modèle

X_1, X_2, X_3, X_4 : les facteurs étudiés

Y : la réponse enregistrée.

Pour déterminer les coefficients du modèle, une régression linéaire multiple a été réalisée. Bien avant, les facteurs et interactions significatifs devant composer le modèle ont été sélectionnés en utilisant le diagramme de Pareto du logiciel Design Expert 13. Le modèle retenu a montré un effet significatif (de facteurs) sur la réponse, une erreur d'ajustement non significative et un coefficient de détermination supérieur à 0,7. En outre, la normalité de la distribution des résidus du modèle a été un autre critère de choix, tout comme la mesure de la distance de Cook en vue d'identifier d'éventuelles données aberrantes.

Tableau IV: Matrice de Yates et tableau d'expérimentation du plan factoriel complet 2^4 utilisé

Essai n°	Valeurs codées				Valeurs réelles			
	X1	X2	X3	X4	X1	X2	X3	X4
1	-1	-1	-1	-1	11	32	25	92
2	+1	-1	-1	-1	13	32	25	92
3	-1	+1	-1	-1	11	38	25	92
4	+1	+1	-1	-1	13	38	25	92
5	-1	-1	+1	-1	11	32	35	92
6	+1	-1	+1	-1	13	32	35	92
7	-1	+1	+1	-1	11	38	35	92
8	+1	+1	+1	-1	13	38	35	92
9	-1	-1	-1	+1	11	32	25	94
10	+1	-1	-1	+1	13	32	25	94
11	-1	+1	-1	+1	11	38	25	94
12	+1	+1	-1	+1	13	38	25	94
13	-1	-1	+1	+1	11	32	35	94
14	+1	-1	+1	+1	13	32	35	94
15	-1	+1	+1	+1	11	38	35	94
16	+1	+1	+1	+1	13	38	35	94

X_1 : Température de flétrissement (°C) ; X_2 : Temps de flétrissement (h) ; X_3 : Temps de roulage (min) ; X_4 : Température de dessiccation (°C)

3.3.20.4. Détermination des niveaux optimums des paramètres à partir du modèle postulé pour le plan factoriel complet

Les conditions optimales de production du thé à partir des feuilles d'*Alchornea cordifolia* ont été déterminées de manière théorique en réalisant une optimisation multi-objectifs. Il s'agit de minimiser la teneur en eau du produit fini tout en maximisant leur teneur en flavonoïdes. Ainsi, le produit se conservera sur une période relativement longue tout en améliorant le bien-être des consommateurs. L'optimisation multi-objectifs a été effectuée à partir des deux équations établies pour les réponses en utilisant le logiciel Design Expert 13. Par ailleurs, plus la désirabilité sera élevée (proche de 1), meilleure sera l'optimisation réalisée. Sur la centaine de solutions fournies, la meilleure a été choisie en tenant compte de la désirabilité la plus élevée.

3.3.20.5. Test de validation du modèle issu du plan factoriel complet

La validation du modèle a reposé sur une analyse comparative des réponses expérimentales et des réponses prédites. Des tests de confirmation ont été réalisés dans les conditions optimales précédemment déterminées en visant une teneur minimale en eau et une teneur maximale en flavonoïdes. La fiabilité ou qualité du modèle a été évaluée au moyen d'un taux de déviation, qui quantifie l'écart entre les valeurs prédites par le modèle et celles expérimentales obtenues lors des essais de validation. A cet effet, trois essais ont été effectués dans les conditions optimales et les différentes réponses ont été mesurées sur les produits finis obtenus.

Le taux de déviation exprimé en pourcentage, la différence moyenne entre les valeurs mesurées et les valeurs théoriques par le modèle. Il est défini par l'équation suivante (formule 25) :

$$\text{Taux de déviation (\%)} = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{i, \text{exp}} - Y_{i, \text{préd}}}{Y_{i, \text{exp}}} \right| \quad (25)$$

$Y_{i, \text{exp}}$: Réponse expérimentale observée pour l'essai i ;

$Y_{i, \text{préd}}$: Réponse prédite par le modèle pour l'essai i ;

N : Nombre total d'essais de validation.

Le modèle a été jugé satisfaisant ou bon, lorsque le taux de déviation est inférieur à 10 % (AOAC International, 2016).

3.3.21. Traitement statistique des données

Les données biochimiques, physico-chimiques et sensorielles des feuilles, fruits, thés verts et tisanes ont été analysées à l'aide des logiciels SAS 9.4 et XLSTAT, permettant de réaliser les statistiques descriptives, les analyses de variance (ANOVA), les analyses multivariées. Excel 2016 pour générer les graphiques. La normalité des données quantitatives a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk ($\alpha = 5 \%$), et une transformation racine carrée $X_i = \sqrt{X_i + 0,5}$ a été appliquée pour réduire les écarts-types. Les données brutes ont ensuite fait l'objet d'une analyse descriptive (moyennes et écarts-types). L'ANOVA a été utilisée pour comparer les échantillons et mettre en évidence d'éventuelles différences significatives. Pour toute ANOVA significative ($P \leq 0,05$), le test de Newman & Keuls a été appliqué afin de classer les échantillons pour chaque caractère étudié. Les analyses multivariées comprenaient l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). L'ACP a été réalisée sur l'ensemble des paramètres physico-chimiques, biochimiques et sensoriels afin de visualiser les échantillons sur un plan à deux dimensions, de déterminer les

corrélations, la contribution et le \cos^2 des paramètres, et d'apprécier la pertinence de l'analyse à l'aide du test KMO (Kaiser-Meyer-Olkin). La CAH a été effectuée sur les données sensorielles pour regrouper les thés verts et tisanes selon leurs similarités, les résultats étant présentés sous forme de dendrogrammes, et l'ensemble des analyses multivariées a été réalisé avec XLSTAT 2014.

L'optimisation a été réalisée à l'aide du logiciel Design-Expert 13, utilisé pour affiner les modèles mathématiques et déterminer les conditions offrant les valeurs optimales. La validité de ces modèles a été vérifiée en menant des expériences dans les conditions proposées par le logiciel, puis en comparant les résultats expérimentaux aux valeurs prédites. Enfin, le calcul des taux de déviation a été effectué avec Excel 2016.

TROISIEME PARTIE :
RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 1 : Détermination de la composition chimique, nutritionnelle et phytochimique des feuilles et des fruits d'*Alchornea cordifolia*

1.1. Résultats

1.1.1. Compositions physico-chimiques des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*

Les tableaux V et VI ci-dessous présentent les teneurs moyennes en sucres totaux, sucres réducteurs, protéines, cendres, fibres, pH, matière sèche, lipides, glucides et en valeur énergétique mesurées dans les différentes parties des feuilles (jeunes, matures, mortes) ainsi et les fruits d'*Alchornea cordifolia*, provenant des localités de Yamoussoukro, Séguéla et Daloa. L'analyse de variance a révélé des différences hautement significatives ($P \leq 0,05$) entre les échantillons (feuilles jeunes, matures, mortes, fruits) et leur origine géographique (Yamoussoukro, Séguéla, Daloa) pour la majorité des paramètres biochimiques.

Pour les sucres totaux, les teneurs sont globalement plus élevées dans les fruits suivis des feuilles matures à Yamoussoukro (8,40 % ; 6,80 %) et à Daloa (8,00 % ; 7,71 %), tandis que les feuilles mortes affichaient les teneurs les plus faibles, notamment à Yamoussoukro (3,90 %). Concernant les sucres réducteurs, les feuilles matures présentent des taux plus élevés, en particulier à Daloa (4,40 %) et Yamoussoukro (3,10 %), alors que les feuilles mortes et jeunes affichaient des niveaux plus faibles à Yamoussoukro (1,76 %) et Séguéla (1,87%). Relativement les fruits de Séguéla (1,20%) présentaient les plus faibles valeurs.

Pour les protéines, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans les feuilles matures (28 %) et les feuilles jeunes (25 %) issues de Yamoussoukro. Par ailleurs, les concentrations les plus faibles de protéines sont présentées par les fruits et les feuilles mortes issus de Séguéla et Yamoussoukro. Ces concentrations sont respectivement de 6 % et 10 % pour ce qui concerne les fruits et de 12,33 % pour les feuilles mortes.

S'agissant des teneurs en cendres, les feuilles mortes présentaient les valeurs les plus élevées dans toutes les localités, avec un maximum à Daloa (7,38 %). À l'inverse, les feuilles matures présentent les valeurs les plus faibles, notamment à Yamoussoukro (3,65 %). Les fruits présentent des valeurs moyennes entre 4,62 % et 5,04 %.

Quant à la teneur en fibre, les feuilles mortes contenaient plus de fibres que les autres parties (35,47 %) à Yamoussoukro, 39,01 % à Séguéla, 36,52 % à Daloa). En revanche, les fruits et feuilles jeunes ont les teneurs les plus faibles autour de 21,80 % à 24,03 %.

Les valeurs de pH les plus élevées ont été enregistrées dans les feuilles jeunes (4,63), suivies des feuilles matures (4,47) en particulier à Yamoussoukro, et les feuilles mortes à Daloa (4,30). Les fruits enregistrent des valeurs plus faibles, particulièrement à Séguéla (3,80).

Pour la teneur en matière sèche, les feuilles mortes ont montré des teneurs exceptionnellement élevées, comprises entre 90,14 % (Yamoussoukro) et 92,64 % (Séguéla), ces valeurs sont bien supérieures à celles des feuilles jeunes allant de 26,76 % à 36,89 %, matures de 36,47 % à 42,58 % ou des fruits de 19,40 % à 29,47 %. A l'opposé, les fruits affichaient les valeurs les plus faibles notamment 19,40 % à Daloa.

Au niveau des lipides, les feuilles matures et mortes contiennent globalement les valeurs les plus élevées en particulier à Yamoussoukro (2,46 % et 2,26 %) que les feuilles jeunes (0,80 à 1,32 %) et les fruits (0,77 à 8,75 %). Particulièrement les fruits de Daloa présentent une valeur de 8,75 % bien supérieure à celles observées dans les autres localités pour ce même organe.

En ce qui concerne les glucides, les fruits se distinguent par leurs teneurs plus élevées, en particulier à Yamoussoukro (60,70 %) et Séguéla (59,93 %). Les feuilles matures ont montré les valeurs les plus faibles, notamment à Yamoussoukro (35,21 %). Les fruits présentent les valeurs énergétiques les plus élevées, avec un maximum enregistré à Daloa (295,56 kcal/100 g), suivi de Yamoussoukro (254,30 kcal/100 g) et Séguéla (235,01 kcal/100 g). À l'opposé, les feuilles mortes affichent les plus faibles valeurs, particulièrement à Séguéla (184,56 kcal/100g) et Daloa (193,52 kcal/100g). Concernant les feuilles jeunes, la valeur énergétique est relativement élevée proche des fruits, avec un maximum enregistré à Daloa (250,17 kcal/100g). Les feuilles matures, en revanche, présentent des valeurs intermédiaires comprises entre 213,00 kcal/100g (Yamoussoukro) et 225,40 kcal/100g (Séguéla).

Tableau V: Compositions physico-chimiques des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia* dans trois localités

Echantillons		Feuilles jeunes	Feuilles matures	Feuilles mortes	Fruits	P
Protéine (%)	Yakro	25,00 ± 1,52 ^a	28,00 ± 2,29 ^a	12,33 ± 1,30 ^b	10,00 ± 0 ^b	0,0001
	Séguéla	14,66 ± 0,16 ^b	21,00 ± 1,60 ^a	15,33 ± 0,72 ^b	6,00 ± 0 ^c	0,0001
	Daloa	15,67 ± 0,44 ^a	13,67 ± 0,44 ^b	12,67 ± 0,44 ^b	10,0 ± 0 ^c	0,0001
Lipides (%)	Yakro	0,80 ± 0,09 ^c	2,27 ± 0,23 ^a	2,46 ± 0,24 ^a	1,58 ± 0,01 ^b	0,0001
	Séguéla	1,32 ± 0,19 ^a	1,52 ± 0,19 ^a	1,32 ± 0,14 ^a	0,77 ± 0,08 ^a	0,2056
	Daloa	1,08 ± 0,10 ^c	1,46 ± 0,06 ^b	1,59 ± 0,08 ^b	8,75 ± 0,33 ^a	0,0001
Sucres totaux (%)	Yakro	6,73 ± 0,29 ^b	6,80 ± 0,47 ^b	3,90 ± 0,37 ^c	8,40 ± 0 ^a	0,0001
	Séguéla	5,13 ± 0,23 ^a	5,47 ± 0,61 ^a	5,20 ± 0,40 ^a	5,60 ± 0 ^a	0,9138
	Daloa	4,95 ± 0,57 ^a	7,71 ± 0,80 ^a	5,37 ± 0,66 ^a	8,00 ± 0 ^a	0,0143
Sucres réducteurs (%)	Yakro	2,20 ± 0,10 ^b	3,10 ± 0,13 ^a	1,76 ± 0,24 ^b	2,40 ± 0 ^b	0,0001
	Séguéla	1,87 ± 0,07 ^a	2,10 ± 0,18 ^a	2,03 ± 0,06 ^a	1,20 ± 0 ^b	0,0036
	Daloa	2,90 ± 0,05 ^b	4,40 ± 0,05 ^a	2,10 ± 0,34 ^c	3,90 ± 0 ^a	0,0001
Taux de cendre (%)	Yakro	4,92 ± 0,14 ^a	3,65 ± 0,17 ^b	5,65 ± 0,61 ^a	4,62 ± 0,19 ^b	0,0065
	Séguéla	5,65 ± 0,16 ^a	4,97 ± 0,13 ^b	6,21 ± 0,35 ^a	4,96 ± 0,14 ^b	0,0043
	Daloa	5,54 ± 0,17 ^b	4,17 ± 0,08 ^b	7,38 ± 0,71 ^a	5,04 ± 0,12 ^b	0,0001

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même ligne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

Tableau VI: Compositions physico-chimiques des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia* dans trois localités

Echantillons		Feuilles jeunes	Feuilles matures	Feuilles mortes	Fruits	P
Matière sèche (%)	Yakro	36,89 ± 1,95 ^b	36,47 ± 2,04 ^b	90,14 ± 0,73 ^a	29,47 ± 0,37 ^c	0,0001
	Séguéla	26,76 ± 0,56 ^c	37,22 ± 2,09 ^b	92,64 ± 0,31 ^a	21,60 ± 0,87 ^d	0,0001
	Daloa	37,60 ± 3,57 ^b	42,58 ± 2,40 ^b	91,47 ± 0,86 ^a	19,40 ± 1,20 ^c	0,0001
pH	Yakro	4,63 ± 0,03 ^a	4,47 ± 0,01 ^b	4,26 ± 0,04 ^c	4,20 ± 0 ^c	0,0001
	Séguéla	4,53 ± 0,01 ^a	4,40 ± 0 ^b	4,13 ± 0,01 ^c	3,80 ± 0 ^d	0,0001
	Daloa	4,43 ± 0,06 ^a	4,30 ± 0,02 ^a	4,30 ± 0,02 ^a	3,90 ± 0 ^c	0,0001
Fibres (%)	Yakro	21,80 ± 0,24 ^c	30,86 ± 1,03 ^b	35,47 ± 1,82 ^a	23,10 ± 0,95 ^c	0,0001
	Séguéla	23,58 ± 1,03 ^b	27,27 ± 1,64 ^b	39,01 ± 1,02 ^a	28,34 ± 0,52 ^b	0,0001
	Daloa	24,03 ± 1,50 ^c	32,48 ± 1,59 ^b	36,52 ± 0,48 ^a	20,76 ± 1,35 ^c	0,0001
Glucides (%)	Yakro	47,47 ± 1,45 ^b	35,21 ± 2,37 ^c	44,07 ± 2,33 ^b	60,70 ± 1,05 ^a	0,0001
	Séguéla	54,77 ± 1,12 ^a	45,23 ± 2,67 ^b	38,13 ± 1,30 ^c	59,93 ± 0,63 ^a	0,0001
	Daloa	63,67 ± 1,44 ^a	48,20 ± 1,37 ^c	41,83 ± 1,05 ^d	55,45 ± 1,39 ^b	0,0001
Valeur énergétique (kcal/100 g)	Yakro	237,17 ± 2,32 ^b	213,00 ± 4,69 ^c	208,02 ± 6,66 ^c	254,30 ± 3,86 ^a	0,0001
	Séguéla	242,35 ± 4,44 ^a	225,40 ± 6,22 ^a	184,56 ± 3,07 ^b	235,01 ± 1,78 ^a	0,0001
	Daloa	250,18 ± 5,73 ^b	217,68 ± 4,35 ^c	193,52 ± 3,71 ^d	295,56 ± 6,00 ^a	0,0001

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même ligne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

1.1.2. Structuration des échantillons dans les localités en fonctions des paramètres physico-chimiques

Les composantes F1 (34,47 %) et F2 (27,49 %) de l'analyse en composantes principales ont exprimé 61,96 % de la variabilité totale (Tableau VII) Le tableau VIII présente la contribution des variables et des échantillons suivant les axes de l'ACP. Les variables fibres avec 25,93 % ; matière sèche avec 21,12 % ; glucide avec 15,04 % et valeurs énergétiques avec 24,72 % ont contribué à la formation de l'axe 1. Les variables sucres totaux avec 14,48 % ; sucres réducteurs avec 14,99 % ; protéine avec 26,35 % ; taux de cendres avec 13,90 % et pH ont contribué à la formation de l'axe 2. La variable lipide avec 43,50 a contribué à la formation de l'axe 3.

La figure 11 présente la projection des variables et des observations sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Les lipides, les protéines, les localités de Séguéla/feuille mature, Daloa/feuille mature et Yakro/feuille mature sont situés dans le sens positif de l'axe 1 et 2. Les fibres, la matière sèche, le taux de cendres, les localités de Séguéla/feuille morte, Daloa/feuille morte et Yakro/feuille morte sont situés dans le sens positif de l'axe 1 et négatif de l'axe 2. Les glucides, la valeur énergétique, les localités de Séguéla/fruits, Daloa/ fruits et Yakro/ fruits sont situés dans le sens négatif de l'axe 1 et 2. Le pH, les sucres totaux, les sucres réducteurs, les localités de Séguéla/feuille jeune, Daloa/ feuille jeune et Yakro/ feuille jeune sont situés dans le sens négatif de l'axe 1 et positif de l'axe 2.

Tableau VII: Valeurs propres entre les variables

	F1	F2	F3
Valeur propre	3,45	2,75	1,39
Variabilité (%)	34,47	27,49	13,95
% cumulé	34,47	61,96	75,91

Tableau VIII: Contribution des variables physico-chimiques

	F1	F2	F3
Sucres totaux	0,3492	14,4834	13,2788
Sucres réducteurs	0,0266	14,9905	10,7047
Protéine	0,0246	26,3472	2,9028
Taux de cendres	1,5035	13,9031	21,4880
Fibres	25,9264	0,1165	0,7697
pH	5,5807	13,7145	0,0622
Matière sèche	21,1180	0,8122	0,2220
Lipides	5,7060	0,3995	43,4982
Glucide	15,0411	14,1488	0,5603
Valeurs énergétiques	24,7239	1,0843	6,5132

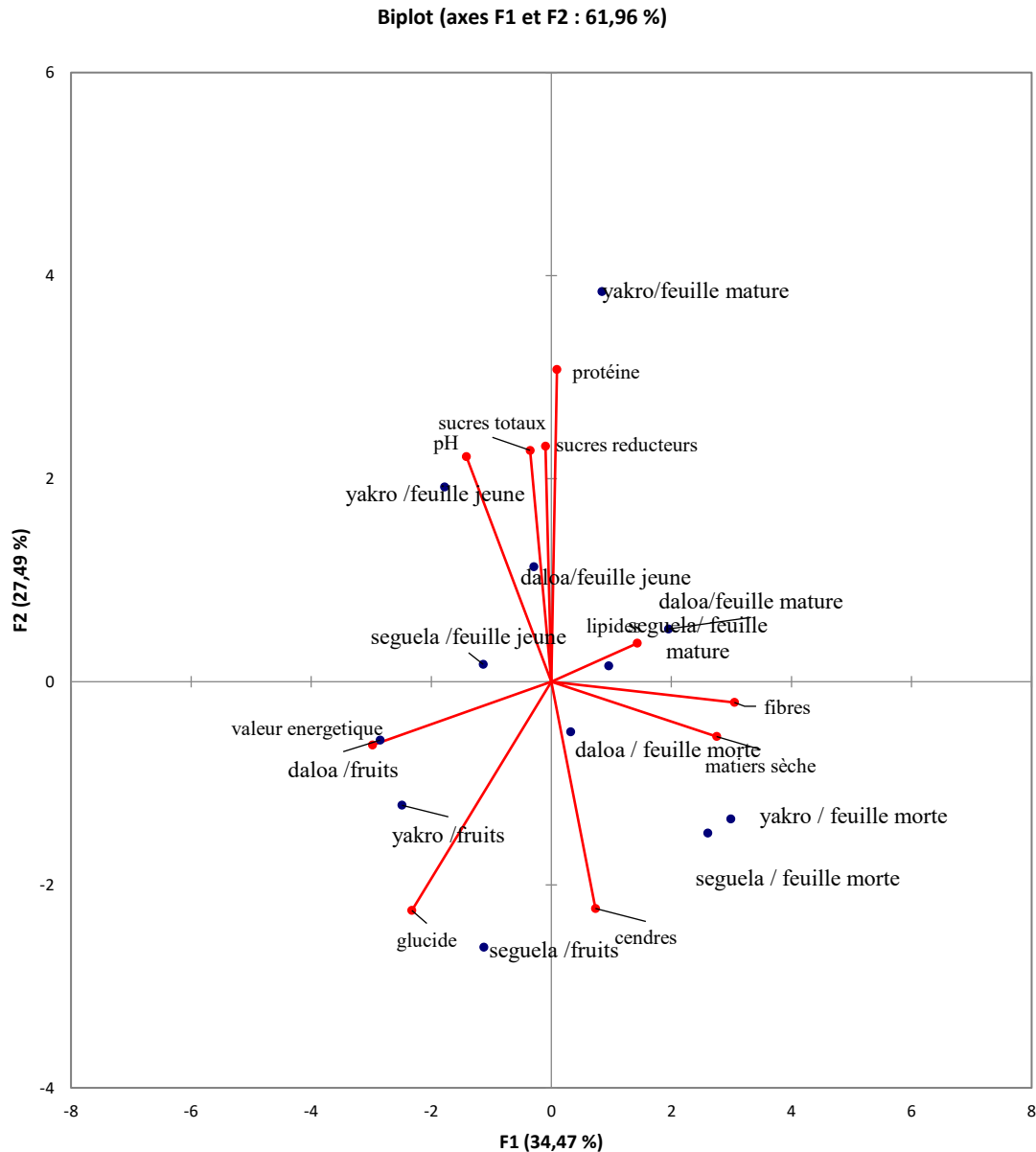


Figure 11: Projection des variables physico-chimiques et des localités dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP

1.1.3. Composition minérale des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*

Les tableaux IX et X présentent les concentrations moyennes en macro-éléments (sodium, magnésium, phosphore, potassium, calcium) et oligo-éléments (fer, cuivre, zinc) des feuilles (jeunes, matures et mortes) ainsi que des fruits d'*Alchornea cordifolia* prélevés dans les localités de Yamoussoukro, Séguéla et Daloa. L'analyse de variance appliquée aux macro et oligo-éléments a montré des différences significatives ($P \leq 0,05$) pour plusieurs minéraux tels que le potassium, calcium, sodium, phosphore et fer, selon les localités et les types.

Concernant le sodium (Na), les teneurs les plus élevées ont été enregistrées dans les fruits (960 à 1110 mg/kg) et les jeunes feuilles de Séguéla (1320 mg/kg), alors que les feuilles matures et mortes, notamment à Yamoussoukro, présentaient les valeurs les plus faibles (640 et 540 mg/kg).

En ce qui concerne le magnésium, les valeurs varient entre 160 et 570 mg/kg. Les fruits de Séguéla présentent les teneurs les plus importantes, alors que les feuilles mortes de Daloa affichent les plus faibles.

Le phosphore (P) se distingue par des teneurs globalement faibles (10–210 mg/kg). Les feuilles mortes de Yamoussoukro présentent les concentrations maximales (210 mg/kg), tandis que ce minéral est quasi absent des échantillons de Séguéla, sauf dans les feuilles mortes (20 mg/kg).

S'agissant du potassium (K), les teneurs varient de 440 à 1220 mg/kg. Les jeunes feuilles (1220 mg/kg) et les fruits (1160 mg/kg) de Séguéla affichent les valeurs les plus élevées, à l'inverse les feuilles mortes (440 mg/kg) de Yamoussoukro présentent les plus faibles. De plus, les coefficients de variation, compris entre 7,25 % et 13,59 %, traduisent une relative homogénéité.

Pour le calcium (Ca), les concentrations sont plus élevées que celles des autres minéraux, avec des concentrations comprises entre 2270 mg/kg et 3960 mg/kg. Les feuilles matures de Daloa et les feuilles mortes de Séguéla présentent les plus fortes teneurs, tandis que les feuilles mortes de Yamoussoukro affichent les plus faibles.

S'agissant des oligo-éléments, la teneur en cuivre varie entre 0,28 et 0,49 mg/kg, avec des valeurs plus élevées dans les fruits de Yamoussoukro et plus faibles dans les feuilles matures de Séguéla. Il n'existe aucune différence significative ($p \geq 0,05$) entre les valeurs.

Le zinc (Zn) montre des variations plus marquées, allant de 0,27 à 0,79 mg/kg. Les teneurs les plus élevées ont été observées dans les feuilles mortes de Séguéla, tandis que les plus faibles valeurs sont relevées dans les feuilles mortes de Yamoussoukro.

Concernant le cuivre (Cu), les variations sont plus faibles, avec des teneurs oscillants entre 0,032 mg/kg et 0,048 mg/kg.

Enfin, le fer (Fe) présente des teneurs comprises entre 0,32 et 0,48 mg/kg. Les fruits de Daloa présentent la concentration la plus forte, tandis que les feuilles matures de Séguéla affichent la plus faible.

Tableau IX: Teneurs en macro-éléments des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*

Minéraux (mg/kg)	Localités	Feuilles jeunes	Feuilles matures	Feuilles mortes	Fruits	P
Sodium	Yakro	900 ± 0 ^a	640 ± 0 ^b	540 ± 0 ^b	960 ± 0 ^a	0,0007
	Séguéla	1320 ± 0 ^a	870 ± 0,1 ^b	1280 ± 0 ^a	1110 ± 0 ^a	0,0003
	Daloa	990 ± 0 ^a	1240 ± 0 ^a	1100 ± 0 ^a	1050 ± 0 ^a	0,0251
Magnésium	Yakro	300 ± 0 ^a	340 ± 0 ^a	300 ± 0 ^a	290 ± 0 ^a	0,9720
	Séguéla	280 ± 0 ^a	440 ± 0 ^a	430 ± 0,1 ^a	570 ± 0 ^a	0,3644
	Daloa	250 ± 0 ^{ab}	240 ± 0 ^{ab}	160 ± 0 ^b	400 ± 0 ^a	0,1002
Phosphore	Yakro	100 ± 0 ^c	140 ± 0 ^b	210 ± 0 ^a	90 ± 0 ^c	0,0001
	Séguéla	ND	ND	20 ± 0 ^a	ND	0,0003
	Daloa	50 ± 0 ^a	10 ± 0 ^b	20 ± 0 ^b	60 ± 0 ^a	0,0001
Potassium	Yakro	650 ± 0 ^a	570 ± 0 ^a	440 ± 0 ^b	630 ± 0 ^a	0,0016
	Séguéla	1220 ± 0 ^a	930 ± 0 ^b	1080 ± 0 ^a	1160 ± 0 ^a	0,0001
	Daloa	800 ± 0,01 ^b	1060 ± 0,01 ^a	1000 ± 0,01 ^a	800 ± 0,01 ^b	0,0014
Calcium	Yakro	3580 ± 0 ^a	3190 ± 0 ^a	2270 ± 0 ^b	3740 ± 0 ^a	0,0001
	Séguéla	3920 ± 0 ^a	3690 ± 0 ^b	3960 ± 0 ^a	3760 ± 0 ^b	0,0001
	Daloa	3840 ± 0,01 ^b	3940 ± 0,01 ^a	3830 ± 0,01 ^b	3800 ± 0,01 ^b	0,0087

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même ligne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

Tableau X: Composés en oligo-éléments des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*

Minéraux (mg/kg)	Localités	Feuilles jeunes	Feuilles matures	Feuilles mortes	Fruits	P
Cuivre	Yakro	0.43 ± 0 ^a	0.39 ± 0 ^a	0.34 ± 0 ^a	0.49 ± 0 ^a	0.3170
	Séguéla	0.40 ± 0 ^a	0.28 ± 0 ^a	0.42 ± 0 ^a	0.36 ± 0.1 ^a	0.0699
	Daloa	0.39 ± 0 ^a	0.44 ± 0 ^a	0.39 ± 0 ^a	0.42 ± 0 ^a	0.5694
Zinc	Yakro	0.61 ± 0 ^a	0.53 ± 0 ^a	0.27 ± 0 ^b	0.61 ± 0 ^a	0.0011
	Séguéla	0.77 ± 0 ^a	0.65 ± 0 ^a	0.78 ± 0 ^a	0.75 ± 0.1 ^a	0.2051
	Daloa	0.62 ± 0 ^a	0.71 ± 0 ^a	0.79 ± 0 ^a	0.72 ± 0 ^a	0.0976
Fer	Yakro	0.48 ± 0 ^a	0.45 ± 0 ^{ab}	0.42 ± 0 ^b	0.45 ± 0 ^{ab}	0.0006
	Séguéla	0.39 ± 0 ^a	0.32 ± 0 ^b	0.40 ± 0 ^a	0.38 ± 0 ^a	0.0001
	Daloa	0.45 ± 1 ^{ab}	0.42 ± 1 ^b	0.43 ± 1 ^{ab}	0.48 ± 1 ^a	0.0662

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même ligne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

1.1.4. Relation des paramètres minérales des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*

Les composantes F1 (57,53 %) et F2 (27,79 %) de l'analyse en composante principale ont exprimé 85,32 % de la variabilité totale (Tableau XI). La contribution des variables suivant les axes de l'ACP. Les variables sodium avec 18,27 ; phosphore avec 20,36 ; potassium avec 19,29 %, calcium avec 18,19 % et zinc avec 19,91 % ont contribué à la formation de l'axe 1. Les variables fer avec 32,76 % et cuivre avec 36,90 % ont contribué à la formation de l'axe 2. La variable magnésium, quant à elle, a contribué à la formation de l'axe 3 avec 78,21% (Tableau XII).

La figure 12 présente la projection des variables et des observations sur le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP. Le fer, le phosphore, les localités de Yakro/fruits, Yakro/feuille jeune, Daloa/feuille jeune et Yakro/feuille mature sont situés dans le sens positif de l'axe 1 et 2. La localité de Yakro/feuille morte seule est située dans le sens positif de l'axe 1 et le sens négatif de l'axe 2. Le potassium, le magnésium, les localités de Séguéla/fruits, Séguéla/feuille morte et Séguéla/feuille mature sont situés dans le sens positif des deux axes et la surface foliaire se situe dans le sens négatif de l'axe 1 et 2. Le zinc, le calcium, le sodium le cuivre, les localités de Daloa/ feuille mature, Daloa/ feuille morte, Daloa/ fruits et Séguéla/ feuille jeune sont situés dans le sens négatif de l'axe 1 et le sens positif de l'axe 2.

Tableau XI: Valeurs propres entre les variables

	F1	F2	F3
Valeur propre	4,60	2,22	0,66
Variabilité (%)	57,53	27,79	8,31
% cumulé	57,53	85,32	93,63

Tableau XII: Contribution des variables des sels minéraux

	F1	F2	F3
Sodium	18,2682	3,6870	0,0755
Magnésium	0,9137	19,5918	78,2090
Phosphore	20,3634	1,2124	0,8294
Potassium	19,2945	1,5050	2,6386
Calcium	18,1937	3,3123	0,7027
Fer	2,7168	32,7624	7,2404
Cuivre	0,3368	36,8994	9,8511
Zinc	19,9129	1,0296	0,4532

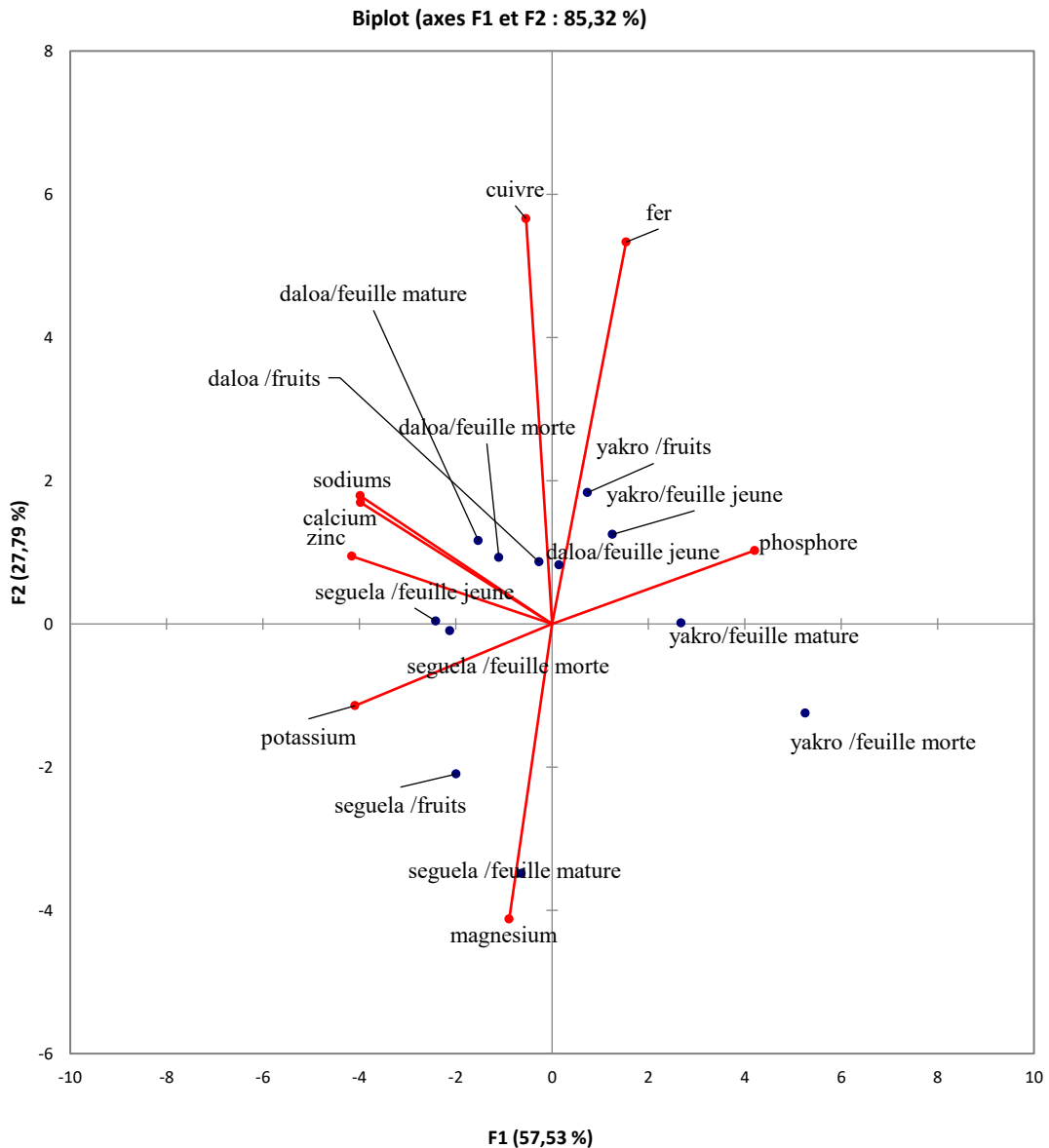


Figure 12: Projection des variables des sels minéraux et les localités dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP

1.1.5. Paramètres phytochimiques des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia* dans les trois localités

1.1.5.1. Screening phytochimique

L'étude phytochimique des différents types de feuilles, et fruits de *Alchornea cordifolia*, révèle la présence de plusieurs familles de molécules que sont : les polyphénols, les flavonoïdes les tanins, les alcaloïdes et les saponines (Tableau XIII). Les polyphénols sont plus marqués dans les différents types de feuilles et fruits de *Alchornea cordifolia* de toutes les localités. Les

flavonoïdes sont plus marqués dans les feuilles jeunes, les feuilles matures et fruits contrairement aux feuilles mortes. Pour les tanins, les résultats montrent une présence abondante dans les feuilles jeunes, matures et fruits d'*Alchornea cordifolia* dans toutes les localités et peu présent dans les feuilles mortes. Concernant les saponines, on note une faible présence dans les différents types de feuilles et fruits dans toutes les villes. Quant aux alcaloïdes leur présence est peu marquée dans les feuilles et fruits de toutes les localités.

Tableau XIII: Screening phytochimique des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*

Compositions	Localités	Feuille Jeunes	Feuilles Matures	Feuilles Mortes	Fruits
Polyphénols	Yamoussoukro	++	++	++	++
	Daloa	++	++	++	++
	Séguéla	++	++	++	++
Flavonoïdes	Yamoussoukro	++	++	+	++
	Daloa	++	++	+	++
	Séguéla	++	++	+	++
Tanins	Yamoussoukro	++	++	+	++
	Daloa	++	++	+	++
	Séguéla	++	++	+	++
Alcaloïdes	Yamoussoukro	+	+	+	+
	Daloa	+	+	+	+
	Séguéla	+	+	+	+
Saponines	Yamoussoukro	+	+	+	+
	Daloa	+	+	+	+
	Séguéla	+	+	+	+

++ plus présent ; + moins présent

1.1.5.2. Teneurs en composés phénoliques des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*

Les tableaux XIV et XV présentent les teneurs en composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes totaux, tanins totaux, tanins condensés, anthocyanes) et en β -carotène et vitamine A des différentes parties des feuilles (jeunes, matures et mortes) et des fruits d'*Alchornea cordifolia*, collectés dans les localités de Yamoussoukro, Séguéla et Daloa.

L'analyse de variance a révélé des différences hautement significatives entre les échantillons pour l'ensemble des composés analysés, avec des valeurs de $P \leq 0,05$.

Les teneurs en polyphénols totaux sont globalement plus élevées dans les feuilles jeunes et matures, en particulier à Yamoussoukro (3,12 à 3,34 mg EAG/g), comparées aux feuilles mortes (1,09 à 1,61 mg EAG/g). Les fruits ont montré des valeurs intermédiaires, avec une teneur maximale de 2,52 mg EAG/g à Daloa.

En ce qui concerne les flavonoïdes totaux, les plus fortes concentrations ont été enregistrées dans les feuilles matures, notamment à Séguéla (0,85 mg EQ/g), tandis que les fruits et les feuilles mortes présentent les niveaux les plus faibles. La moyenne la plus élevée a été notée à Séguéla (0,71 mg EQ/g).

Les tanins totaux sont plus abondants dans les feuilles jeunes et matures, avec des concentrations élevées à Yamoussoukro et Séguéla (jusqu'à 1,50 mg EAT/g). Les feuilles mortes affichent des teneurs nettement plus faibles, notamment à Yamoussoukro (0,55 mg EAT/g) et Daloa (0,57 mg EAT/g) et pour les fruits à Séguéla.

Concernant les tanins condensés, ils présentent des concentrations plus élevées dans les feuilles jeunes et les fruits, notamment à Daloa allant jusqu'à 0,99 mg EC/g, tandis que les feuilles mortes affichent des teneurs plus faibles, particulièrement à Séguéla (0,09 mg EC/g).

Quant aux anthocyanes, les teneurs les plus élevées se présentent dans les feuilles matures, avec des valeurs allant de 4,39 à 5,53 mg C3GE/g. À l'opposé, les feuilles mortes de Yamoussoukro (1,00 mg C3GE/g) et les fruits de Séguéla (0,79 mg C3GE/g) présentaient des concentrations nettement plus faibles.

En ce qui concerne le β -carotène (mg/100 g), les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans les feuilles matures, notamment à Yamoussoukro (7,10 mg/100 g). Les feuilles mortes et les fruits, en revanche, affichent des teneurs plus faibles, notamment à Daloa (0,50 à 0,54 mg/100 g).

Les feuilles matures ont les teneurs les plus élevées en vitamine A, avec un maximum observé à Yamoussoukro (1,18 mg/100 g), suivies de celles de Séguéla (0,71 mg/100 g) et de Daloa (0,66 mg/100 g). Les feuilles jeunes et les fruits ont enregistré des niveaux plus faibles, généralement inférieurs à 0,35 mg/100 g, tandis que les feuilles mortes étaient les moins riches, avec des valeurs allant de 0,08 mg/100 g (Daloa) à 0,20 mg/100 g (Yamoussoukro).

Tableau XIV: Teneurs en composés phénoliques des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*

Echantillons		Feuille jeune	Feuille mature	Feuille morte	Fruits	P
Polyphénols totaux (mg EAG/g)	Yakro	3,12 ± 0,17 ^a	3,34 ± 0,05 ^a	1,61 ± 0,10 ^c	2,32 ± 0,08 ^b	0,0001
	Séguéla	2,09 ± 0,05 ^a	2,03 ± 0,06 ^a	1,33 ± 0,07 ^b	1,11 ± 0,00 ^c	0,0001
	Daloa	2,01 ± 0,05 ^b	1,96 ± 0,07 ^b	1,09 ± 0,11 ^c	2,52 ± 0,00 ^a	0,0001
Flavonoïdes totaux (mg EQ/g)	Yakro	0,54 ± 0,03 ^b	0,69 ± 0,00 ^a	0,43 ± 0,05 ^b	0,52 ± 0,00 ^b	0,0005
	Séguéla	0,72 ± 0,02 ^{ab}	0,85 ± 0,05 ^a	0,67 ± 0,03 ^b	0,47 ± 0,00 ^c	0,0005
	Daloa	0,65 ± 0,02 ^{ab}	0,73 ± 0,03 ^a	0,48 ± 0,08 ^b	0,76 ± 0,00 ^a	0,0051
Tanin totaux (mg EAT/g)	Yakro	1,15 ± 0,07 ^a	1,33 ± 0,02 ^a	0,55 ± 0,06 ^c	0,91 ± 0,02 ^b	0,0001
	Séguéla	1,50 ± 0,04 ^a	1,49 ± 0,07 ^a	0,76 ± 0,08 ^b	0,66 ± 0,00 ^b	0,0001
	Daloa	1,41 ± 0,05 ^b	1,46 ± 0,08 ^b	0,57 ± 0,09 ^c	1,94 ± 0,00 ^a	0,0001
Tanins condensés (mg EC /g)	Yakro	0,41 ± 0,00 ^a	0,32 ± 0,01 ^b	0,17 ± 0,01 ^c	0,44 ± 0,00 ^a	0,0001
	Séguéla	0,13 ± 0,00 ^a	0,15 ± 0,02 ^a	0,09 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,00 ^a	0,0464
	Daloa	0,84 ± 0,02 ^b	0,22 ± 0,03 ^d	0,55 ± 0,02 ^c	0,98 ± 0,00 ^a	0,001
Anthocyane (mg C3GE /g)	Yakro	2,54 ± 0,45 ^b	5,05 ± 0,09 ^a	1,00 ± 0,28 ^c	2,25 ± 0,07 ^b	0,0001
	Séguéla	2,51 ± 0,46 ^b	4,39 ± 0,17 ^a	1,63 ± 0,03 ^{bc}	0,79 ± 0,04 ^c	0,0001
	Daloa	3,21 ± 0,32 ^{bc}	5,53 ± 0,16 ^a	2,59 ± 0,40 ^c	4,24 ± 0,12 ^b	0,0001

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même ligne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

Tableau XV: Teneurs en β -carotène et en vitamine A des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*

Echantillons	Localités	Feuilles jeunes	Feuilles matures	Feuilles mortes	Fruits	P
β -carotène (mg/100g)	Yakro	2,12 \pm 0,04 ^b	7,10 \pm 0,25 ^a	1,20 \pm 0,18 ^c	1,10 \pm 0,00 ^c	0,0001
	Séguéla	1,71 \pm 0,14 ^b	4,27 \pm 0,56 ^a	0,65 \pm 0,00 ^b	0,76 \pm 0,00 ^b	0,0001
	Daloa	1,47 \pm 0,09 ^b	3,99 \pm 0,88 ^a	0,50 \pm 0,03 ^b	0,54 \pm 0,00 ^b	0,0002
Vitamine A (mg/100g)	Yakro	0,35 \pm 0,00 ^b	1,18 \pm 0,04 ^a	0,20 \pm 0,03 ^c	0,18 \pm 0,00 ^c	0,0001
	Séguéla	0,28 \pm 0,02 ^b	0,71 \pm 0,09 ^a	0,10 \pm 0,00 ^b	0,12 \pm 0 ^b	0,0001
	Daloa	0,24 \pm 0,01 ^b	0,66 \pm 0,14 ^a	0,08 \pm 0,00 ^b	0,09 \pm 0,00 ^b	0,0002

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même ligne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

1.1.5.3. Relation des échantillons dans les localités en fonctions des paramètres phytochimiques

En vue de connaître les relations entre les paramètres étudiés, les coefficients de corrélations ont été établis (Tableau XVI). L'étude des relations entre les différents paramètres a mis en évidence des coefficients de corrélations variables, allant des corrélations non significatives aux corrélations hautement significatives. Sur les quatre (4) corrélations liant 2 à 2 les sept (7) paramètres impliqués, seulement deux (02) corrélations ont été significatives. Il s'agit notamment de : la corrélation entre les flavonoïdes totaux et les tanins totaux (Flavonoïdes totaux / Tanins totaux) qui a été de 0,79 : la valeur positive de la corrélation entre ces deux paramètres indique que plus la teneur des flavonoïdes totaux sera élevée, plus élevée sera aussi la teneur des tanins totaux ; la corrélation entre les β -carotène et la Vitamine A (β -carotène / Vitamine A) qui a été de 1: la valeur positive de la corrélation entre ces deux paramètres indique que plus la teneur des β -carotène sera élevé, plus élevé sera aussi la teneur de la vitamine A.

Tableau XVI: Coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres étudiés

	Polyh tot	Flavono tot	Tanins tot	Tanins cond	Anthocy	β-carot	Vitamine A
Polyh tot	1	0,38 ns	0,60 ns	0,14 ns	0,35 ns	0,58 ns	0,58 ns
Flavono tot		1	0,79 **	-0,08 ns	0,40 ns	0,42 ns	0,42 ns
Tanins tot			1	0,21 ns	0,57 ns	0,44 ns	0,45 ns
Tanins cond				1	0,12 ns	-0,17 ns	-0,17 ns
Anthocy					1	0,58 ns	0,58 ns
B-carot						1	1,00 **
Vitamine A							1

** : effet significatif ; ns : non significatif.

Polyh tot = polyphénols totaux ; Flavono tot = Flavonoïdes totaux ; Anthocy = Anthocyanes ; Tanins cond/tot : tanins condensés/ totaux ; β-carot : β-carotène

1.2. Discussion

Les résultats issus de cette étude sur les feuilles et les fruits d'*Alchornea cordifolia* révèlent une diversité significative en termes de composition phytochimique, physico-chimique et minérale selon la maturité des feuilles et la localisation géographique. Cette diversité a une incidence directe sur la qualité nutritionnelle et thérapeutique des organes étudiés.

Les analyses physico-chimiques indiquent des variations dans les concentrations en protéines, fibres, glucides, pH, sucres réducteurs et cendres, influencées par les catégories des feuilles et des fruits, ainsi que par les localités géographiques d'échantillonnages.

Les analyses des teneurs en matières sèches révèlent que les feuilles jeunes et les fruits renferment moins de matières sèches que les feuilles matures et les feuilles mortes. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Ekissi (2014) pour les feuilles jeunes et matures de *Lippia multiflora*. De plus, les teneurs en matières sèches des échantillons de cette étude sont supérieures à celles rapportées par Soro (2015) sur les feuilles de *Lippia multiflora* qui sont de 24,70 % pour les jeunes feuilles et de 27,83 % pour les feuilles matures. Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus par Solomo *et al.* (2017) sur les feuilles d'*Alchornea cordifolia* au RD Congo qui contiennent 44,34 % de matières sèches. Toutefois, les taux de matières sèches de nos travaux sont inférieurs à ceux trouvés par les travaux de Ayodélé *et al.* (2016) avec une teneur de 89,90 % dans les feuilles de *Alchornea cordifolia*. Les variations de la teneur en matières sèches peuvent être attribuées au stade de développement, à la période de récolte et au lieu de récolte des feuilles (Oboh, 2005 ; Silué, 2009). Les valeurs élevées de matières sèches obtenues permettent, selon Erukainure *et al.* (2011), un stockage à long terme. Selon George,

(2003), la teneur en humidité contribue significativement à la texture des feuilles et favorise le maintien du contenu protoplasmique des cellules. Les feuilles mortes avec une teneur élevée en matières sèches peuvent également indiquer un stade avancé de sénescence (vieillesse) de la plante. À ce stade, la plante met en place un mécanisme de remobilisation des nutriments, notamment l'azote et d'autres éléments minéraux, depuis les feuilles âgées vers les organes en croissance ou de réserve, avant leur abscission. Ce phénomène entraîne une diminution des constituants solubles et une proportion relative plus importante de matières sèches structurale (Lim *et al.*, 2007 ; Zhou & Yang, 2023).

Les teneurs protéiques des différentes feuilles analysées varient de 6,00 % à 28 %. Ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par Soro (2015) pour les feuilles jeunes (10 %) et matures (13 %), de même que celles de Ekissi (2014) pour différents types de feuilles de *Lippia multiflora* (entre 9,01 % et 12,76 %). Elles sont par contre identiques à celles obtenues par Oulaï *et al.* (2019) pour les feuilles matures de baobab, avec une moyenne de 18,70 %. Par conséquent, les feuilles d'*Alchornea cordifolia* constituent une source importante de protéines. De plus, la teneur en protéines des fruits est inférieure à celle des feuilles étudiées ; selon Rydlewski *et al.* (2017) , les fruits en général ne représentent pas des sources potentielles de protéines. La diminution progressive de la teneur en protéines des feuilles jeunes aux feuilles mortes indique les changements physiologiques et biochimiques au cours du cycle de vie des feuilles (Dellero *et al.*, 2021). Les variations dans la teneur en protéines peuvent également indiquer des adaptations spécifiques des plantes aux conditions locales, optimisant leur croissance et leur survie en fonction des ressources disponibles (Chapin *et al.*, 1990 ; Wright *et al.*, 2004).

La teneur en cendres, qui constitue un indice des minéraux présents dans les organismes vivants, varie de 3,65 % à 7,38 % dans les échantillons prélevés sur les trois sites. Ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par Edeoga *et al.* (2009) pour les feuilles d'*Ocimum gratissimum* (6,88 %). Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues par Ekissi (2014) sur des plantes sauvages de *Lippia multiflora* (de 9,37 % à 17,31 %). Selon Onot *et al.* (2007), une teneur accrue en cendres est corrélée à la présence d'un réseau élevé d'éléments minéraux. En revanche, les feuilles mortes présentent une teneur moyenne en cendres de 6,41 %, démontrant ainsi la richesse en minéraux. Les feuilles présentent une forte charge minérale, confirmée par le taux de cendre élevé.

Les concentrations en sucres réducteurs des feuilles d'*Alchornea cordifolia* varient de 1,2 % à 4,4 %, sont quasiment identiques à celles rapportées par Ekissi (2014) pour différentes catégories de feuilles de *Lippia multiflora* variant de 1,99 % à 4,04 %. En effet, le faible niveau

de sucres réducteurs observé au niveau des feuilles peut être attribué au transfert et au stockage des molécules synthétisées durant les processus photosynthétiques vers les organes de réserve, tels que les grains et les racines tubérisées (Konan *et al.*, 2010).

Dans notre étude, la teneur en sucres totaux des feuilles de différents stades de maturation et des fruits d'*Alchornea cordifolia* variant de 3,9 à 8,4 % est inférieure à celle obtenue par Solomo *et al.* (2017) (30,83 % \pm 8,64) sur la même espèce en RD Congo. Les variations de teneur observées au sein de la même espèce pourraient être attribuées aux différences d'origine géographique. Ces différences géographiques reflètent probablement l'influence de divers facteurs environnementaux, en particulier les conditions climatiques.

Les résultats indiquent que les feuilles mortes présentent des teneurs en fibres plus élevées dans les trois différentes localités (35,48 %, 36,52 % et 39,01 %). Ces concentrations en fibres sont identiques à celles rapportées par Oulaï *et al.* (2019) pour les feuilles matures de baobab (22,98 % à 33,90 %). Les fibres n'étant ni digérées, ni adsorbées par le système digestif, elles revêtent d'une importance capitale pour l'organisme car elles interviennent dans le tractus digestif, prévenant ainsi l'absorption excessive de cholestérol et contribuant à la régulation de la glycémie (Mensah *et al.*, 2008; Dhingra *et al.*, 2012). Aussi, cette teneur élevée en fibres brutes suggère que les feuilles d'*Alchornea cordifolia* pourraient constituer un complément alimentaire bénéfique pour les personnes souffrant d'obésité, d'hypertension artérielle et de troubles glycémiques.

Les teneurs en lipides dans les différents types de feuilles varient de 0,8 % à 2,46 %. Ces résultats sont inférieurs à ceux rapportés par Oulai *et al.* (2019) dans les feuilles de baobab avec des teneurs respectives de 6,66 %, et de 4 %. Ces résultats sont aussi inférieures à ceux de Solomo *et al.* (2017) obtenus au Congo dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia* qui sont de 6,8 %. Cette différence pourrait s'expliquer par les facteurs environnementaux observés au sein des deux localités d'études qui agissent sur la composition du sol notamment sur sa teneur en nutriments (Dijkstra *et al.*, 2010). Les feuilles d'*Alchornea cordifolia* analysées dans cette étude sont relativement pauvres en lipides, ce qui confirme les conclusions de Anihouvi (2012) au Bénin qui ont démontré une faible teneur en lipides des feuilles de manière générale.

Les teneurs en glucides obtenues dans les fruits et les feuilles à différents stades de croissance, analysés dans cette étude révèlent que l'*Alchornea cordifolia* est une plante riche en glucides. En effet, ces teneurs sont voisines de celles obtenues par Oulai *et al.* (2019) lors de l'étude des feuilles de baobab récoltées à Abidjan (64,10 % \pm 0,05), Bouaké (72,86 % \pm 0,01), Boundiali (73,53 % \pm 0,05) et Man (69,29 % \pm 0,11). Mais, les teneurs obtenues sont supérieures à celles obtenues par Dappah *et al.* (2019) en étudiant la composition des feuilles

de *Corchorus olitoris* communément appelé « Pklara en Côte d'Ivoire » qui contiennent 26,03 % de glucides. Ainsi, l'incorporation des feuilles et des fruits d'*Alchornea cordifolia* dans le régime alimentaire est une source adéquate de glucides non amylacés car ils contiennent autant de glucides que les feuilles de baobab dont la consommation couvre la dose journalière recommandée (DJR) en nutriments (Chadare *et al.*, 2009).

Les valeurs énergétiques associées aux feuilles d'*Alchornea cordifolia* récoltées à différents stades de maturité et analysées varient de 184,57 à 242,35kcal. Ces valeurs sont similaires à celles obtenues par Solomo *et al.* (2017) en étudiant les feuilles de la même espèce. Par ailleurs, les valeurs énergétiques des feuilles obtenues dans le cadre de notre étude sont inférieures à celles obtenues par Oulai *et al.* (2019) sur les feuilles de baobab. En effet, pour Nga *et al.* (2017), Cette différence énergétique pourrait s'expliquer par la divergence taxonomique entre ces plantes, la classification taxonomique ayant déjà été identifiée comme un déterminant majeur de la variation des teneurs nutritionnelles des plantes (Henry *et al.*, 2019 ; Oliveras *et al.*, 2020). De même, la valeur énergétique des fruits d'*Alchornea cordifolia* étudiés est supérieure à celle de certains fruits fréquemment consommés comme l'avocat (155 kcal/100g), la mangue (64,4 kcal/100g, la goyave (68 kcal/100g) et l'orange (47 kcal/100g) selon Stadlmayr *et al.* (2013) et CIQUAL (2017). Les fruits d'*Alchornea cordifolia* pourrait donc contribuer aux apports énergétiques afin de combler les besoins énergétiques recommandés par jour dans les pays en voie de développement qui varient de 950 kcal pour les enfants de moins de 12 mois à 2710 kcal pour les femmes allaitantes (CILSS, 2004).

Le pH des feuilles est acide, quelle que soit la localité avec des valeurs qui oscillent entre $4,13 \pm 0,05$ et $4,63 \pm 0,10$ pour les différents stades de feuilles analysées. Ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par Koffi *et al.* (2021) pour les feuilles de *Alchornea cordifolia* ($3,90 \pm 0,05$), mais inférieures à celles trouvées dans les racines et les tiges de cette même plante ($5,33 \pm 0,03$; $5,01 \pm 0,03$). Cette variation de pH entre les fruits et les différents types de feuilles pourrait s'expliquer par des conditions climatiques non identiques et la composition en minéraux des feuilles (Koffi *et al.*, 2021). Le pH légèrement acide des infusions contribue à leur stabilité et à leur acceptabilité.

L'analyse minérale des feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia* a montré une richesse notable en calcium, potassium et sodium, suivis du magnésium, du phosphore et des oligo-éléments (fer, zinc et cuivre). Ces résultats concordent avec certains travaux, qui rapporte que les plantes médicinales tropicales sont généralement de bonnes sources de calcium et de potassium, deux minéraux essentiels dans la régulation physiologique et la nutrition humaine (White & Broadley, 2003).

Le calcium s'est révélé être le minéral le plus abondant dans nos échantillons, avec des teneurs variant de 2270 à 3960 mg/kg. Ce constat est en accord avec les travaux de Kitadi *et al.* (2020), qui ont également identifié le calcium comme l'élément minéral prédominant dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia*. Néanmoins, les concentrations rapportées par ces auteurs ($9441,10 \pm 473,18$ mg/kg) sont nettement supérieures à celles obtenues dans la présente étude. Cette divergence pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les différences liées aux conditions édaphiques et climatiques des localités de collecte, au stade physiologique des feuilles au moment de la récolte, ainsi qu'aux méthodes analytiques utilisées (Zhang *et al.*, 2021). Le rôle majeur du calcium dans la rigidité des parois cellulaires et la signalisation intracellulaire expliquerait cette forte accumulation, surtout dans les feuilles matures et mortes où ce minéral tend à s'accumuler (White & Broadley, 2003). Il est indispensable pour le bon fonctionnement du cœur, la coagulation sanguine et la régulation de la perméabilité cellulaire (Genova *et al.*, 2020). Le calcium contribue à combattre l'ostéoporose grâce à son action anticarcinogène, ce qui lui permet de diminuer le danger du cancer colorectal (Flood *et al.*, 2005). Au sein du corps, 99% du calcium est localisé dans le squelette. Il est essentiel pour une croissance optimale et le maintien des muscles et des dents (Turan *et al.*, 2003). Par conséquent, compte tenu de la forte concentration en calcium présente dans les feuilles et fruits d'*Alchornea cordifolia*, son incorporation dans l'alimentation des enfants pourrait être bénéfique à leur croissance.

Pour le potassium, les teneurs mesurées (440-1220 mg/kg) sont inférieures à celles rapportées par Kitadi *et al.* (2020) (9262,06 mg/kg), mais supérieures à celles obtenues par Osuocha *et al.* (2018) (23,2 mg/kg) dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia*. Ces écarts pourraient s'expliquer par des différences édaphiques entre les sites de prélèvement, c'est-à-dire les caractéristiques propres aux sols (composition minérale, pH, texture, salinité, teneur en matière organique), qui influencent directement la capacité d'absorption des nutriments par la plante. Bien qu'inférieures à celles du calcium, ces valeurs confirment que le potassium constitue un macroélément essentiel de la plante, impliqué dans la régulation osmotique et la photosynthèse et est associé à la régulation de la pression artérielle (Marschner, 2012).

Concernant le sodium, des concentrations relativement élevées ont été observées, en particulier dans les jeunes feuilles de Séguéla (1320 mg/kg) et dans les fruits (960-1110 mg/kg). Ces valeurs dépassent largement celles rapportées par Koffi *et al.* (2021) en Côte d'Ivoire ($17,72 \pm 0,02$ mg/kg) dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia*. De telles variations pourraient être attribuées à une plus forte salinité des sols ou à des conditions agroécologiques spécifiques aux localités étudiées. Ces résultats suggèrent que les jeunes tissus et les organes de réserve

constituent des sites privilégiés d'accumulation du sodium, probablement en raison de leur implication dans la régulation osmotique et l'activation métabolique (Fageria *et al.*, 2009). Sur le plan nutritionnel, le sodium joue un rôle essentiel dans la transmission des potentiels d'action nerveux et musculaires (Tortora & Derrickson, 2017). Toutefois, l'OMS (2012) recommande une consommation quotidienne maximale de 2 g de sodium (soit environ 5 g de sel) pour les adultes de plus de 16 ans.

En ce qui concerne le magnésium, nos résultats (160-570 mg/kg) sont inférieurs à ceux obtenus par Ekissi *et al.* (2017) dans les feuilles du théier du savane (6001,83- 6593,53 mg/kg). Ils sont supérieurs à ceux obtenus par Philip & Owen (2014) dans les feuilles (22 mg/kg) d'*Alchornea cordifolia*. La différence de teneurs obtenues à partir de ces plantes pourrait être due aux méthodes utilisées et aux facteurs écologiques (Kitadi *et al.*, 2020). La variation de la concentration en magnésium observée entre les différentes parties de la plante peut être attribuée au rôle fondamental de ce minéral dans la structure de la chlorophylle et, par conséquent, dans le processus de photosynthèse (Marschner, 2012). Les jeunes feuilles, principaux sites de photosynthèse, présentent ainsi des besoins élevés en magnésium pour soutenir leur activité métabolique. Néanmoins, les fruits en pleine croissance mobilisent également une quantité importante de magnésium afin de répondre à leurs besoins énergétiques et soutenir le développement des tissus reproducteurs (Clautilde *et al.*, 2020 ; Mao *et al.*, 2022). Cette répartition différenciée du magnésium reflète l'adaptation physiologique de la plante à ses fonctions spécifiques selon les organes. Le magnésium joue également un rôle essentiel dans le métabolisme énergétique. De cette manière, les fruits, en tant qu'organe de stockage et de dispersion des graines, ont la capacité d'accumuler des réserves de magnésium nécessaires au développement de l'embryon (Xie *et al.*, 2021). De plus, le magnésium joue un rôle crucial dans la stabilisation de la membrane lipidique, la réplication et les processus métaboliques et agit comme cofacteur de l'enzyme dans la neurotransmission chimique (Payandeh *et al.*, 2013). Selon L'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES), la prise régulière des différentes parties d'une plante notamment les feuilles et les fruits contribuent à combler l'apport quotidien en magnésium recommandé qui est de 80 à 410 mg/j pour les enfants et 420 à 460 mg/j pour les adultes. Ainsi, consommés de façon régulière les feuilles et les fruits d'*Alchornea cordifolia* riches en magnésium, pourrait concourir à combler l'apport quotidien recommandé en magnésium.

Les teneurs en phosphore (10–210 mg/kg) observées dans ce travail sont nettement inférieures à celles rapportées par Kitadi *et al.* (2020) (1258,37 mg/kg) dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia* au Congo. Cette variabilité pourrait être attribuée aux différences de

sols. La disponibilité en phosphore est fortement conditionnée par la composition chimique et les phénomènes de fixation minérale caractéristiques des sols tropicaux (Hawkesford *et al.*, 2012). Sur le plan physiologique, le phosphore joue un rôle majeur dans les réactions de phosphorylation impliquées dans la production d'énergie (Isidra-Arellano *et al.*, 2021).

Concernant les oligo-éléments, le fer (0,32-0,48 mg/kg) apparaît relativement faible en comparaison des 192,5 mg/kg rapportés par Philip & Owen (2014). Cette différence pourrait résulter des méthodes analytiques employées (infusion versus poudre brute) ainsi que des variations écologiques entre sites. Le fer joue le rôle de transport d'oxygène. Néanmoins, la teneur obtenue confirme que la plante peut contribuer, bien que modestement, aux apports nutritionnels en fer.

Le zinc (0,27-0,79 mg/kg) reste inférieur aux données de Osuocha *et al.* (2018) (9 mg/kg), mais se situe dans la plage rapportée par la FAO/WHO (2001) pour les légumes-feuilles (0,5–1,0 mg/kg). Ce micronutriment, essentiel en tant que cofacteur enzymatique impliqué dans la croissance et l'immunité, représente un élément d'intérêt nutritionnel dans *Alchornea cordifolia*. La variation observée entre les jeunes feuilles et les feuilles mortes pourrait refléter une redistribution physiologique du zinc au cours du vieillissement foliaire, suggérant une accumulation ou rétention accrue de ce minéral durant la sénescence (Broadley *et al.*, 2007 ; Ma *et al.*, 2023).

De même, le cuivre (0,28–0,49 mg/kg) demeure inférieur aux valeurs rapportées par Kitadi *et al.* (2020) (11,06 mg/kg). Cette variabilité peut être expliquée par les caractéristiques édaphiques, la disponibilité en cuivre fortement influencée par le pH, la matière organique et les pratiques culturales (Kabata-Pendias, 2000). Sur le plan fonctionnel, le cuivre intervient comme cofacteur enzymatique clé, notamment dans les processus de photosynthèse et de respiration (Marschner, 2012).

Selon Hagerman *et al.* (1998), les polyphénols sont une catégorie de métabolites secondaires communs dans le règne végétal. Dans les localités de Daloa, Yamoussoukro et Séguéla, le screening phytochimique a révélé la présence de polyphénols, de flavonoïdes, de tanins, d'alcaloïdes et de saponines dans les feuilles et les fruits d'*Alchornea cordifolia*. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Isidore *et al.* (2018) dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia*. La présence de phytonutriments dans les feuilles et les fruits confirme l'usage traditionnel de cette plante en tant que plante thérapeutique. Ces conclusions sont en accord avec celles de Tona *et al.* (2000) et Kasali (2015), qui ont repéré les mêmes composés dans les extraits de feuilles d'*Alchornea cordifolia*. Mais, différents de ceux de Georges *et al.* (2010) qui

ont trouvé tous les éléments à l'exception des alcaloïdes dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia*. Cette différence pourrait s'expliquer par la méthode utilisée ou par le solvant d'extraction. Les saponines sont connues d'une part, pour leurs propriétés anti-hyperlipidémies, hypotenseurs et cardiodépresseurs. Et d'autre part, pour leur capacité à inhiber l'absorption intestinale du cholestérol, entraînant une diminution du taux de cholestérol dans le sang (Ogboru *et al.*, 2015). Quant aux alcaloïdes, en plus de leur action antimicrobienne, ils jouent également un rôle dans la détoxification et la diminution de la pression artérielle, comme le signalent Awoyinka *et al.* (2007).

Parmi les phytonutriments présents dans les feuilles et les fruits d'*Alchornea cordifolia*, les polyphénols totaux, les flavonoïdes totaux, les tanins totaux, les tanins condensés et les anthocyanes ont été également quantifiés. Les résultats de l'étude ont révélé de façon générale que les feuilles matures contiennent plus de composés phénoliques par rapport aux feuilles jeunes, aux feuilles mortes et aux fruits, avec une teneur comprise entre 1,33 et 3,34 mg EAG/g. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux obtenus par Diomandé *et al.* (2018) pendant les travaux sur l'extrait aqueux des feuilles d'*Albortisia cordifolia* ($0,0164 \pm 0,16$ mg EAG/g) et similaires à ceux de Dieng *et al.* (2017) qui ont obtenu $3,12 \pm 0,08$ mg EAT/g d'extrait sec pour les feuilles mûres de *Piliostigma thonningii* acclimaté au Sénégal. De plus, la teneur en polyphénols totaux des feuilles jeunes est 61,11 fois inférieure à celle obtenue par Kouamé *et al.* (2021) qui ont obtenu $146,67 \pm 4,24$ mg EAG/g d'extrait sec dans les jeunes feuilles non ouvertes de *Piliostigma thonningii* en Côte d'Ivoire. De manière générale, la teneur en polyphénols totaux des catégories de feuilles et de fruits dans notre étude est supérieure à celle des feuilles d'*Alchornea cordifolia* ($0,035 \pm 0,001$ mg EAG) dans l'extrait aqueux et dans l'extrait méthanolique ($0,055 \pm 0,002$ mg EAG/g) obtenu par Effo (2018). La différence de la teneur en polyphénol dans les fruits et les feuilles à différents stades de maturation pourrait s'expliquer par les variations de croissance qui peut être lié aux conditions climatiques et environnementales (sécheresse, température chaude, exposition solaire intense, salinité), qui favorisent la production de métabolites secondaires (Lengbiye *et al.*, 2019). Par ailleurs, les polyphénols jouent un rôle dans l'activité antioxydante des végétaux, des fruits, des céréales et de produits à base de plantes (Tachakittirungrod *et al.*, 2007). Ainsi, nous pourrions déduire que les feuilles matures et jeunes d'*Alchornea cordifolia* plus riche en polyphénols totaux, sont plus conseillées pour des usages thérapeutiques confirmant leur fort potentiel antioxydant (Rubió *et al.*, 2013).

La teneur en flavonoïdes totaux des catégories de feuilles et de fruits est supérieure à celles des feuilles de *Alchornea cordifolia*, $0,048 \pm 0,001$ mg EQ dans l'extrait aqueux et dans

l'extrait méthanolique $0,054 \pm 0,002$ mg EQ/g obtenue par Effo (2018). Les teneurs en flavonoïdes des feuilles jeunes (0,54 à 0,72 mg EQ/g d'extrait sec) sont largement inférieures à celles de Kouamé *et al.* (2021) dans les feuilles non ouvertes de *Piliostigma thonningii* ($68,33 \pm 0,94$ mg EQ/g d'extrait sec) en Côte d'Ivoire. Les teneurs en flavonoïdes dans les feuilles (0,43 à 0,85 mg EQ/g d'extrait sec) sont inférieures à celles de Sombie *et al.* (2018) dans les feuilles matures de *Piliostigma thonningii* ($2,17 \pm 0,13$ mg EQ/g d'extrait sec) obtenu au Burkina Faso. Les résultats des teneurs en flavonoïdes dans les fractions montrent qu'elles dépendent de la maturité des feuilles et de leurs stades d'évolution (feuilles jeunes ou matures), mais également de la polarité des solvants utilisés comme rapportés par Hamia *et al.* (2014). La concentration moyenne des flavonoïdes élevée dans les feuilles matures serait justifiée par le fait que les plantes synthétisent des flavonoïdes par rayonnement solaire pour se protéger de l'oxydation ; plus l'exposition au soleil augmente, plus les teneurs en flavonoïdes augmentent, en particulier dans les parties les plus exposées (N'gaman, 2013). Les feuilles mortes, en revanche, présentent une baisse notable des concentrations en flavonoïdes. Cela s'explique par leur dégradation au cours du vieillissement cellulaire, et la perte progressive de l'activité enzymatique responsable de leur synthèse (Lim *et al.*, 2007). Ces flavonoïdes pourraient être donc majoritairement sous une forme de génines libres (Muyonga, 2014). En plus de leurs propriétés antioxydantes, les flavonoïdes sont également connus pour leurs propriétés anti-inflammatoires et diurétiques selon Becker *et al.* (2005). D'après Bruneton (2016), ils représentent une importante source de composés bioactifs dans l'alimentation humaine.

La teneur en tanins condensés des feuilles jeunes est largement inférieure à celle de l'extrait hydroalcoolique des jeunes feuilles non encore ouvertes de *Piliostigma thonningii* ($38,33 \pm 0,47$ mg EAT/g d'extrait sec) selon Kouamé *et al.* (2021). Les teneurs des feuilles matures sont aussi inférieures à celles des feuilles mûres de *Piliostigma thonningii* acclimaté du Burkina Faso ($12,62 \pm 0,02$ mg EAT/g d'extrait sec) obtenues par Sombie *et al.* (2018). Ces résultats montrent que les tanins seraient concentrés dans les jeunes feuilles matures. Selon Ksouri *et al.* (2007), les tanins ont des propriétés antidiarrhéiques qu'ils confèrent aux plantes les possédant. Ces plantes ont donc la capacité d'inhiber les activités des enzymes digestives par formation des complexes insolubles avec les protéines, ce qui diminue leur digestibilité et les rend inaccessibles à l'organisme (Lola, 2009 ; Gogoi *et al.*, 2014). Enfin la cicatrisation des blessures est également favorisée par les tanins, ce qui explique leur utilisation dans le traitement post-partum des femmes (Yao, 2013).

La teneur en anthocyanes la plus faible est enregistrée dans les feuilles mortes (1 mg C3GE/g) et la plus forte dans les feuilles matures (5,53 mg C3GE/g). Ces résultats sont

supérieurs à ceux obtenus par Kabran *et al.* (2012) qui sont de 0,491 mg/g dans les feuilles de *Mallotus oppositifolius* en Côte d'Ivoire et de Janat Akhanovna (2011) dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia* (0,03mg/g). La différence entre les teneurs de différentes espèces de plante et les différents stades des feuilles pourrait s'expliquer par les conditions environnementales et physiologiques de la plante. En effet, l'âge de la feuille, la température et l'intensité de la lumière jouent un rôle crucial dans la biosynthèse des anthocyanes (Janat Akhanovna, 2011). Leur forte teneur dans les feuilles matures traduit une activité protectrice contre le stress lumineux et oxydatif (Prior & Wu, 2006). Les anthocyanes sont des pigments colorants vitaux évidents, présents dans tous les tissus végétaux à travers le règne végétal (Kong *et al.*, 2003). Ces pigments sont très répandus dans la nature et sont à l'origine des couleurs dans les différents organes de la plante tels que la tige, la feuille, la fleur, le fruit, la racine et les tubercules (orange, rouge, violet et bleu) (Holton & Cornish, 1995 ; Grotewold, 2006). En outre, les anthocyanes ont également une importance diététique pour la santé humaine, Lo *et al.* (2005) ont rapporté des résultats encourageants dans le traitement de différents syndromes tels que le cancer et d'autres maladies cardiaques (Cao *et al.*, 2001).

Le dosage des tanins totaux dans les feuilles (feuilles jeunes, matures et mortes) et fruits d'*Alchornea cordifolia* montre que ces parties de la plante contiennent respectivement des teneurs comprises entre 0,55 et 1,50 mg EC/g ; 0,66 et 1,94 mg EC/g. Le résultat du taux de tanins totaux dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia* est à la fois inférieur à celui qu'a obtenu Diomande *et al.* (2018) lors du dosage des tanins totaux de l'extrait aqueux (0,00469 mg EC/g), de l'extrait d'acétate d'éthyle (0,7254 mg EC/g) et de l'extrait éthanolique (0,99 mg EC/g) des feuilles d'*Albortisia cordifolia*. Les différences observées au sein des résultats seraient dû à la diversité des solvants d'extraction. En effet, la concentration des tanins totaux dans les extraits de plante dépend de la polarité et de leur affinité avec le solvant d'extraction comme démontré par Diomandé *et al.* (2018) . De plus, les tanins procurant un goût très amer et une astringence aux feuilles et fruits et sont impliqués dans la défense contre les herbivores et ont des propriétés antimicrobiennes (Hagerman, 1998). Les tanins pourraient être à la base des activités anti diarrhéiques et antiseptiques du fait de leur capacité à se lier et faire précipiter des protéines solubles dans l'eau (Becker *et al.*, 2005). D'où la justification de l'utilisation des fruits d'*Alchornea cordifolia* en raison de leur teneur élevée en tanins.

Les teneurs en vitamine A mesurées oscillent entre 0,09 et 1,18 mg/100g. Ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par Akpabio & Ikpe (2013) pour les feuilles fraîches d'*Aneilema aequinoctiale* au Nigéria ($0,32 \pm 0,02$ mg/100 g), mais inférieures à celles de Osuocha *et al.* (2018) dans les feuilles d'*Alchornea cordifolia* ($2,27 \pm 0,09$ mg/100g) ; ce qui

pourrait s'expliquer par des différences pédoclimatiques, la variété locale ou les méthodes analytiques. Les écarts entre localités observés dans la présente étude pourraient être attribués à la variabilité de l'ensoleillement et à la composition minérale du sol, connus pour influencer la biosynthèse des caroténoïdes (Saini & Keum, 2018).

La faible teneur de la vitamine A observée dans les fruits (0,09 à 0,18 mg/100 g) confirme les observations d'Osuocha *et al.* (2018), qui rapportent que les feuilles constituent la principale source de micronutriments dans cette espèce, tandis que les fruits sont davantage riches en sucres et acides organiques, avec une fraction pigmentaire réduite.

D'un point de vue nutritionnel, les feuilles matures d'*Alchornea cordifolia* présentent un intérêt particulier pour contribuer aux apports en vitamine A, notamment dans les localités d'Afrique de l'Ouest où les carences restent préoccupantes (FAO/WHO, 2020). Cependant, les variations importantes liées à la localité et au stade physiologique de la feuille soulignent l'importance de privilégier la récolte au stade mature et dans des conditions agroécologiques optimales. La vitamine A est nécessaire à l'homme pour la croissance normale des cellules du corps, de la peau et pour une vision correcte (Akpabio & Ikpe, 2013).

1.3. Conclusion partielle

La présente étude a permis d'évaluer la composition chimique, nutritionnelle et phytochimique des feuilles (jeunes, matures, mortes) et des fruits d'*Alchornea cordifolia* collectés dans trois localités de la Côte d'Ivoire (Yamoussoukro, Séguéla et Daloa). Les résultats obtenus mettent en évidence une richesse notable en composés bioactifs et nutriments essentiels, avec des variations significatives en fonction de la maturité des organes végétaux et de leur origine géographique, qui traduisent l'influence des facteurs environnementaux.

Les analyses physico-chimiques révèlent une prédominance des glucides, et valeurs énergétiques dans les fruits, tandis que les feuilles, en particulier les matures et jeunes, offrent des teneurs intéressantes en protéines et fibres, indiquant leur potentiel dans les régimes équilibrés. Toutefois, les feuilles mortes se caractérisent par une forte matière sèche, un taux de cendres et de fibres élevé, traduisant une bonne aptitude à la conservation. Malgré leur usage répandu par les populations locales, présentent des niveaux plus faibles en éléments nutritifs et composés antioxydants, ce qui remet en question leur efficacité nutritionnelle.

L'étude minérale a quant à elle confirmé une richesse en calcium, fer, potassium et zinc dans les feuilles jeunes et matures, notamment dans les échantillons de Séguéla et Daloa. Ces éléments sont essentiels au maintien de diverses fonctions physiologiques, notamment la

formation osseuse, l'immunité et la lutte contre l'anémie. Le profil minéral se caractérise par une prédominance du calcium, suivi du potassium et du sodium, tandis que le phosphore, le magnésium et les oligo-éléments sont présents à des niveaux plus modestes.

Sur le plan phytochimique, les feuilles jeunes et matures se distinguent par leur forte teneur en polyphénols, flavonoïdes et tanins, témoignant d'un fort potentiel antioxydant. Ces composés sont bien connus pour leur rôle dans la prévention du stress oxydatif, des maladies cardiovasculaires et de certaines affections métaboliques.

Cette étude démontre que les feuilles jeunes et surtout matures d'*Alchornea cordifolia* représentent les parties les plus intéressantes d'un point de vue nutritionnel et fonctionnel. Leur valorisation dans la transformation de tisanes et thés, compléments alimentaires ou produits nutraceutiques pourrait contribuer à améliorer l'état nutritionnel des populations, notamment dans les localités rurales où cette plante est abondante. Une sensibilisation des communautés à l'intérêt des feuilles jeunes et matures, actuellement sous-exploitées, s'avère ainsi nécessaire pour maximiser les bénéfices de cette plante aux multiples vertus. Il est intéressant de noter que les feuilles mortes, bien qu'étant les plus utilisées par les populations locales, ont des profils nutritionnels et phytochimiques globalement moins favorables. Leur usage est probablement dû à leur accessibilité, leur facilité de conservation, et à des savoirs traditionnels établis, mais leur composition pourrait ne pas répondre de manière optimale aux besoins nutritionnels et fonctionnels.

Des perspectives futures pourraient inclure l'évaluation de l'activité antioxydante, biochimique, sensoriel, et la mise au point de produits (thé vert et tisane) standards à base des feuilles d'*Alchornea cordifolia*, en vue d'une utilisation industrielle ou pharmaceutique.

Chapitres 2 : Détermination de la composition biochimique, l'acceptabilité et le profil des infusions du thé vert et des tisanes issus des feuilles d'*Alchornea cordifolia*

2.1. Résultats

2.1.1. Compositions physico-chimiques des thés verts et tisanes

Les tableaux XVII et XVIII présentent les valeurs moyennes du pH, des sucres totaux, des sucres réducteurs, des protéines, des lipides, du taux d'humidité et de cendre du thé vert et de la tisane issus des feuilles d'*Alchornea cordifolia* dans les localités de Daloa, Yamoussoukro et Séguéla.

L'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les échantillons pour le pH du thé vert et de la tisane. Les valeurs moyennes de pH étaient relativement proches, oscillant entre 4,06 et 4,62. La localité de Yamoussoukro a montré les pH les plus élevés, aussi bien pour le thé vert (4,22) que pour la tisane (4,62), tandis que le pH le plus bas a été enregistré à Daloa (4,06) pour le thé vert.

En ce qui concerne les sucres totaux, l'analyse de variance a montré des différences hautement significatives ($P \leq 0,05$) entre les différentes localités pour le thé vert et la tisane. Les teneurs en sucres totaux variaient de 0,22 à 0,47 %. La plus forte concentration en sucres totaux a été observée à Yamoussoukro pour la tisane (0,47 %), suivie du thé vert (0,40 %), tandis que les plus faibles valeurs ont été observées à Séguéla (0,22 %) et Daloa (0,29 %) dans les tisanes.

Les sucres réducteurs ont présenté une différence hautement significative pour la tisane ($P \leq 0,05$), tandis que pour le thé vert, la différence est non significative ($P \geq 0,05$). Les teneurs varient globalement de 0,11 à 0,19 %. La teneur la plus élevée en sucres réducteurs a été enregistrée à Yamoussoukro pour la tisane (0,19 %), tandis que les valeurs les plus faibles ont été observées à Séguéla pour les deux types d'infusion (0,11 %).

L'analyse de variance a révélé des différences hautement significatives ($P \leq 0,05$) entre les localités pour les teneurs en protéines, aussi bien dans le thé vert que dans la tisane. Les valeurs de protéines ont varié de 6,91 % à 8,66 %. La plus forte teneur en protéines a été observée dans le thé vert de Daloa (8,66 %), suivie de la tisane de Daloa (8,31 %), tandis que la plus faible teneur a été enregistrée dans la tisane de Séguéla (6,91 %). En moyenne, les thés verts (7,96 %) contiennent légèrement plus de protéines que les tisanes (7,78 %).

Concernant les lipides, l'analyse a également montré des différences statistiquement significatives, pour le thé vert et la tisane ($P \leq 0,05$). Les teneurs varient de 2,33 % à 4,72 %. La localité de Daloa a présenté les teneurs les plus élevées aussi bien pour le thé vert (4,53 %)

que pour la tisane (4,72 %), alors que les plus faibles teneurs ont été enregistrées à Séguéla, notamment dans la tisane (2,33 %). En moyenne, les thés verts contenaient plus de lipides (4,26 %) que les tisanes (3,71 %).

L'analyse de variance a révélé une différence hautement significative pour le taux d'humidité, aussi bien dans le thé vert que dans la tisane ($P \leq 0,05$). Les valeurs d'humidité varient de 6,75 % à 8,97 %. Le taux d'humidité le plus élevé a été observé dans la tisane de Daloa (8,97 %), tandis que le plus faible a été enregistré dans le thé vert de Yamoussoukro (6,75 %). En moyenne, les tisanes (8,30 %) étaient plus humides que les thés verts (7,19 %).

Concernant le taux de cendre, l'analyse statistique a également montré des différences significatives, pour les deux produits ($P \leq 0,05$). Les teneurs en cendre vont de 4,54 % à 7,07 %. La teneur en cendre la plus élevée a été observée dans la tisane de Séguéla (7,07 %), tandis que la plus faible a été enregistrée dans le thé vert de Séguéla (4,54 %). En moyenne, la tisane présente une teneur en cendre plus importante (5,70 %) que le thé vert (5,17 %).

Tableau XVII: Compositions physico-chimiques du thé vert et de la tisane dans trois localités

Echantillons	pH		Sucres totaux (%)		Sucres réducteurs (%)	
	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane
Daloa	4,06 ± 0,00 ^a	4,54 ± 0,01 ^a	0,35 ± 0,00 ^b	0,29 ± 0,00 ^b	0,11 ± 0,00 ^a	0,12 ± 0,00 ^b
Yakro	4,22 ± 0,01 ^a	4,62 ± 0,02 ^a	0,40 ± 0,00 ^a	0,47 ± 0,00 ^a	0,12 ± 0,00 ^a	0,19 ± 0,00 ^a
Séguéla	4,16 ± 0,01 ^d	4,82 ± 0,01 ^a	0,23 ± 0,00 ^c	0,22 ± 0,00 ^c	0,11 ± 0,00 ^a	0,11 ± 0,00 ^b
Moyenne	4,15	4,67	0,33	0,33	0,11	0,14
<i>P</i>	0,5561	0,4335	0,0001	0,0001	0,0685	0,0001

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même colonne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

Tableau XVIII: Compositions physico-chimiques du thé vert et de la tisane dans trois localités

Echantillons	Protéine (%)		Lipides (%)		Taux d'humidité (%)		Taux de cendre (%)	
	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane
Daloa	8,66 ± 0,04 ^a	8,31 ± 0,04 ^a	4,53 ± 0,07 ^a	4,72 ± 0,07 ^a	7,53 ± 0,11 ^a	8,97 ± 0,00 ^a	4,91 ± 0,12 ^b	4,98 ± 0,24 ^b
Yakro	7,79 ± 0,05 ^b	8,14 ± 0,05 ^b	4,50 ± 0,10 ^a	4,08 ± 0,05 ^b	6,75 ± 0,11 ^b	8,31 ± 0,00 ^b	6,05 ± 0,01 ^a	5,07 ± 0,00 ^b
Séguéla	7,44 ± 0,05 ^c	6,91 ± 0,04 ^c	3,74 ± 0,08 ^b	2,33 ± 0,08 ^c	7,31 ± 0,00 ^a	7,64 ± 0,00 ^c	4,54 ± 0,24 ^b	7,07 ± 0,12 ^a
Moyenne	7,96	7,78	4,26	3,71	7,19	8,3	5,17	5,7
<i>P</i>	0,0001	0,0001	0,0013	0,0001	0,0024	0,0001	0,0012	0,0001

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même colonne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

2.1.2. Composition des minéraux des thés verts et tisanes

Les tableaux XIX et XX présentent les concentrations en sodium, magnésium, potassium ; calcium, fer et cuivre dans les thés verts et les tisanes préparés d'*Alchornea cordifolia*, récoltés dans trois localités agroécologiques de la Côte d'Ivoire : Daloa, Yamoussoukro et Séguéla. L'analyse de variance a montré une différence significative hautement significative pour les macro-éléments et pour les oligo-éléments allant avec des valeurs de $P \leq 0,05$ entre les échantillons analysés.

Pour les teneurs en sodium, les concentrations varient de 7,46 à 36,46 mg/kg. Les échantillons de Séguéla présentent les teneurs les plus élevées, avec 21,93 mg/kg pour le thé vert et 36,46 mg/kg pour la tisane. En revanche, les plus faibles concentrations s'observent à Daloa, avec 7,46 mg/kg pour la tisane et 8,89 mg/kg pour le thé vert. Les moyennes globales sont de 14,15 mg/kg pour le thé vert et de 20,71 mg/kg pour la tisane.

Pour la teneur en magnésium, les valeurs vont de 113,54 mg/kg (thé vert de Daloa) à 242,40 mg/kg (tisane de Séguéla). Les plus fortes concentrations s'enregistrent à Séguéla, aussi bien pour le thé vert (150,82 mg/kg) que pour la tisane (242,40 mg/kg), tandis que les plus faibles valeurs proviennent de Daloa. Les moyennes sont de 140,61 mg/kg pour le thé vert et de 192,57 mg/kg pour la tisane.

S'agissant du potassium, les teneurs varient de 892,94 à 1328,78 mg/kg pour le thé vert et de 1123,82 à 1269,45 mg/kg pour la tisane. La plus forte teneur s'observe dans le thé vert de Séguéla (1328,78 mg/kg), suivie de la tisane de Yamoussoukro (1269,45 mg/kg), tandis que la teneur la plus faible s'enregistre dans le thé vert de Daloa (892,94 mg/kg). En moyenne, les tisanes contiennent plus de potassium (1208,85 mg/kg) que les thés verts (1143,03 mg/kg).

Les concentrations en calcium, quant à elles, varient de 162,85 mg/kg (thé vert de Daloa) à 567,08 mg/kg (tisane de Yamoussoukro). La plus forte concentration s'observe dans la tisane de Yamoussoukro, suivie de celle de Séguéla. Le thé vert de Yamoussoukro présente également la teneur la plus élevée (261,09 mg/kg), tandis que Daloa enregistre les plus faibles valeurs, notamment dans le thé vert (162,85 mg/kg). En moyenne, les tisanes présentent des concentrations en calcium bien supérieures (520,66 mg/kg) à celles des thés verts (199,69 mg/kg).

Concernant le fer, les teneurs vont de 3,91 à 6,24 mg/kg pour le thé vert et de 5,19 à 8,89 mg/kg pour la tisane. La concentration la plus élevée s'observe dans la tisane de Séguéla (8,89 mg/kg), suivie du thé vert de Yamoussoukro (6,24 mg/kg). Les valeurs les plus faibles

s'enregistrent à Daloa dans le thé vert (3,91 mg/kg). Les moyennes montrent également une teneur plus élevée en fer dans les tisanes (6,44 mg/kg) que dans les thés verts (4,93 mg/kg).

En ce qui concerne les teneurs en cuivre, elles varient de 0,83 mg/kg (thé vert de Daloa) à 1,50 mg/kg (tisane de Yamoussoukro). La plus forte concentration s'observe dans la tisane de Yamoussoukro, tandis que le thé vert de Daloa présente la plus faible valeur (0,83 mg/kg). En général, les tisanes sont plus riches en cuivre, avec une moyenne de 1,31 mg/kg, que les thés verts, dont la moyenne est de 0,92 mg/kg

Relativement au zinc, les concentrations oscillent entre 2,38 mg/kg (thé vert de Daloa) et 4,21 mg/kg (tisane de Séguéla). La localité de Séguéla se distingue par ses fortes teneurs, aussi bien dans le thé vert (3,56 mg/kg) que dans la tisane (4,21 mg/kg). À l'opposé, les valeurs les plus faibles s'enregistrent à Daloa pour le thé vert (2,38 mg/kg) et la tisane (2,73 mg/kg). Les moyennes générales montrent également une plus grande richesse en zinc des tisanes (3,28 mg/kg) par rapport aux thés verts (3,14 mg/kg).

Tableau XIX: Concentrations en macro-minéraux du thé vert et de la tisane issus de trois localités

Compositions (mg/kg)	Sodium		Magnésium		Potassium		Calcium	
	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane
Daloa	8,69 ± 0,03 ^c	7,46 ± 0,03 ^c	113,54 ± 0,33 ^c	161,72 ± 0,33 ^c	892,94 ± 0,33 ^c	1123,82 ± 0,33 ^c	162,85 ± 0,33 ^c	458,67 ± 0,33 ^c
Séguéla	21,93 ± 0,33 ^a	36,46 ± 0,33 ^a	150,82 ± 0,33 ^b	242,40 ± 0,33 ^a	1328,78 ± 0,33 ^a	1233,30 ± 0,33 ^b	175,13 ± 0,33 ^b	536,21 ± 0,33 ^b
Yakro	11,83 ± 0,333 ^b	18,21 ± 0,33 ^b	157,46 ± 0,33 ^a	173,59 ± 0,33 ^b	1207,39 ± 0,33 ^b	1269,45 ± 0,33 ^a	261,09 ± 0,33 ^a	567,08 ± 0,33 ^a
Moyenne	14,15	20,71	140,61	192,57	1143,03	1208,85	199,69	520,66
<i>P</i>	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même colonne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

Tableau XX: Concentrations en oligo-éléments du thé vert et de la tisane issus de trois localités

Composition (mg/kg)	Fer		Cuivre		Zinc	
	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane
Daloa	3,91 ± 0,03 ^c	5,19 ± 0,03 ^b	0,83 ± 0,03 ^b	1,27 ± 0,03 ^b	2,38 ± 0,03 ^b	2,73 ± 0,03 ^c
Séguéla	4,65 ± 0,03 ^b	8,89 ± 0,03 ^a	1,07 ± 0,00 ^a	1,15 ± 0,03 ^c	3,56 ± 0,03 ^a	4,21 ± 0,03 ^a
Yakro	6,24 ± 0,03 ^a	5,25 ± 0,03 ^b	0,85 ± 0,03 ^b	1,50 ± 0,03 ^a	3,47 ± 0,03 ^a	2,90 ± 0,03 ^b
Moyenne	4,93	6,44	0,92	1,31	3,14	3,28
<i>P</i>	0,0001	0,0001	0,0014	0,0008	0,0001	0,0001

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même colonne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

2.1.3. Propriétés phytochimiques du thé vert et tisane issus des feuilles d'*Alchornea cordifolia* dans les trois localités

2.1.3.1. Screening phytochimique du thé vert et de la tisane

Les résultats montrent le criblage des métabolites secondaires présents dans les échantillons de tisane et de thé vert provenant de différentes localités à savoir Séguéla, Yamoussoukro et Daloa. On observe la forte concentration de flavonoïdes, polyphénols, leucoanthocyanes, anthocyanes et tanins catéchiques quel que soit la localité. En revanche, les alcaloïdes, tanins galliques, terpènes et stérols, ainsi que les saponosides ont été détecté à de faible concentration dans tous les échantillons (Tableau XXI).

Tableau XXI: Screening phytochimique du thé vert et de la tisane de trois localités

	Tisane Séguéla	Tisane Yamoussoukro	Tisane Daloa	Thé Séguéla	Thé Yamoussoukro	Thé Daloa
Alcaloïdes	+	+	+	+	+	+
Flavonoïdes	++	++	++	++	++	++
Polyphénols	++	++	++	++	++	++
Leucoanthocyanes	++	++	++	++	++	++
Anthocyanes	++	++	++	++	++	++
Tanins catéchiques	++	++	++	++	++	++
Tanins galliques	+	+	+	+	+	+
Terpènes et Stérols	+	+	+	+	+	+
Saponosides	+	+	+	+	+	+

Forte présence (++) ; faible présence (+)

2.1.3.2. Teneur en composés phénoliques du thé et la tisane

Les résultats présentent les teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux, en tanins totaux, en tanin condensé et en vitamine C du thé vert et de la tisane dans les localités de Daloa, Yamoussoukro et de Séguéla. L'analyse de variance a montré une différence significative pour le thé vert et la tisane dans les trois localités pour tous les paramètres en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux, en tanins totaux et le thé vert dans les trois localités (Tableaux XXII et XXIII).

Pour les polyphénols totaux, la moyenne a été de 143,33 mg EAG/g pour le thé vert et de 157,22 mg EAG/g pour la tisane. Les tisanes présentent généralement des teneurs en polyphénols totaux plus élevées que les thés verts. La localité de Séguéla avec 156,66 mg EAG/g a enregistré la plus grande teneur en polyphénols totaux de thé vert et celle de Daloa avec 196,66 mg EAG/g a eu la plus grande teneur au niveau de la tisane. Les flavonoïdes totaux sont également plus abondants dans les tisanes et ont présenté une moyenne de 204,44 mg EQ/g pour le thé vert, et de 265,55 mg EQ/g pour la tisane. La localité de Daloa a enregistré la plus grande teneur en flavonoïdes totaux dans le thé vert avec 230,00 mg EQ/g, tandis que celle de Yamoussoukro a présenté la plus forte concentration dans la tisane avec 278,33 mg EQ/g.

Concernant les tanins totaux ils montrent des variations moins prononcées entre les deux types d'échantillons. La moyenne a été de 0,46 mg EAT/g pour le thé vert, et de 0,43 mg EAT/g pour la tisane. La teneur la plus élevée en tanins dans le thé vert a été observée à Yamoussoukro avec 0,49 mg EAT/g, tandis que la plus forte teneur dans la tisane a été notée à Daloa avec 0,46 mg EAT/g. S'agissant des tanins condensés, la moyenne a été de 0,03 mg EC/g pour le thé vert, et pour la tisane de 0,019 mg EC/g. Les plus fortes teneurs ont été observées dans les échantillons de Daloa et Séguéla, chacun présentant 0,04 mg EC/g dans le thé vert. En revanche, la teneur la plus élevée dans la tisane a été notée à Séguéla avec 0,03 mg EC/g. Par ailleurs, la vitamine C a présenté une moyenne de 18,05 mg/100g pour le thé vert, et de 15,00 mg/100g pour la tisane. La plus forte concentration en vitamine C dans le thé vert et la tisane a été relevée dans les échantillons de Yamoussoukro et Séguéla, respectivement chacun avec 18,33 mg/100g et 15,83 mg/100g.

Tableau XXII: Teneurs phénoliques des thés verts et des tisanes d'*Alchornea cordifolia*

Echantillons	Polyphénols totaux (mg EAG/g)		Flavonoïdes totaux (mg EQ/g)		Tanins totaux (mg EAT/g)	
	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane
	Daloa	141,66±1,66 ^b	196,66±1,66 ^a	230,00±5,77 ^a	268,33±1,66 ^b	0,46±0,00 ^b
Yakro	131,66±3,33 ^c	146,66±1,66 ^b	183,33±1,66 ^c	278,33±1,66 ^a	0,49±0,00 ^a	0,40±0,00 ^c
Séguéla	156,66±1,66 ^a	128,33±1,6 ^c	200,00±2,88 ^b	250,00±2,88 ^c	0,44±0,00 ^c	0,42±0,00 ^b
Moyenne	143,33	157,22	204,44	265,55	0,46	0,43
<i>P</i>	0,0009	0,0001	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même colonne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

Tableau XXIII: Teneurs phénoliques des thés verts et des tisanes d'*Alchornea cordifolia*

Echantillons	Tanins condensés (mg EC/g)		Vitamine C (mg/100g)	
	Thé vert	Tisane	Thé vert	Tisane
Daloa	0,04 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	17,50 ± 1,44 ^a	13,33 ± 0,83 ^a
Yakro	0,02 ± 0,00 ^b	0,01 ± 0,01 ^a	18,33 ± 0,83 ^a	15,83 ± 0,83 ^a
Séguéla	0,04 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,00 ^a	18,33 ± 0,83 ^a	15,83 ± 0,83 ^a
Moyenne	0,03	0,019	18,05	15
<i>P</i>	0,0274	0,1915	0,8240	0,1250

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même colonne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

2.1.3.3. Activité antioxydante

➤ Test de l'ABTS

La figure 13 présente le potentiel antioxydant des thés verts et tisanes dans les différentes localités. Les résultats de notre étude révèlent des variations significatives du potentiel antioxydant parmi les échantillons analysés, évalué par la méthode TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity). Comme le montre le graphique, la tisane de Daloa (TiD) présente

l'activité la plus élevée avec 21,93 μM éq. Trolox, suivie de la tisane de Yamoussoukro (TiY) avec 19,20 μM éq. Trolox et de la tisane de Séguéla (TiS) avec 16,43 μM éq. Trolox. Parmi les thés, les valeurs restent intermédiaires, le thé de Yamoussoukro (TY) affiche néanmoins un potentiel antioxydant relativement plus élevé (18,57 μM éq. Trolox) comparé à ceux de Daloa (TD :17,89 μM éq. Trolox) et Séguéla (TS :17,69 μM).

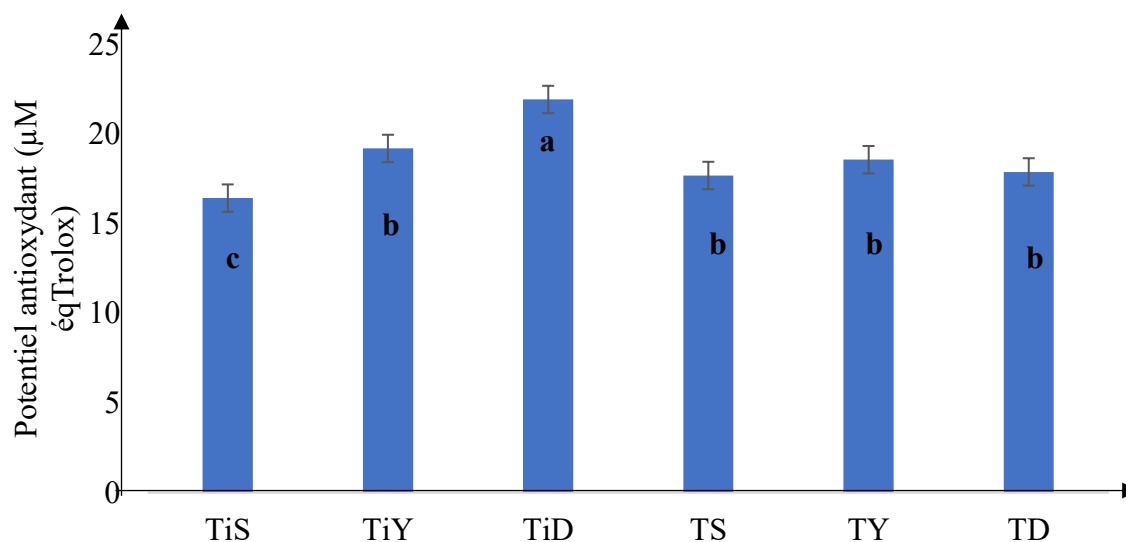


Figure 13: Potentiel antioxydant des thés verts et tisanes dans les différentes localités

➤ Test de DPPH

La figure 14 illustre l'évolution du pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction de la concentration de la vitamine C et des différentes tisanes. On observe que, pour l'ensemble des extraits et pour la vitamine C, le pourcentage d'inhibition augmente proportionnellement avec la concentration, avant de tendre vers un plateau. La vitamine C atteint très rapidement une inhibition d'environ 95 %, dès la concentration de 2 mg/mL. Les tisanes de Yamoussoukro et de Daloa présentent des profils relativement proches, atteignant une inhibition maximale avoisinant 84 % à 7,5 mg/mL, avec toutefois une légère supériorité pour Yamoussoukro. La tisane de Séguéla affiche une inhibition maximale plus faible (70,83 % à 7,5 mg/mL).

La figure 15 montre également le pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction de la concentration de la vitamine C et des différents thés verts. La vitamine C confirme sa forte réactivité antioxydante, atteignant environ 95 % d'inhibition dès 4–5 mg/mL. Le thé vert de Séguéla se distingue par une activité particulièrement élevée, avec une inhibition qui croît fortement entre 4 et 6 mg/mL pour atteindre des valeurs comparables à la vitamine C (~ 95 %). En revanche, les thés verts de Yamoussoukro et de Daloa présentent des inhibitions maximales plus modérées, se stabilisant autour de 80–85 % à 10 mg/mL.

Afin de comparer plus précisément l'efficacité antioxydante des extraits, la CI_{50} (concentration inhibitrice 50 %) a été calculée à partir d'un modèle de régression logarithmique [équation du type $y = a \cdot \ln(x) + b$], ce choix étant justifié par le ralentissement progressif de l'augmentation du pourcentage d'inhibition à forte concentration. La figure 16 présente les valeurs obtenues : la vitamine C présente la CI_{50} la plus faible (1,28 mg/mL), suivie par les tisanes de Yamoussoukro (3,13 mg/mL) et de Daloa (3,27 mg/mL), tandis que la tisane de Séguéla montre la valeur la plus élevée (5,51 mg/mL), traduisant une activité antioxydante plus faible.

Les valeurs de CI_{50} des thés verts (Figure 17) confirment ces observations : la vitamine C conserve la CI_{50} la plus faible (1,28 mg/mL), suivie du thé vert de Séguéla (2,02 mg/mL), de celui de Daloa (3,17 mg/mL), et enfin de Yamoussoukro (3,55 mg/mL). Ces résultats soulignent que, parmi les extraits étudiés, le thé vert de Séguéla possède l'activité antioxydante la plus proche de la vitamine C, tandis que la tisane de Séguéla reste la moins performante en termes d'inhibition radicalaire.

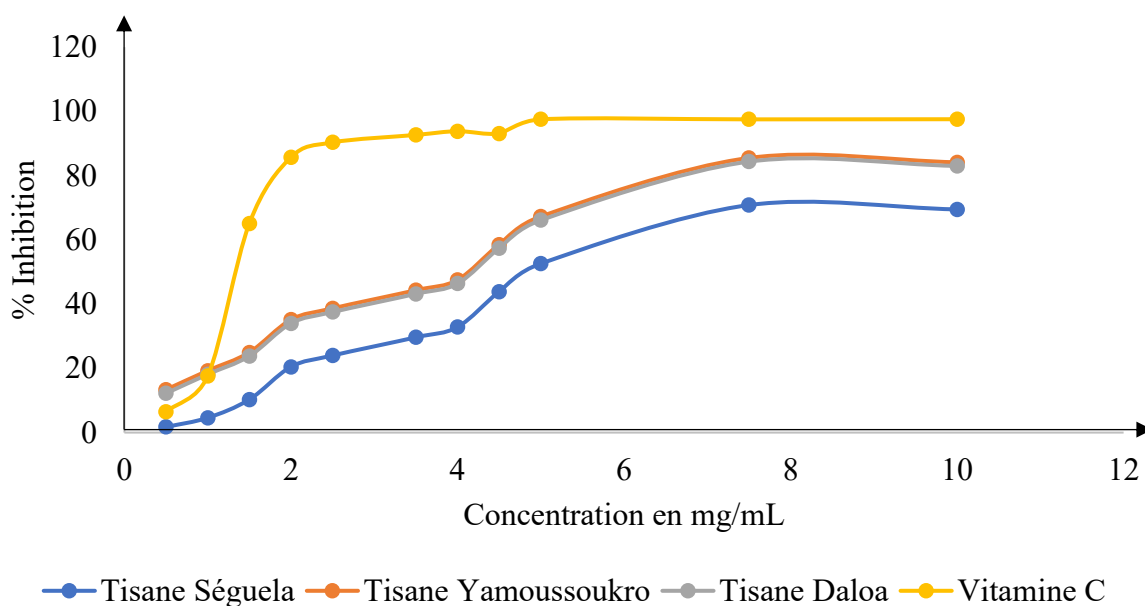


Figure 14: Evolution du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration de la vitamine C et des différentes tisanes.

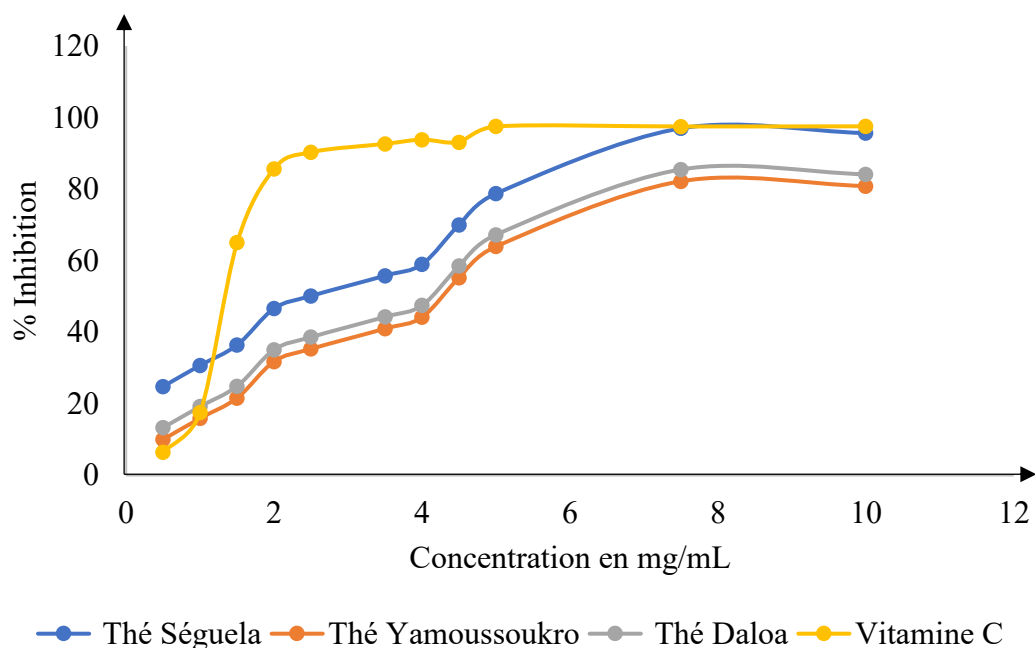


Figure 15: Evolution du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration de la vitamine C et des différents thés verts.

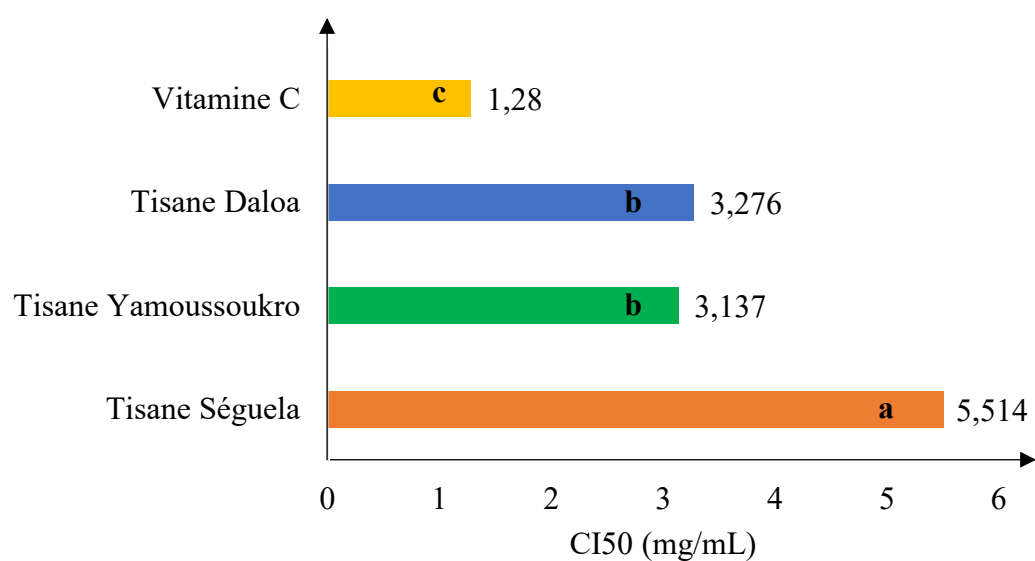


Figure 16: Diagramme des CI₅₀ de la vitamine C et des tisanes des différentes localités.

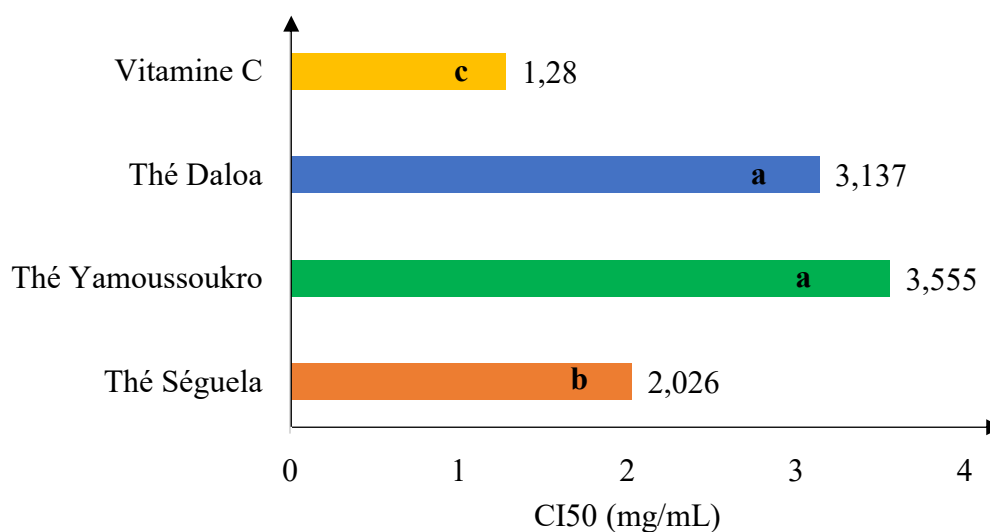


Figure 17: Diagramme des CI₅₀ de la vitamine C et des thés verts des différentes localités.

2.1.3.4. Couleur des thés et des tisanes

Les paramètres colorimétriques (L^* , a^* , b^* , C^* , h°) des tisanes et thés provenant de Séguéla, Yamoussoukro et Daloa ont été mesurés et sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau XXIV).

L'analyse des paramètres colorimétriques révèle des caractéristiques distinctes entre les tisanes et les thés étudiés. Tout d'abord, concernant la clarté, les tisanes présentent des valeurs L^* nettement plus élevées (48,8 à 52,5) que les thés (20,3 à 27,9), ce qui indique une apparence visuelle plus claire. Parmi les tisanes, celle de Séguéla se distingue par sa luminosité maximale ($L^* = 52,5$), tandis que le thé de Daloa apparaît comme le plus foncé avec $L^* = 20,3$.

En ce qui concerne les composantes chromatiques, on observe des variations significatives. La tisane de Séguéla montre une forte tendance verte ($a^* = -5,9$), contrastant avec les échantillons de Yamoussoukro et Daloa qui présentent plutôt une légère dominance rougeâtre ($a^* = 0,8$ et $2,8$ respectivement). Par ailleurs, tous les thés affichent systématiquement des valeurs a^* positives (3,0 à 3,8).

Au niveau de la composante jaune b^* , les tisanes montrent une gamme étendue de valeurs (8,1 à 14,0), avec une intensité particulièrement marquée pour celle de Yamoussoukro ($b^* = 14$). Les thés, quant à eux, présentent des valeurs plus homogènes (9,6 à 12,0), suggérant une teinte jaune moins prononcée. Lorsqu'on examine l'intensité chromatique globale, la tisane de Yamoussoukro atteint la valeur C^* la plus élevée (14,0), suivie de près par le thé de Séguéla (12,4).

Enfin, l'analyse des angles de teinte met en évidence des profils colorimétriques bien différenciés. Les tisanes couvrent un large spectre allant du vert-jaune (120,8° pour Séguéla) au rougeâtre (70,6° pour Daloa), tandis que les thés se concentrent dans une gamme plus restreinte de teintes jaune-rouge (68,6° à 76,1°).

Tableau XXIV: Couleurs des tisanes et thés provenant de trois localités

Couleur	L*	a*	b*	C*	h°
	(clarté)	(vert/rouge)	(jaune/bleu)	(Intensité)	(Teinte)
Tisane Séguéla	52,5	-5,9	10	11,6	120,8
Tisane Yamoussoukro	48,8	0,8	14	14	86,6
Tisane Daloa	50,8	2,8	8,1	8,6	70,6
Thé Séguéla	27,9	3	12	12,4	76,1
Thé Yamoussoukro	22,6	3,8	9,6	10,3	68,6
Thé Daloa	20,3	3,6	9,6	10,3	69,7

2.1.4. Analyse sensorielle

2.1.4.1. Test hédonique

Le tableau XXV présente les notes moyennes d'acceptabilité sensorielle attribuées au thé vert, à la tisane et aux feuilles mortes d'*Alchornea cordifolia* provenant de trois localités : Yamoussoukro, Séguéla et Daloa. Les tisanes de feuilles mortes présentent les notes les plus élevées (entre 6,65 et 7,10), suivie du thé vert (6,00 à 7,01) et enfin de la tisane (5,92 à 6,07). Dans le thé vert, les notes d'acceptabilité varient selon les localités : 7,01 à Yamoussoukro, 6,00 à Séguéla et 6,03 à Daloa. Le thé vert ayant le score le plus élevé est celui de Yamoussoukro, atteignant le seuil de l'appréciation « agréable » (note 7), tandis que les notes de Séguéla et Daloa se situent autour de 6, ce qui correspond à un niveau d'acceptabilité modérée « assez agréable ». Une différence significative est observée entre Yamoussoukro et les deux autres villes, indiquant une préférence marquée pour le thé vert de Yamoussoukro ($p \leq 0,05$).

Quant aux tisanes issues des trois localités, elles présentent des notes relativement identiques de 5,95 à Yamoussoukro, 5,92 à Séguéla et 6,07 à Daloa. Aucune différence significative n'est observée entre elles, ce qui suggère un niveau d'appréciation constant correspond au niveau d'appréciation « ni agréable ni désagréable » (note 5). Les infusions issues des feuilles mortes sont les plus appréciées dans toutes les localités avec des notes de 6,79 à

Yamoussoukro, 6,65 à Séguéla et 7,10 à Daloa. Il n'existe aucune différence significative entre les tisanes issues des localités. Celles de Daloa présentent la note la plus élevée, correspondant à l'appréciation « agréable ».

Les résultats montrent qu'il existe une différence significative entre les tisanes de feuilles mortes et les tisanes, thés verts dans chaque localités ($p \leq 0,05$). Les feuilles mortes présentent les meilleures appréciations sensorielles dans toutes les localités, avec des notes significativement supérieures à celles des tisanes et, dans certains cas, au thé vert. Les tisanes sont généralement moins appréciées, en particulier Yamoussoukro et Séguéla, tandis que le thé vert est bien apprécié à Yamoussoukro.

Tableau XXV: Test d'acceptabilité

Produits	Yamoussoukro	Séguéla	Daloa
Thé vert	7,01 ± 1,40 ^a	6,00 ± 1,79 ^b	6,03 ± 2,09 ^b
Tisanes	5,95 ± 1,59 ^b	5,92 ± 1,62 ^b	6,07 ± 1,83 ^b
Feuilles mortes	6,79 ± 1,27 ^a	6,65 ± 1,33 ^a	7,10 ± 1,38 ^a

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même ligne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

2.1.4.2. Profil sensoriel du thé, de la tisane et des tisanes de feuilles mortes

➤ Comparaison des profils sensoriels des thés dans les trois localités

Comme le montre la figure 18, les échantillons de thé vert issus de Yamoussoukro, Séguéla et Daloa présentent des intensités sensorielles distinctes pour les descripteurs évalués, notamment les arômes (végétal, boisé, floral), les attributs visuels (claire, brune) et les sensations gustatives (astringence, amertume, arrière-goût amer). L'analyse de variance a montré une différence significative pour l'arôme florale, claire, astringent, arrière-gout amer et amer (Tableau XXVI).

Pour l'arôme floral, la moyenne a été de 4,61 avec un coefficient de variation de 16,10%. Les thés verts des localités de Yamoussoukro (5,35) et de Séguéla (5,42) ont eu les plus grandes valeurs de l'arôme floral contrairement à ceux de la localité de Daloa avec (3,07) qui présente la plus petite valeur.

S'agissant du descripteur clair, la moyenne a été de 5,14 avec un coefficient de variation de 23,85%. La localité de Daloa avec 5,78 a eu la plus grande valeur. Quant à ceux des localités de Yamoussoukro (5,07) et Séguéla (4,57), elles ont obtenu les plus petites valeurs.

Pour l'arôme brun, la moyenne a été (5,64) avec un coefficient de variation de 21,30%. Les thés verts des localités de Séguéla (5,85) et de Yamoussoukro ont eu les plus grandes valeurs. Contrairement à ceux de la localité de Daloa (5,42) qui a enregistré la plus petite valeur.

Pour le descripteur astringent, la moyenne est de 5,14 avec un coefficient de variation de 28,99 %. Yamoussoukro présente la valeur la plus élevée (6,07), tandis que Séguéla (4,57) et Daloa (4,78) affichent les valeurs les plus faibles.

Pour l'arrière-goût amer, la moyenne est de 3,33 avec un coefficient de variation de 22,82 %. Séguéla (3,57) et Yamoussoukro (3,57) présentent les valeurs les plus élevées, tandis que Daloa (2,85) affiche la valeur la plus faible.

Pour le descripteur amer, la moyenne est de 4,88 avec un coefficient de variation de 18,49 %. Daloa (5,21) présente la valeur la plus élevée, alors que Séguéla (5,00) et Yamoussoukro (4,42) affichent les valeurs les plus faibles.

Tableau XXVI: Descripteurs du thé vert issu des localités

Localités / (Thé vert)	Arôme végétal	Arôme boisé	Arôme floral	Claire	Brune	Astringent	Arrière-goût amer	Amer
Yakro	5,78 ± 0,43 ^a	5,21 ± 0,31 ^a	5,35 ± 0,16 ^a	5,07 ± 0,33 ^{ab}	5,64 ± 0,28 ^a	6,07 ± 0,49 ^a	3,57 ± 0,22 ^a	4,42 ± 0,22 ^a
Séguéla	5,14 ± 0,36 ^a	5,42 ± 0,22 ^a	5,42 ± 0,20 ^a	4,57 ± 0,32 ^b	5,85 ± 0,40 ^a	4,57 ± 0,38 ^b	3,57 ± 0,20 ^a	5,00 ± 0,23 ^a
Daloa	5,71 ± 0,32 ^a	5,35 ± 0,16 ^a	3,07 ± 0,22 ^b	5,78 ± 0,31 ^a	5,42 ± 0,25 ^a	4,78 ± 0,28 ^b	2,85 ± 0,17 ^b	5,21 ± 0,26 ^b
Moyenne	5,54	5,33	4,61	5,14	5,64	5,14	3,33	4,88
CV	25,31	17,24	16,1	23,85	21,3	28,99	22,82	18,49
F	0,88	0,2	45,5	3,46	0,44	4,14	4,11	2,83
P	0,4224	0,8220	0,0001	0,0413	0,6441	0,0233	0,0239	0,0709

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même colonne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

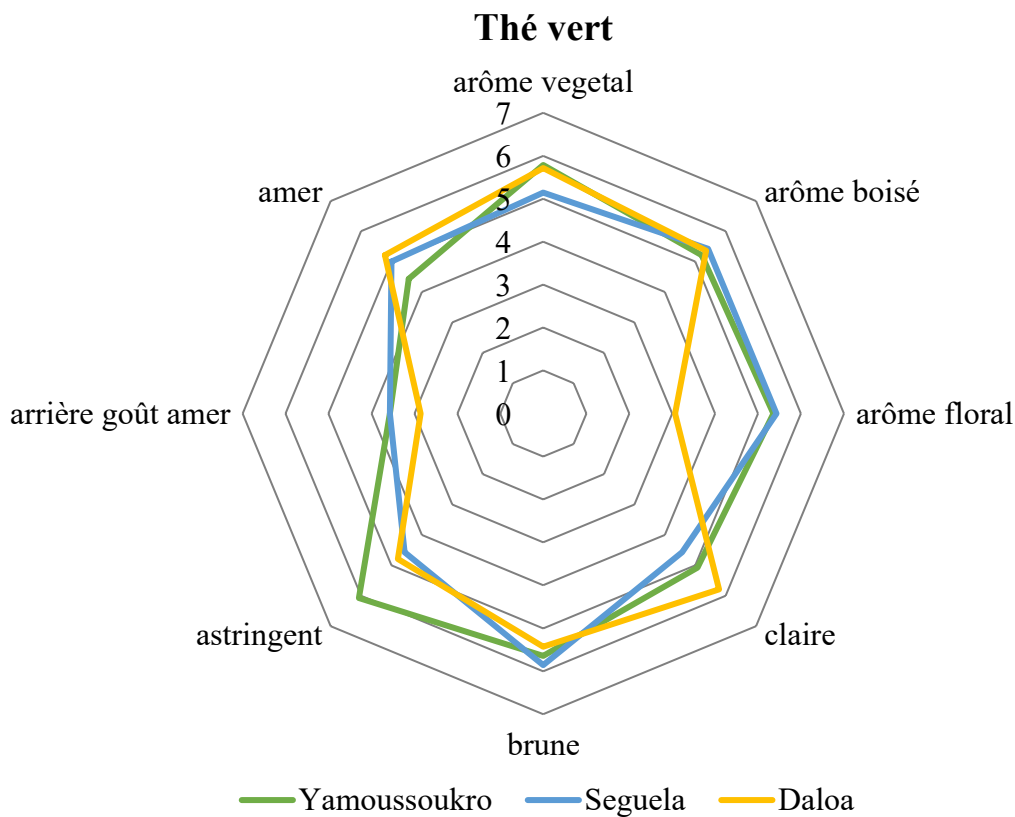


Figure 18: Comparaison des profils sensoriels des thés verts dans les trois localités

➤ **Comparaison des profils sensoriels des tisanes dans les trois localités**

Les profils sensoriels des tisanes produites à Yamoussoukro, Séguéla et Daloa révèlent des différences distinctes dans leurs caractéristiques. Elles se distinguent par l'intensité de leur arôme végétal, leur couleur et leur aspect (claire, vert jaunâtre ou brun), ainsi que par leurs perceptions gustatives, notamment l'amertume et l'arrière-goût sucré (Figure 19). L'analyse de variance a montré une différence significative pour le descripteur vert jaunâtre et le descripteur arrière-goût sucré (Tableau XXVII).

Pour l'arôme vert jaunâtre, la moyenne a été de 6,04 avec un coefficient de variation de 23,91%. Les tisanes des localités de Séguéla (6,71) et de Daloa (6,21) ont les plus grandes valeurs. Contrairement à ceux de la localité de Yamoussoukro avec (5,21) qui a eu la plus petite valeur.

S'agissant du descripteur arrière-goût sucré, la moyenne a été de 3,04 avec un coefficient de variation de 24,96 %. Seule la localité de Yamoussoukro a eu la plus grande valeur avec (3,71). Quant à ceux des localités de Séguéla (2,71) et Daloa (2,71) elles ont présenté les plus petites valeurs.

Tableau XXVII: Descripteurs de la tisane issues des localités

Localités (Tisane)	Arôme végétal	Claire	Vert-jaunâtre	Brune	Astringent	Amer	Arrière-goût sucré
Yakro	5,42 ± 0,42 ^a	6,00 ± 0,37 ^a	5,21 ± 0,38 ^b	3,07 ± 0,19 ^a	5,57 ± 0,25 ^a	7,00 ± 0,31 ^a	3,71 ± 0,22 ^a
Séguéla	5,28 ± 0,41 ^a	5,14 ± 0,39 ^a	6,71 ± 0,30 ^a	2,92 ± 0,19 ^a	5,21 ± 0,31 ^a	6,78 ± 0,40 ^a	2,71 ± 0,19 ^b
Daloa	5,07 ± 0,43 ^a	5,57 ± 0,47 ^a	6,21 ± 0,45 ^{ab}	2,78 ± 0,18 ^a	5,71 ± 0,33 ^a	6,21 ± 0,40 ^a	2,71 ± 0,19 ^b
Moyenne	5,26	5,57	6,04	2,92	5,5	6,66	3,04
CV	30,31	28,03	23,91	24,58	20,71	21,31	24,96
Probabilité	0,8378	0,3582	0,285	0,5807	0,4954	0,3289	0,0012

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même colonne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

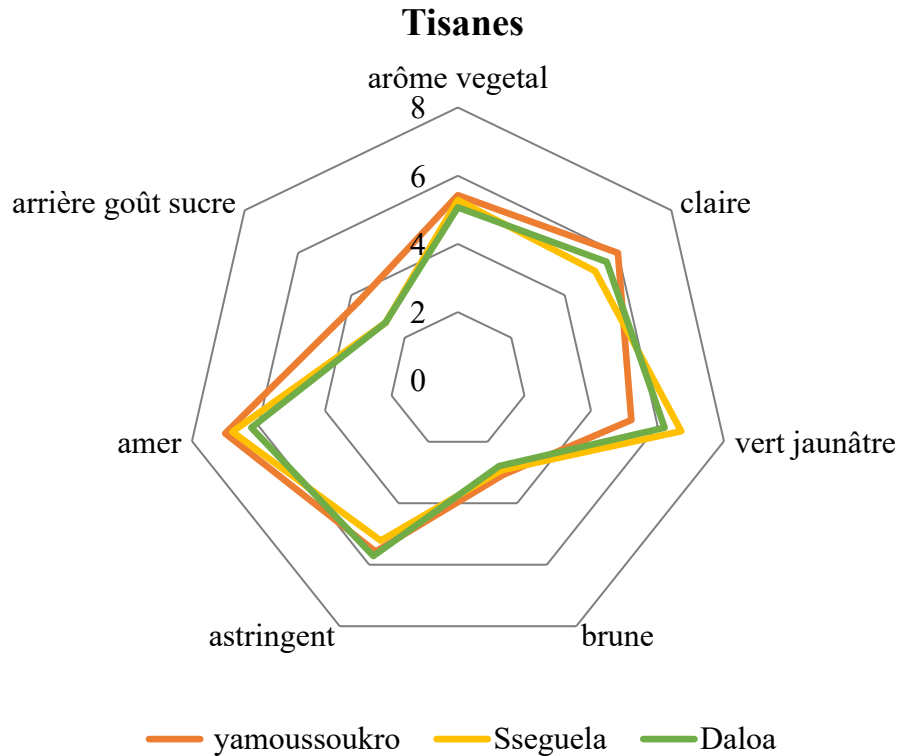


Figure 19: Comparaison des profils sensoriels des tisanes dans les trois localités

➤ **Comparaison des profils sensoriels des tisanes des feuilles mortes dans les trois localités**

Comme le montre la Figure 20, les tisanes de feuilles mortes provenant de Yamoussoukro, Séguéla et Daloa présentent des profils sensoriels différents. Elles se distinguent par l'intensité de leurs arômes (végétal, terreux), leurs aspects visuels (clairs ; bruns) ainsi que leurs sensations en bouche (astringence, amertume, douceur, arrière-goût). L'analyse de variance a montré une différence significative pour les descripteurs arôme terreux, claire, brune, astringent, et arrière-goût-amer (Tableau XXVIII).

Pour l'arôme terreux, la moyenne a été de 4,40 avec un coefficient de variation de 24,48%. La localité de Séguéla avec 5,50 a enregistré la plus grande valeur. Par contre, les infusions des feuilles mortes des localités de Daloa (4,21) et de Yamoussoukro (3,50) ont obtenu les plus petites valeurs.

S'agissant de l'arôme clair, la moyenne a été de 4,85 avec un coefficient de variation de 26,81%. Les feuilles mortes de la localité de Séguéla avec 5,57 ont obtenu la grande valeur. Contrairement aux localités de Daloa (4,78) et Yamoussoukro (4,21) qui ont obtenu les plus petites valeurs.

Pour le descripteur Brune, la moyenne a été de 6,50 avec un coefficient de variation de 20,02%. La localité de Séguéla avec 7,07 a obtenu la plus grande valeur. En ce qui concerne les feuilles mortes des localités de Yamoussoukro avec 6,57 et Daloa 5,85, elles ont enregistré les plus petites valeurs.

Pour le descripteur astringent, la moyenne est de 5,95 avec un coefficient de variation de 21,10 %. Yamoussoukro présente la valeur la plus élevée (6,78), tandis que Séguéla (5,28) et Daloa (5,78) affichent les valeurs les plus faibles.

Pour l'arrière-goût amer, la moyenne s'établit à 3,04 avec un coefficient de variation de 20,15 %. Daloa enregistre la valeur la plus élevée (3,50), alors que Yamoussoukro (3,00) et Séguéla (2,64) présentent les valeurs les plus faibles.

Tableau XXVIII: Descripteurs des tisanes de feuilles mortes issues des localités

Localités (feuilles mortes)	Arôme végétal	Arôme terreux	Claire	Brune	Astringent	Arrière-goût amer	Doux
Yakro	4,78 ± 0,36 ^a	3,50 ± 0,20 ^b	4,21 ± 0,38 ^b	6,57 ± 0,30 ^b	6,78 ± 0,31 ^a	3,00 ± 0,18 ^b	6,07 ± 0,43 ^a
Séguéla	5,57 ± 0,29 ^a	5,50 ± 0,35 ^a	5,57 ± 0,37 ^a	7,07 ± 0,33 ^a	5,28 ± 0,32 ^b	2,64 ± 0,16 ^b	5,78 ± 0,39 ^a
Daloa	5,42 ± 0,38 ^a	4,21 ± 0,28 ^b	4,78 ± 0,28 ^b	5,85 ± 0,39 ^b	5,78 ± 0,36 ^b	3,50 ± 0,13 ^a	5,07 ± 0,3 ^{5a}
Moyenne	5,26	4,4	4,85	6,5	5,95	3,04	5,64
CV	24,94	24,48	26,81	20,02	21,1	20,15	26,34
F	1,42	12,37	3,83	3,08	5,17	6,88	1,68
Probabilité	0,2532	0,001	0,0302	0,0574	0,0102	0,0028	0,1995

Les moyennes suivies de différentes lettres sur la même colonne sont statistiquement différentes selon le test de Newman & Keuls au seuil de 5%

Yakro = Yamoussoukro

Tisanes de feuilles mortes

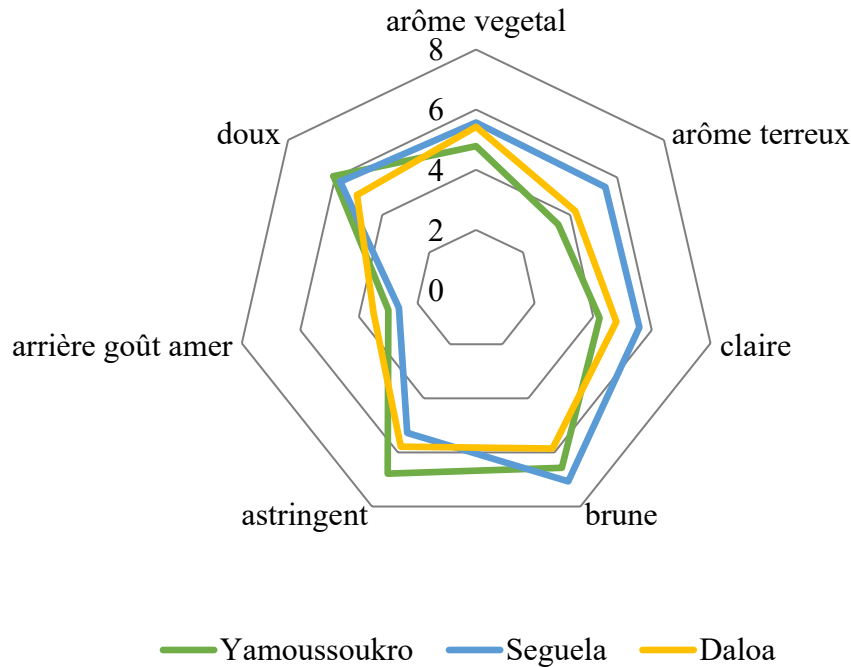


Figure 20: Comparaison des profils sensoriels des tisanes de feuilles mortes dans les trois localités

➤ Comparaison des profils sensoriels des trois échantillons étudiés

Les profils sensoriels des tisanes de feuilles mortes, des tisanes et des thés verts d'*Alchornea cordifolia* ont été évalués à l'aide d'un diagramme radar intégrant dix attributs sensoriels. Les résultats mettent en évidence des différences notables entre les trois types de boissons (Figure 21).

Les tisanes de feuilles mortes se caractérisent par des intensités élevées des notes brunes (9,8), de l'astringence (8,9) et de l'arôme végétal (7,9), associées à un arôme terreux modéré (6,6). Les attributs arôme boisé, arôme floral, amertume et arrière-goût sucré ne sont pas perçus, tandis que la douceur présente une intensité élevée (8,5).

Les tisanes présentent un profil sensoriel dominé par l'amertume (10,0) et l'astringence (8,2), accompagnées d'une couleur claire marquée (8,4). Les arômes végétal, terreux, boisé et floral sont absents, tandis que la douceur (4,6) et l'arrière-goût sucré (4,6) sont perçus à des intensités modérées.

Les thés verts se distinguent par un profil plus diversifié, caractérisé par des intensités élevées des arômes végétal (8,3), boisé (8,0) et floral (6,9). L'astringence (8,6) et l'amertume

(7,7) sont également marquées, tandis que la douceur (7,3) et les notes claires et brunes présentent des intensités intermédiaires (7,7).

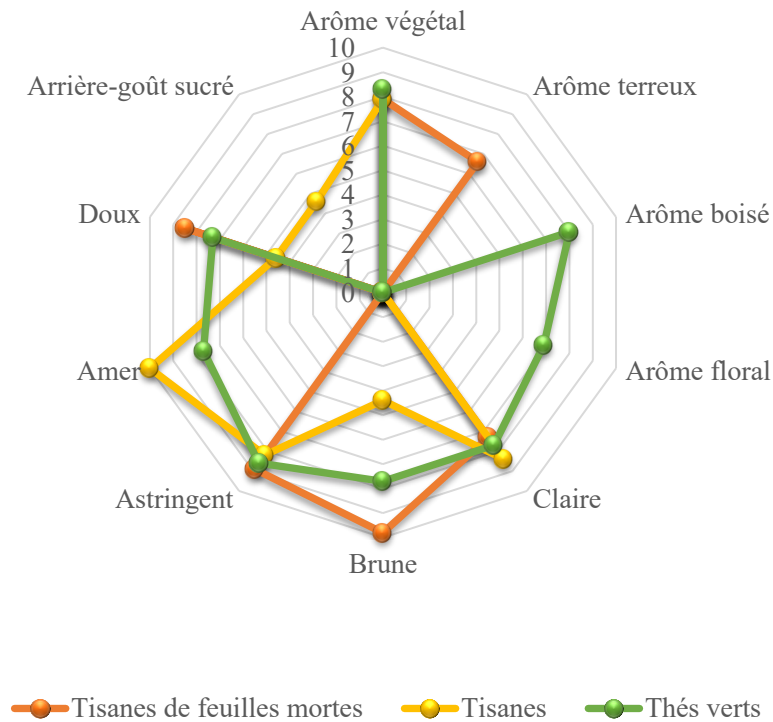


Figure 21: Comparaison des profils sensoriels des trois échantillons étudiés

➤ **Structuration des attributs dans les thés verts et tisanes en fonction des localités**

L'analyse en composante principale sur les attributs a montré une dépendance de plus de 84,22 % entre les localités des observations en fonction des variables étudiées (PC1 = 56,73 et PC2= 27,49). La composante 1 (CP1) est influencée par l'arôme végétal, brun et amer. La CP1 caractérise négativement et moyennement les observables Thé vert Daloa et tisane Yamoussoukro. La CP2 est influencée par claire et astringent. Cette CP2 caractérise positivement thé Yamoussoukro et négativement tisane Daloa et Séguéla (Figure 22).

Une classification hiérarchique à la troncature 5% d'hétérogénéité a ressorti 3 sous-groupes. Le sous-groupe 1 comprenant les tisanes dans les trois localités, est caractérisé par de fortes amertumes. Le sous-groupe 2 constitué individuellement de Thé vert de Séguéla, n'est caractérisé par aucun attribut. Le sous-groupe 3 est composé des Thé de Yamoussoukro et de Daloa. Il est caractérisé par l'arôme végétal et le brun (Figure 23).

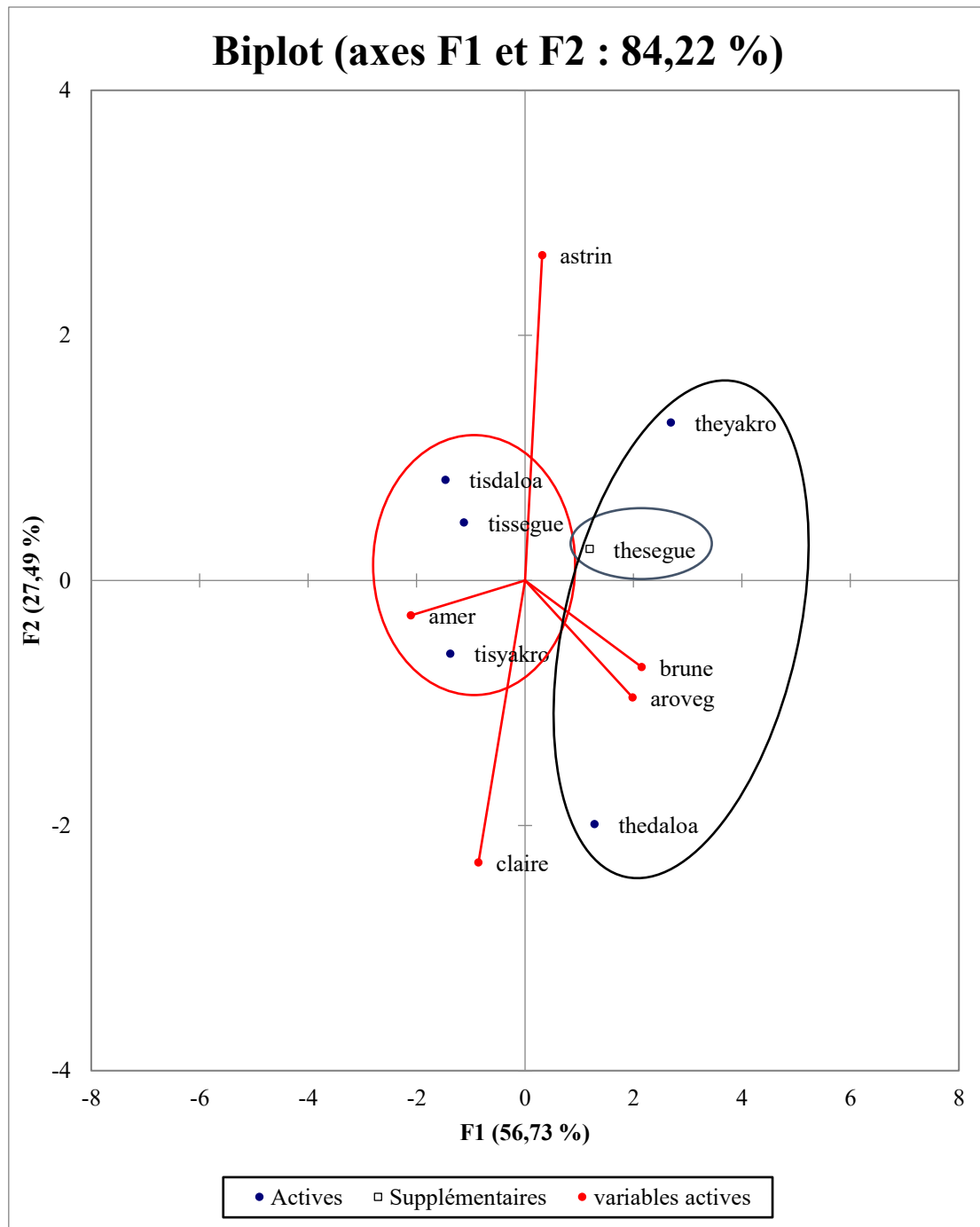


Figure 22: Analyse en composantes principales des thés verts et tisanes et des attributs

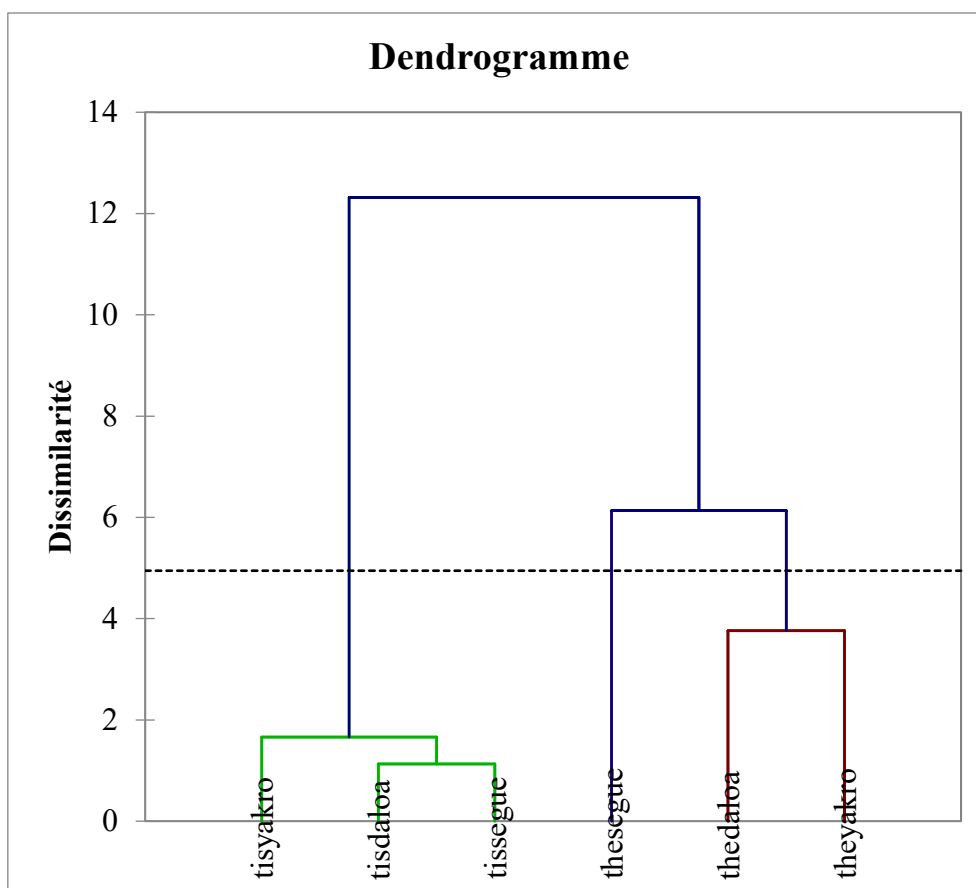


Figure 23: Classification hiérarchique ascendante du thé vert et de la tisane dans les localités en fonction des attributs.

2.2. Discussion

Les analyses biochimiques, minérales et phytochimiques réalisées sur les thés verts et tisanes d'*Alchornea cordifolia* mettent en évidence la richesse nutritionnelle et fonctionnelle de cette plante. Les variations observées entre les localités (Daloa, Yamoussoukro, Séguéla) et les différents échantillons traduisent l'influence des conditions géographiques et technologiques sur la qualité des extraits.

Sur le plan physico-chimique, le pH des échantillons variait de 4,06 à 4,82, avec une tendance à des valeurs plus élevées dans les tisanes. Ainsi, les thés verts apparaissent légèrement plus acides que les tisanes. Ces résultats concordent avec ceux de Ndife *et al.* (2019) qui ont montré un pH plus bas dans le thé de *Camellia sinensis* (4,08) que dans les tisanes de *Chromolaena odorata* (5,81). La légère acidité observée favorise à la fois la stabilité microbologique et le développement des arômes (Afolayan & Sunmonu, 2010). Le thé vert de Daloa présentait le pH le plus faible, traduisant une acidité plus prononcée susceptible d'influencer ses caractéristiques sensorielles et sa conservation.

Concernant les teneurs en sucres totaux et réducteurs, elles se sont révélées très faibles (0,33 % en moyenne). Ces valeurs sont nettement inférieures à celles rapportées par Ndife *et al.* (2019) dans les tisanes de *Chromolaena odorata* (4,97 %) et dans le thé vert de *Camellia sinensis* (4,81 %). Cette faible teneur traduit l'absence de sucres ajoutés et confère un intérêt nutritionnel certain, notamment dans le cadre de régimes hypoglycémisants (Alasalvar *et al.*, 2001). Les boissons sont faiblement sucrées, contribuant à une bonne acceptabilité sensorielle. Selon Wardlaw (2004), les sucres libres ne devraient pas excéder 5 % de l'apport énergétique quotidien, ce qui confirme que les tisanes et les thés verts d'*Alchornea cordifolia* sont adaptées à une consommation régulière

La teneur en protéines variait de 6,91 % à 8,66 %, avec une légère supériorité pour les thés verts par rapport aux tisanes. Ces résultats rejoignent ceux de Ekissi (2014), qui a rapporté des taux de 6 à 8 % chez *Lippia multiflora*, bien que les tisanes y soient légèrement plus riches que les thés verts. Cette différence pourrait s'expliquer par la variabilité des espèces étudiées. Comme le soulignent Dastagir *et al.* (2013), la teneur en protéines brutes varie selon les parties de la plante. Bien que partiellement solubilisées dans l'eau, la présence de protéines dans les infusions d'*Alchornea cordifolia* laisse envisager une contribution, certes modeste, à l'apport en acides aminés essentiels.

En ce qui concerne les lipides, les teneurs oscillent entre 2,33 % et 4,72 %, avec une tendance plus marquée dans les thés verts. Ces valeurs restent inférieures à celles rapportées par Rahman *et al.* (2014) pour le thé vert de *Camellia sinensis* (7,50–9,58 %), mais supérieures à celles observées par Ekissi (2014) dans le thé vert (1,03 %) et la tisane (2,98 %) de *Lippia multiflora*. Ces écarts pourraient être attribués à la variabilité des espèces ou au stade de récolte, puisque les jeunes feuilles et bourgeons, riches en membranes cellulaires et organites, présentent naturellement une teneur lipidique plus élevée (Chapman & Ohlrogge, 2012). La nature majoritairement faible des lipides dans les échantillons leur confère un potentiel intérêt diététique.

L'humidité des tisanes (7,64–8,97 %) était légèrement plus élevée que celle des thés verts (6,75–7,53 %), ces valeurs sont proches de celles rapportées par Ngaha *et al.* (2016) pour les feuilles d'*Alchornea cordifolia* (8,72 %), mais supérieures à celles observées par Rahman *et al.* (2014) dans les thés verts de *Camellia sinensis* (3,49–6,38 %). Ces différences peuvent être attribuées aux méthodes de séchage et à la nature des feuilles utilisées (Kumar *et al.*, 2005). Le contrôle de l'humidité reste crucial pour assurer la conservation des produits séchés et le stockage, car, comme le souligne la FAO (2003), des teneurs supérieures à 10 % compromettent

leur stabilité. Les valeurs obtenues dans cette étude restent toutefois inférieures à ce seuil critique.

Le taux de cendre, indicateur de la charge minérale, variait de 4,54 % à 7,07 %. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues par Ekissi (2014) pour les thés verts et tisanes de *Lippia multiflora* (8,07–13,94 %), bien que la tendance observée, avec des teneurs plus élevées dans les tisanes, soit similaire. Cette variation pourrait être liée aux types de feuilles employées pour la préparation des extraits. La teneur élevée en cendres des tisanes de Séguéla (7,07 %) témoigne d'une richesse en sels minéraux, confirmant la valeur nutritionnelle d'*Alchornea cordifolia*. Le taux de cendre n'indique pas nécessairement une haute qualité sauf lorsqu'il y a un équilibre favorable des minéraux essentiels (Ahmed *et al.*, 1989).

Les analyses minérales ont montré des variations selon les échantillons. Globalement, les tisanes présentaient des teneurs en minéraux (sodium, potassium, calcium, fer, magnésium, phosphore, zinc, cuivre) plus élevées que les thés verts, avec une prédominance de potassium (jusqu'à 1269 mg/kg) et de calcium (567 mg/kg). Ces différences peuvent s'expliquer par la nature des feuilles et les caractéristiques pédologiques des sites de récolte (Deka *et al.*, 2021). Comme l'indiquent Gupta *et al.* (2011), la maturité physiologique des feuilles influence significativement leur composition minérale, les feuilles matures accumulant davantage d'éléments nutritifs que les jeunes feuilles (Zhou *et al.*, 2016).

La teneur en sodium variait de 8,69 à 21,93 mg/kg dans les thés verts et de 7,46 à 36,46 mg/kg dans les tisanes. Ces valeurs restent largement inférieures à celles rapportées par Ekissi *et al.* (2017) pour les thés verts (35,66–97,72 mg/kg) et les tisanes (244,66–469,16 mg/kg) de *Lippia multiflora*. Par ailleurs, l'OMS (2020) recommande un apport maximal de 2 g/jour de sodium. Les concentrations observées dans les thés et tisanes d'*Alchornea cordifolia* sont donc largement inférieures à cette limite et ne présentent aucun risque pour la santé. Ces faibles teneurs en sodium rendent ces thés verts et tisanes particulièrement adaptées pour la prévention ou la prise en charge de l'hypertension et des affections rénales, comme l'indiquent Emebu & Anyika (2011).

Le magnésium est présent en quantité notable dans les thés et tisanes d'*Alchornea cordifolia* (113–242 mg/kg), bien que ces teneurs demeurent inférieures à celles rapportées par Olivier *et al.* (2012) dans les thés verts (785 mg/kg) et la tisane honeybush (436 mg/kg). Selon les références nutritionnelles de l'EFSA (2019), l'apport journalier recommandé en magnésium est de 300–400 mg/jour. Ainsi, la consommation régulière de ces infusions peut contribuer à la

couverture des besoins énergétiques, ce minéral jouant un rôle clé dans les contractions musculaires (Wardlaw, 2004).

Concernant le potassium, les teneurs obtenues (892,94–1269,45 mg/kg) révèlent une richesse intéressante, mais restent inférieures à celles rapportées par McKenzie *et al.* (2010) dans les thés verts de *Camellia sinensis* (2539 mg/kg) et à celles observées par Ekissi *et al.* (2017) dans les tisanes de *Lippia multiflora* (6920–12 174 mg/kg). L’OMS (2020) recommande un apport de 3500 mg/jour. Par conséquent, ces tisanes pourraient contribuer favorablement à l’équilibre nutritionnel et à la régulation de la tension artérielle (OMS, 2012).

Les teneurs en calcium variaient de 162 à 567 mg/kg. Les thés verts présentaient des valeurs inférieures à celles décrites par Herrador & González (2001) (2897–7484 mg/kg) dans les thés verts commerciaux, tandis que les teneurs dans les tisanes restaient également en deçà des concentrations rapportées par Basgel & Erdemoglu (2006) (965–17 740 mg/kg) dans les infusions d’herbes médicinales. Or, l’apport recommandé est de 1000 mg/jour (EFSA, 2019). Malgré ces niveaux modérés, ces infusions constituent une source complémentaire intéressante, le calcium étant essentiel à la santé osseuse et dentaire, à la coagulation sanguine, à la contraction musculaire, ainsi qu’à la prévention de l’ostéoporose et de l’hypertension, au maintien des fluides extracellulaires et des syndromes prémenstruels (Wardlaw, 2004 ; Afuape *et al.*, 2022).

Pour les oligoéléments, la hiérarchie observée est la suivante : Fe (2,71–8,87 mg/kg) > Zn (2,36–6,23 mg/kg) > Cu (0,83–1,50 mg/kg), en accord avec les résultats de Dippong *et al.* (2023). Les teneurs en fer restent inférieures à celles rapportées par Basgel & Erdemoglu (2006) et Lozak *et al.* (2002). Malgré un apport journalier recommandé de 8–18 mg (OMS, 2020), la biodisponibilité du fer non héminique est limitée par la présence de polyphénols (Brune *et al.*, 1989). Il est donc conseillé d’associer ces infusions à une source de vitamine C pour optimiser son absorption. Le fer demeure néanmoins crucial pour la synthèse de l’hémoglobine et la prévention de l’anémie (FAO/WHO, 2004 ; Gharibzahedi & Jafari, 2017).

Les concentrations en cuivre (0,83–1,50 mg/kg) sont largement inférieures à celles rapportées par Malik *et al.* (2008) dans les thés verts (36,5 mg/kg) et les tisanes maté (7,98–12,7), mais ne présentent pas de risque toxicologique au regard des apports de référence (1,3–1,6 mg/jour) (EFSA, 2021). Le cuivre contribue notamment à la formation de l’hémoglobine et à l’activité des enzymes antioxydantes (Prasad, 2013).

Enfin, les teneurs en zinc (2,38–4,21 mg/kg) demeurent également inférieures comparées à celles relevées par Soylak *et al.* (2007) dans les thés verts (8,52–14,80mg/kg) et McKenzie *et al.* (2010) dans les thés verts (23mg/kg). Bien que la contribution par tasse reste faible au regard

des recommandations (8–11 mg/jour) (ANSES, 2023), ces infusions peuvent représenter une source complémentaire utile, notamment dans les contextes de carence. Le zinc joue en effet un rôle majeur dans l'immunité et le métabolisme cellulaire (Wardlaw, 2004).

L'analyse chimique des tisanes et thés verts d'*Alchornea cordifolia* a permis de dresser un profil qualitatif des principaux composés bioactifs. Les flavonoïdes, polyphénols, tanins catéchiques et leucoanthocyanes se sont révélés prédominants, tandis que les terpènes, stérols, alcaloïdes et saponosides étaient présents en plus faibles quantités et de manière homogène dans toutes les localités. Cette prédominance des composés phénoliques explique l'usage traditionnel de la plante comme source d'antioxydants naturels et corrobore les travaux de Da *et al.* (2015) et d'Allabi *et al.* (2016), qui avaient également mis en évidence la présence de saponosides dans des tisanes locales.

Les flavonoïdes et polyphénols, connus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et cardioprotectrices (Pandey & Rizvi, 2009 ; Halliwell & Gutteridge, 2015), renforcent le potentiel thérapeutique des infusions. Ils sont également reconnus pour leurs effets antipaludiques (Gillemois, 2004). Les résultats obtenus rejoignent ceux de N'Guessan *et al.* (2009) observé dans les plantes médicinales ivoiriennes, confirmant l'importance de ces composés dans la pharmacopée locale.

Les tanins catéchiques étaient plus abondants que les tanins galliques, reflétant une prédominance des flavan-3-ols dans la plante. Ces derniers sont responsables de l'astringence et présentent des propriétés antiseptiques, antimicrobiennes et antidiarrhéiques (Fodorea *et al.*, 2005), en cohérence avec l'usage traditionnel de la plante dans les affections gastro-intestinales. Les tanins galliques, bien que moins représentés, possèdent des propriétés cicatrisantes (Haslam, 1996), pouvant expliquer l'utilisation post-partum des infusions.

Les leucoanthocyanes et anthocyanes, également abondants, contribuent fortement à l'activité antioxydante et anti-inflammatoire des infusions (Bravo, 1998), et renforcent leur rôle vasculoprotecteur (Morel, 2008). Ainsi, l'association de flavonoïdes, polyphénols, anthocyanes et tanins catéchiques confère aux tisanes et thés verts d'*Alchornea cordifolia* une protection contre le stress oxydatif et les maladies chroniques, tout en soutenant la santé cardiovasculaire et inflammatoire (Middleton *et al.*, 2000 ; Pietta, 2000).

La faible teneur en alcaloïdes, comparée à d'autres plantes médicinales, limite la toxicité potentielle des infusions, tout en apportant de légers effets stimulants ou analgésiques (Okwu & Okwu, 2004 ; Wink, 2015). Cette sécurité d'utilisation contraste avec des espèces riches en alcaloïdes toxiques, comme *Atropa belladonna* (Nikandish & Nikandish, 2024).

Enfin, les terpènes et stérols, bien que faiblement représentés, contribuent aux propriétés aromatiques, antimicrobiennes et anti-inflammatoires des infusions (Dudareva *et al.*, 2006 ; Bakkali *et al.*, 2008 ; Jones & AbuMweis, 2009). Les saponines, responsables d'une légère amertume, participent quant à elles à l'activité antihyperlipidémique et hépatoprotectrice (Shi *et al.*, 2014). Le dosage des polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins a révélé une variabilité notable selon les localités et le type de produit. À l'inverse, les tanins totaux et condensés, présents en faibles concentrations, contribuent à limiter l'astringence et améliorent ainsi l'acceptabilité sensorielle des infusions.

Les polyphénols totaux varient entre $128,33 \pm 1,66$ et $196,66 \pm 1,66$ mg EAG/g. Ces valeurs dépassent celles des thés verts commerciaux rapportées par Djeridane *et al.* (2006) (80–120 mg EAG/g), mais restent inférieures à celles mesurées par Anggraini *et al.* (2021) dans le thé vert ($500,85 \pm 3,89$ mg EAG/100 g). Les différences observées pourraient résulter de facteurs environnementaux (ensoleillement, stress hydrique), de la variabilité génétique ou encore des conditions d'extraction (Pourcel *et al.*, 2007). La tisane de Daloa s'est démarquée par la teneur la plus élevée (196,66 mg EAG/g), tandis que le thé de Séguéla présentait 156,66 mg EAG/g, illustrant l'influence des conditions locales. Ces valeurs concordent avec les observations de Ndife *et al.* (2019), qui avaient déjà rapporté une supériorité des tisanes en composés phénoliques, probablement favorisée par la température et la durée d'infusion (Vuong *et al.*, 2011). Ces polyphénols connus pour leur rôle dans la neutralisation des radicaux libres et la prévention du stress oxydatif (Pérez-Jiménez *et al.*, 2010), expliquent en partie l'utilisation traditionnelle de la plante dans la prévention des inflammations et infections.

Concernant les flavonoïdes, les teneurs enregistrées ($183,33 \pm 1,66$ à $278,33 \pm 1,66$ mg EQ/g) sont inférieures à celles rapportées par Shannon *et al.* (2017) pour *Camellia sinensis* ($367,84 \pm 59,61$ µg QE/g), mais restent particulièrement élevées. Les tisanes de Yamoussoukro et de Daloa se distinguent par leurs concentrations supérieures, alors que le thé vert de Yamoussoukro présente la plus faible concentration. Ces variations pourraient être liées aux conditions agro-écologiques, au stade de maturité foliaire ou aux procédés de séchage (Dai & Mumper, 2010). La richesse en flavonoïdes des tisanes constitue un atout pharmacologique, ces composés sont impliqués dans des effets anti-inflammatoires, cardioprotecteurs et antiviraux (Tapas *et al.*, 2008). Des teneurs supérieures à 200 mg EQ/g, comme celles observées dans nos échantillons, classent *Alchornea cordifolia* parmi les plantes médicinales les plus riches en flavonoïdes (Pietta, 2000). La dominance des flavonoïdes renforce l'intérêt fonctionnel et préventif de la boisson.

Les tanins totaux présentent des valeurs faibles et homogènes ($0,40 \pm 0,00$ à $0,49 \pm 0,00$ mg EAT/g), bien inférieures à celles rapportées par Da (2015) dans la tisane de SAYE ($35,57 \pm 0,54$ µg EAT/mg). Leur faible solubilité dans l'eau chaude ou leur affinité avec les protéines végétales pourrait expliquer ce résultat (Kaur & Kaur, 2014). Bien qu'en faible quantité, ils contribuent aux propriétés antimicrobiennes et astringentes, mais leurs effets antinutritionnels restent limités à ces concentrations (Sieniawska, 2015). Les tanins totaux traduisent un bon compromis entre activité biologique et qualité sensorielle. De même, les tanins condensés oscillent entre 0,01 et 0,04 mg EC/g, avec les valeurs les plus élevées dans les thés verts de Daloa et de Séguéla. Leur faible teneur réduit l'astringence excessive et les effets digestifs indésirables, tout en contribuant positivement au potentiel bioactif global (Frutos *et al.*, 2004). Cela limite l'amertume excessive et améliore la stabilité de l'infusion.

Enfin, la teneur en vitamine C varie de $13,33 \pm 0,83$ mg/100 g (tisane de Daloa) à $18,33 \pm 0,83$ mg/100 g (thés verts de Yamoussoukro et Séguéla). Aucune différence significative n'a été relevée entre les échantillons dans les localités, mais les thés verts affichent une moyenne légèrement supérieure ($18,05$ mg/100 g) à celle des tisanes ($15,00$ mg/100 g), probablement en raison d'un traitement thermique plus court qui limite la dégradation de cette molécule sensible (Davey *et al.*, 2000). Ces teneurs, supérieures à celles rapportées pour d'autres infusions (Ndife *et al.*, 2019), renforcent le rôle de la plante comme source naturelle d'antioxydants. La vitamine C, en plus de son effet piègeur de radicaux libres, favorise l'absorption du fer non hémérique et soutient l'immunité (Carr & Maggini, 2017 ; García-Rodríguez *et al.*, 2017).

Le potentiel antioxydant met en évidence la prédominance de la tisane de Daloa ($21,93$ µM éq. Trolox), un niveau comparable aux standards du thé de *Camellia sinensis* (Cabrera *et al.*, 2006) et supérieur aux valeurs rapportées pour d'autres infusions ouest-africaines (Obloh *et al.*, 2015). Cette performance pourrait s'expliquer par la forte teneur en polyphénols, molécules reconnues pour leur capacité à piéger les radicaux libres et à prévenir le stress oxydatif (Pérez-Jiménez *et al.*, 2008 ; Pandey & Rizvi, 2009). Dans l'ensemble, les thés verts présentent des teneurs en polyphénols proches entre elles, mais légèrement inférieures à celles des tisanes. Cette différence semble être liée à la maturité foliaire et aux procédés de transformation (Obloh *et al.*, 2015). Comme souvent observé dans les extraits végétaux, l'activité des infusions d'*Alchornea cordifolia* est dose-dépendante (Prior *et al.*, 2005). La vitamine C complète l'action antioxydante des composés phénoliques.

L'évaluation par le test DPPH a confirmé une inhibition dose-dépendante des radicaux libres pour tous les extraits provenant de Séguéla, Yamoussoukro et Daloa. La vitamine C ($CI_{50} = 1,28$ mg/mL) a conservé une activité supérieure, servant ainsi de témoin positif. Concernant

les tisanes, la plus forte capacité antioxydante a été observée pour Yamoussoukro (≈ 85 % d'inhibition), suivie de Daloa (83,3 %) et de Séguéla (70 %). Les CI_{50} varient entre 3,14 mg/mL (Yamoussoukro) et 5,51 mg/mL (Séguéla), traduisant une efficacité plus marquée de la tisane de Yamoussoukro. Ces valeurs, bien que supérieures à celles rapportées pour d'autres espèces de tisanes (Zhang *et al.*, 2024), confirment l'influence directe de la concentration en polyphénols et flavonoïdes (Djeridane *et al.*, 2006 ; Ghasemzadeh *et al.*, 2010). L'activité élevée observée pour la tisane de Yamoussoukro pourrait être attribuée à une plus forte concentration en composés phénoliques, tandis que la faible activité de celle de Séguéla traduirait une moindre richesse en antioxydants.

Les thés verts se sont révélés globalement plus actifs que les tisanes. Le thé vert de Séguéla s'est distingué par une inhibition de près de 97 % à 10 mg/mL et une CI_{50} de 2,02 mg/mL, proche de la vitamine C. Les thés de Daloa (≈ 85 %, $CI_{50} = 2,87$ mg/mL) et de Yamoussoukro (≈ 82 %, $CI_{50} = 3,56$ mg/mL) affichent des valeurs légèrement inférieures. Ces performances, meilleures que celles rapportées pour les thés verts et noirs indonésiens (11,32–53,66 ppm ; Anggraini *et al.*, 2021), pourraient s'expliquer par des conditions agroécologiques particulières, favorisant l'accumulation des polyphénols (Hichri *et al.*, 2011 ; Ma *et al.*, 2014). Par ailleurs, les différences de CI_{50} observées entre localités rejoignent les observations d'Olenikov *et al.* (2016), qui soulignent l'influence de l'espèce et des conditions écologiques sur la capacité antioxydante.

La vitamine C a confirmé son puissant potentiel, avec une inhibition supérieure à 95 % dès 2 mg/mL (Mensor *et al.*, 2001 ; Gülçin, 2006). Aucun extrait n'a surpassé ce standard, mais le thé vert de Séguéla s'en rapproche fortement, traduisant une valeur fonctionnelle notable. Globalement, les résultats indiquent que les thés verts présentent une activité antioxydante supérieure à celle des tisanes, corroborant les observations de Cleverdon *et al.* (2018). Le thé vert de Séguéla apparaît comme l'échantillon le plus performant, tandis que la tisane de Yamoussoukro reste la plus active dans sa catégorie. Ces résultats confèrent aux extraits d'*Alchornea cordifolia* un potentiel nutraceutique, cosmétique *et* alimentaire important, notamment dans la prévention du stress oxydatif, du vieillissement cellulaire et des pathologies chroniques liées aux désordres métaboliques (Valko *et al.*, 2007).

Les résultats au niveau de la couleur obtenus révèlent une luminosité (L^*) significativement plus élevée dans les tisanes (48,8 à 52,5), notamment à Séguéla (52,5), comparativement aux thés verts (20,3 à 27,9). Cette observation corrobore les travaux de Ollani *et al.* (2024), qui rapportent une luminosité supérieure dans les échantillons commerciaux de maté du Brésil ($38,78 \pm 2,19$) et d'Italie ($34,51 \pm 1,85$), par rapport aux thés verts ($24,27 \pm 2,42$).

; $22,27 \pm 1,82$; $23,93 \pm 2,73$). Une telle différence traduit une infusion plus claire, généralement liée à une meilleure préservation des pigments naturels, en particulier la chlorophylle et les caroténoïdes, dont la dégradation reste limitée dans les préparations peu transformées comme les tisanes (Kaur & Kapoor, 2001). À l'inverse, les thés verts, soumis à des traitements thermiques, présentent une teinte brun-foncée résultant du brunissement enzymatique (polyphénol oxydase) et du brunissement non enzymatique par réaction de Maillard, conduisant à la formation de pigments bruns tels que les mélanoidines (Obanda *et al.*, 1997 ; Martins *et al.*, 2000). La tisane de Séguéla ($L^*=52,5$) apparaît ainsi comme la plus claire, suggérant une dégradation moindre des pigments, contrairement à celles de Yamoussoukro et Daloa, dont les valeurs de luminosité sont inférieures. Ces variations pourraient être liées à des facteurs environnementaux spécifiques aux localités, tels que la nature du sol, la disponibilité minérale, l'exposition lumineuse et les conditions climatiques, qui influencent directement la biosynthèse et la stabilité des pigments végétaux (Liang *et al.*, 2003 ; Koca *et al.*, 2007).

Concernant le paramètre a^* (axe vert-rouge), la tisane de Séguéla se distingue par une valeur négative (-5,9), traduisant une dominance verte probablement liée à une teneur plus élevée en chlorophylle non dégradée. En revanche, les tisanes de Yamoussoukro (0,8) et de Daloa (2,8) présentent une légère teinte rougeâtre, tandis que les thés verts affichent des valeurs plus marquées dans le rouge (3,0 à 3,8). Ces résultats diffèrent de ceux rapportés par Liang *et al.* (2005), qui ont observé des valeurs négatives (dominance verte) dans les thés verts. Cette variation chromatique pourrait être attribuée à la dégradation de la chlorophylle et à l'oxydation des polyphénols, processus qui conduisent à la formation de pigments rouges et bruns, notamment les théaflavines et les théarubigines (Obanda *et al.*, 1997).

Pour le paramètre b^* (axe bleu-jaune), toutes les valeurs étant positives, une dominance jaune est observée dans l'ensemble des extraits. Cette teinte est plus marquée dans les tisanes (8,1–14), en particulier à Yamoussoukro (14), que dans les thés verts (9,6–12). Cette coloration jaune est généralement liée à la présence de flavones et de flavonols hydrosolubles, mieux préservés dans les infusions peu transformées (Ravichandran, 2002). En revanche, dans les thés verts, l'intensité plus faible du jaune peut s'expliquer par la polymérisation ou la dégradation de ces composés sous l'effet des traitements thermiques (He *et al.*, 2020).

L'analyse du *chroma* (C), indicateur de vivacité ou de saturation de la couleur, révèle que les tisanes de Yamoussoukro (14) et de Séguéla (11,6) présentent des teintes plus éclatantes que les thés verts (10,3 à 12,4), relativement plus ternes. Une saturation élevée traduit une richesse en pigments colorés, tels que les chlorophylles, caroténoïdes et flavonoïdes non oxydés (Ebrahimi *et al.*, 2023). La vivacité de la couleur dans les infusions est généralement interprétée

comme un signe de fraîcheur et de qualité perçue favorable par le consommateur (Pathare *et al.*, 2013).

Enfin, l'angle de teinte (h°) révèle une forte variabilité entre les échantillons. La tisane de Séguéla affiche l'angle le plus élevé ($120,8^\circ$), correspondant à une teinte vert-jaune, tandis que celles de Yamoussoukro ($86,6^\circ$) et Daloa ($70,6^\circ$) tendent vers le jaune-rouge. Les thés verts présentent les teintes les plus faibles ($68,6^\circ$ à Yamoussoukro et $69,7^\circ$ à Daloa), traduisant des nuances rouge-orangé. Ces différences peuvent résulter de la composition botanique, des méthodes de préparation ou des conditions environnementales de culture. Par ailleurs, des valeurs de teinte faibles ($60-70^\circ$) sont souvent corrélées à la présence de théarubigines, pigments bruns formés par l'oxydation des polyphénols (Obanda *et al.*, 2001).

Les données colorimétriques indiquent que les tisanes, préparées à partir de feuilles séchées naturellement et non fermentées, préservent davantage leurs pigments naturels, leur conférant une teinte claire, vive et légèrement verdâtre. En revanche, les thés verts, soumis à un traitement thermique, présentent une coloration plus foncée, terne et rougeâtre, caractéristique des produits oxydés. Ces différences de couleur ont un impact direct sur l'acceptabilité visuelle, un critère sensoriel déterminant pour les préférences des consommateurs.

L'évaluation sensorielle des infusions de thé vert, de tisane et de feuilles mortes d'*Alchornea cordifolia* a mis en évidence des différences significatives d'acceptabilité selon les localités. De manière générale, les infusions à base de feuilles mortes ont obtenu les meilleures appréciations dans toutes les villes, suivies par les thés verts, tandis que les tisanes ont enregistré les notes les plus faibles, bien qu'elles restent globalement acceptables.

Les thés verts ont présenté des scores modérément élevés (6,00 à 7,01), avec une préférence marquée pour l'échantillon de Yamoussoukro (7,01), supérieur à ceux de Séguéla et de Daloa ($\sim 6,0$). Cette appréciation plus favorable pourrait s'expliquer par une intensité aromatique plus équilibrée, une couleur limpide et une moindre astringence, critères déterminants dans la perception de qualité (Chaturvedula & Prakash, 2011 ; Zhang *et al.*, 2020). Les résultats concordent avec les observations de Vangah (1986), qui décrivait les feuilles d'*Alchornea cordifolia* comme légèrement amères, astringentes, mais dotées d'un arôme caractéristique. L'avantage du thé vert de Yamoussoukro pourrait refléter un procédé de transformation mieux adapté à la préservation des composés volatils (Vuong *et al.*, 2011). À l'inverse, les notes légèrement inférieures obtenues par les thés de Séguéla et de Daloa pourraient être liées à une forte teneur en polyphénols non oxydés, notamment en tanins

hydrolysables, connus pour accentuer l'astringence et l'amertume lorsque le temps d'infusion est prolongé (Deng *et al.*, 2022).

Les tisanes, pour leur part, ont été les moins appréciées, avec des notes homogènes comprises entre 5,92 et 6,07. Ces résultats divergent de ceux rapportés par N'Goran *et al.* (2023) sur *Alchornea cordifolia*, probablement en raison des différences de préparation (infusion standardisée à 90 °C/5 min dans notre étude contre décoction traditionnelle dans la leur). L'utilisation de feuilles jeunes et matures pourrait également influencer le profil sensoriel. L'amertume marquée, attribuée aux alcaloïdes, tanins et flavonoïdes (Drewnowski & Gomez-Carneros, 2000), a vraisemblablement contribué à cette acceptabilité plus faible. Ces composés, bien que responsables d'effets bénéfiques sur la santé, sont connus pour réduire l'agrément gustatif lorsqu'aucune saveur compensatrice (douceur, acidité) ne vient équilibrer la perception (Lesschaeve & Noble, 2005 ; Mossion, 2007). Cette tendance rejoint les travaux de Liem *et al.* (2011), qui indiquent que les produits amers obtiennent généralement des scores sensoriels inférieurs, sauf lorsque leurs vertus fonctionnelles sont bien perçues par les consommateurs.

Les infusions préparées à partir de feuilles mortes ont, en revanche, enregistré les meilleures notes sensorielles, allant de 6,65 à Séguéla et 6,79 à Yamoussoukro, jusqu'à 7,10 à Daloa, seuil correspondant à l'appréciation « agréable » (≥ 7). Ce résultat s'explique par un profil plus doux, une astringence atténuée et un arôme végétal mieux conservé, caractéristiques recherchées par les panélistes. Un flétrissage prolongé, équivalent au vieillissement naturel ou au séchage, favorise en effet la réduction de l'astringence et de l'amertume, tout en développant des saveurs plus rondes, traduisant un profil gustatif globalement plus équilibré doux et harmonieux, marqué par une atténuation de l'amertume et une texture en bouche plus agréable (Ntezimana *et al.*, 2021). Ces modifications sensorielles seraient liées à l'hydrolyse des glucosides amers, à la polymérisation des tanins en composés moins astringents et à la volatilisation de certains terpénoïdes responsables de notes amères (Croteau *et al.*, 2000 ; Tomás-Barberán & Espín, 2001 ; Taiz *et al.*, 2015).

Ainsi, la variabilité sensorielle observée entre thés verts, tisanes et feuilles mortes reflète principalement la concentration en polyphénols et flavonoïdes, directement impliqués dans l'amertume, l'astringence et l'expression aromatique (Zhang *et al.*, 2020 ; Deng *et al.*, 2022). Dans l'ensemble, les résultats suggèrent que si les thés verts et les tisanes d'*Alchornea cordifolia* présentent un potentiel fonctionnel intéressant, les infusions à base de feuilles mortes offrent paradoxalement le meilleur compromis sensoriel et pourraient constituer une voie de valorisation pour une consommation plus acceptable.

L'analyse sensorielle s'impose comme un outil central pour caractériser les produits issus d'*Alchornea cordifolia* (thés verts, tisanes et feuilles mortes), permettant d'identifier les attributs dominants de chaque type d'infusion.

Le thé vert présente un profil aromatique intense, dominé par des notes végétales et boisées, accompagnées d'une amertume et d'une astringence marquées. Ces caractéristiques sont principalement attribuées à la richesse en tanins condensés et en polyphénols oxydés (Okwu, 2004), ainsi qu'à la présence de terpènes volatils tels que le β -caryophyllène et le limonène (Burkill, 1994). Les arômes verts et floraux relevés à Séguéla reflètent un séchage contrôlé avec faible oxydation enzymatique (Lee *et al.*, 2013), tandis que l'arôme boisé observé à Daloa traduit probablement une oxydation partielle ou des réactions de Maillard légères. Les échantillons issus de Yamoussoukro se caractérisent par une intensité marquée de l'amertume et de l'astringence (scores > 6), ce qui traduit une forte teneur en polyphénols, en accord avec les observations de Haslam (1996). L'aspect brun et la faible clarté des infusions corroborent cette densité élevée en composés phénoliques oxydés, donnant un profil robuste, parfois jugé excessif par les consommateurs moins habitués.

La tisane présente un profil sensoriel globalement doux et équilibré, avec une teinte vert-jaunâtre claire (score 6), visuellement attrayante. L'arôme végétal modéré et l'arrière-goût légèrement sucré suggèrent la présence de glycosides hydrolysables, comme observé dans certaines plantes africaines (Joubert *et al.*, 2008 ; Soares *et al.*, 2013). L'amertume mesurée à une moyenne de 6,66 reflète une contribution notable des composés phénoliques, principalement les tanins et flavonoïdes, connus pour activer les récepteurs du goût amer (Soares *et al.*, 2013).

Le niveau d'astringence relativement faible traduit une extraction limitée des tanins, liée à des conditions de séchage douces et à une infusion contrôlée, qui préservent les composés volatils et limitent l'oxydation, tout en maintenant un équilibre entre amertume perceptible et douceur. Ces observations concordent avec Müller & Heindl (2006), qui montrent qu'un séchage à basse température conserve les arômes et empêche le développement de notes boisées ou trop prononcées. Ainsi, le profil sensoriel de la tisane combine une amertume perceptible mais contrôlée, une douceur et une rondeur en bouche, ainsi qu'un aspect visuel et olfactif agréable, contribuant à son acceptabilité globale.

Les infusions préparées à partir de feuilles mortes présentent un profil sensoriel particulier, caractérisé par des notes terreuses et humiques, attribuées notamment à la présence de la géosmine et d'autres métabolites d'origine microbienne (Liato & Aïder, 2017). Cette spécificité s'explique par les processus de sénescence, de décomposition et d'humification de

la matière végétale après la chute des feuilles. Au cours de ces transformations, les composés primaires des feuilles, tels que les chlorophylles, les sucres simples et certains composés phénoliques, sont progressivement dégradés et réorganisés en substances organiques plus complexes, notamment les acides humiques et fulviques. Ces substances, issues de la transformation microbienne et chimique de la matière organique végétale, sont reconnues pour conférer des caractéristiques organoleptiques typiquement décrites comme terreuses, boisées ou humides (Piccolo, 2002 ; Lehmann & Kleber, 2015). Bien que la dégradation des polyphénols y soit avancée, une certaine astringence persiste, traduisant la stabilité relative des tanins condensés. La douceur perçue, issue de la libération progressive de sucres simples lors de la lyse cellulaire, vient équilibrer ce profil. Ces observations rejoignent les travaux de Prescott (2010) sur la litière végétale, qui décrivent le rôle des feuilles mortes dans la formation d'humus. Sur le plan géographique, les feuilles mortes de Séguéla expriment davantage d'arômes terreux (score 5,5), celles de Yamoussoukro se distinguent par une astringence élevée (6,78) compensée par une douceur notable (6,07), tandis que celles de Daloa affichent une couleur brune marquée, signe d'une dessiccation avancée ou d'une fermentation naturelle partielle.

Ainsi, chaque type de produit présente un profil sensoriel distinct, étroitement lié aux processus biochimiques de transformation et de dégradation. Alors que le thé vert illustre la puissance aromatique et phénolique, la tisane offre une alternative plus douce et équilibrée, et les feuilles mortes, malgré leur stade avancé de dégradation, surprennent par un compromis original entre terreux, astringence et douceur.

Les profils sensoriels distincts observés entre les tisanes de feuilles mortes, les tisanes et les thés verts d'*Alchornea cordifolia* confirment l'influence déterminante du mode de transformation sur l'expression organoleptique des boissons végétales. Des observations similaires ont été rapportées pour d'autres matrices végétales, où les procédés technologiques modulent simultanément la composition chimique et la perception sensorielle (Lawless & Heymann, 2010).

Les tisanes de feuilles mortes se caractérisent par une dominance des notes brunes et une astringence élevée, associées à une faible complexité aromatique. Ce profil peut être attribué aux processus de sénescence et d'oxydation post-abscission des feuilles, qui favorisent la polymérisation des composés phénoliques et la formation de pigments bruns, tout en entraînant une dégradation progressive des composés volatils aromatiques. Selon Tomás-Barberán & Espín (2001), ces transformations conduisent généralement à une intensification de

l'astringence et à une réduction de la diversité aromatique, ce qui concorde avec les résultats obtenus.

Les tisanes présentent une amertume très prononcée et une astringence élevée, accompagnées d'une faible expression aromatique. Ce comportement sensoriel est caractéristique de matrices soumises à des conditions d'extraction favorisant la solubilisation des polyphénols hydrosolubles, notamment des tanins condensés, largement impliqués dans les sensations amères et astringentes (Haslam, 2007 ; Lesschaeve & Noble, 2005). L'arrière-goût sucré modéré observé pourrait résulter de l'extraction concomitante de composés glucidiques ou de certains acides aminés, sans toutefois compenser l'intensité des sensations négatives dominantes.

À l'inverse, les thés verts se distinguent par un profil sensoriel plus équilibré et plus complexe, marqué par la coexistence d'arômes végétal, boisé et floral, associée à une amertume et une astringence modérée. Cette complexité aromatique suggère une meilleure préservation des composés volatils, généralement favorisée par des procédés de transformation limitant l'oxydation enzymatique. Comme You *et al.* (2025) ont démontré que la température de fixation dans le traitement du thé vert influence significativement la composition des composés volatils aromatiques, car elle permet d'inactiver les enzymes responsables de l'oxydation et de stabiliser les constituants aromatiques précurseurs. L'équilibre observé entre les différentes modalités sensorielles traduit une interaction synergique entre composés phénoliques et composés adoucissants, contribuant à une perception globale plus harmonieuse.

Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que le thé vert d'*Alchornea cordifolia* offre le meilleur compromis entre intensité sensorielle, complexité aromatique et acceptabilité potentielle. Cette observation est en accord avec les travaux de Skąpska *et al.* (2020), qui soulignent que l'acceptabilité des boissons végétales dépend davantage de l'équilibre sensoriel global que de l'intensité maximale d'un attribut isolé. Ainsi, bien que les tisanes de feuilles mortes et les tisanes puissent présenter un intérêt fonctionnel accru, leur profil sensoriel plus extrême pourrait constituer un facteur limitant pour une consommation régulière.

L'analyse factorielle des correspondances (AFC), appuyée par le dendrogramme de classification, a permis de distinguer deux grands regroupements sensoriels. Le premier rassemble les thés et les tisanes, caractérisés par une forte dominance de l'amertume et de l'astringence. Le second correspond aux infusions issues de feuilles mortes, présentant des profils plus doux et équilibrés.

L'approche multivariée, combinant l'analyse en composantes principales (ACP) et la classification hiérarchique ascendante (CHA), couplée aux tests d'acceptabilité, a mis en

évidence des corrélations significatives entre les descripteurs sensoriels et les préférences des consommateurs. L'ACP montre que les échantillons les mieux notés se situent à l'écart des axes associés à l'amertume et à l'astringence, et se rapprochent plutôt des descripteurs positifs tels que « arôme végétal » et « brune ». Cette organisation spatiale confirme que les consommateurs privilégient les profils aromatiques harmonieux plutôt que les sensations trigéminales trop marquées, comme l'avaient déjà souligné Lawless & Heymann (2010) ainsi que Cadena *et al.* (2013).

La CHA confirme cette segmentation en regroupant les échantillons selon leur niveau d'acceptabilité. Les clusters constitués des infusions sensoriellement équilibrées obtiennent les meilleures notes hédoniques, corroborant les conclusions de Stone *et al.* (2020) sur l'importance de l'harmonie sensorielle dans l'acceptabilité des produits. Plus précisément, une astringence modérée combinée à des notes végétales prononcées semble constituer un facteur clé de préférence, résultat en accord avec les observations de Lesschaeve & Noble (2005) sur les boissons d'origine végétale.

Enfin, la convergence entre les résultats analytiques (ACP) et hédoniques (CHA) confirme la robustesse de l'approche méthodologique, conformément aux recommandations de Hair *et al.* (2019). Cette concordance offre un cadre analytique fiable pour l'optimisation des qualités sensorielles des produits à base de feuilles et de fruits d'*Alchornea cordifolia*, en intégrant à la fois l'évaluation instrumentale et les préférences des consommateurs.

2.3. Conclusion partielle

Ce travail visait à caractériser et comparer de manière intégrée les propriétés nutritionnelles, phytochimiques, minérales, antioxydantes et sensorielles des préparations de thé vert et de tisane à base d'*Alchornea cordifolia* provenant de différentes localités de Côte d'Ivoire.

L'ensemble des analyses réalisées sur les thés verts et les tisanes d'*Alchornea cordifolia* met clairement en évidence la richesse biochimique, nutritionnelle et fonctionnelle de la plante, ainsi que l'influence déterminante des procédés de transformation et des localités de collecte. Les caractéristiques physico-chimiques révèlent des échantillons légèrement acides, avec un pH légèrement plus élevé dans les tisanes, traduisant une extraction plus douce des composés organiques acides. Les quantifications des sucres totaux et réducteurs confirment la faible charge glucidique des extraits, sans indication d'hydrolyse significative durant la transformation, ce qui positionne ces produits comme des boissons adaptées à une consommation sans risque glycémique. Les thés verts conservent la plus grande partie des

protéines et des lipides, contrairement aux tisanes où ces constituants sont faiblement extraits. En revanche, les tisanes présentent une teneur plus élevée en cendres et en humidité, illustrant leur meilleure capacité à solubiliser les minéraux. Cette observation est appuyée par les données minérales, qui démontrent une libération nettement plus importante des minéraux dans les tisanes, notamment pour le potassium et le calcium, éléments physiologiquement essentiels. Et des taux particulièrement élevés d'oligo-éléments dans les tisanes de Séguéla, renforçant l'intérêt nutritionnel de la plante pour répondre aux déficiences micro-nutritionnelles courantes chez les populations

Le criblage phytochimique révèle une présence systématique des polyphénols dans l'ensemble des extraits, attestant la richesse métabolique remarquable d'*Alchornea cordifolia*. Les dosages confirment la prédominance des polyphénols et flavonoïdes dans les tisanes, tandis que certains thés présentent des teneurs plus élevées en tanins totaux et vitamine C. L'ensemble de ces composés contribue au potentiel antioxydant global du thé vert et de la tisane lequel se révèle modéré à élever selon les localités. Les valeurs du potentiel antioxydant les concentrations d'inhibition (C_{150}) montrent une activité plus marquée dans les thés que dans les tisanes. Les échantillons de Daloa se distinguent le plus souvent par leur capacité antioxydante supérieure.

Les paramètres colorimétriques confirment l'impact profond des procédés de transformation et des conditions environnementales. Les tisanes se caractérisent par des valeurs L^* (clarté) élevées indiquant une apparence plus claire, avec des teintes variant du vert-jaune au jaune-orangé selon les localités. Les thés présentent quant à eux une coloration nettement plus sombre avec des valeurs de L^* plus faible, conséquence directe des transformations thermo-oxydatives des pigments. Les variations observées dans les paramètres comme a^* , b^* , le chroma (C^*) et l'angle de teinte (h°) reflètent une saturation et une teinte plus marquées dans les thés, tandis que les tisanes conservent des nuances végétales plus proches de l'état normal des feuilles.

Du point de vue sensoriel le test hédonique montre que les tisanes de feuilles mortes sont les mieux appréciées, suivies du thé vert, tandis que les tisanes sont globalement moins appréciées malgré leur grande valeur fonctionnelle. Ce classement suggère que l'acceptabilité sensorielle n'est pas strictement corrélée à la richesse nutritionnelle ou phytochimique, mais dépend en grande partie de la douceur, de la complexité aromatique et du niveau d'amertume (préférence) perçue par les consommateurs.

L'analyse sensorielle apporte une perspective essentielle en reliant la composition chimique à la perception des consommateurs. Les thés verts montrent un profil globalement harmonieux,

dominé par les notes végétales, avec une amertume et une astringence modulée selon les localités. Les tisanes révèlent un profil davantage axé sur l'arôme végétal, une couleur vert-jaunâtre et une amertume prononcée, cohérente avec leur forte teneur en polyphénols. À l'opposé, les tisanes de feuilles mortes se distinguent par leur coloration brune, des notes terreuses plus développées, une douceur perceptible et une complexité aromatique accrue, témoignant de la transformation enzymatique ou oxydative des composés phénoliques au cours du vieillissement naturel des feuilles.

Dans l'ensemble, les résultats démontrent que *Alchornea cordifolia* possède un potentiel considérable pour la formulation de boissons fonctionnelles naturelles. Les thés verts se distinguent par une composition nutritive plus dense et un potentiel antioxydant supérieur, tandis que les tisanes maximisent l'extraction des minéraux et des métabolites phénoliques. Les tisanes de feuilles mortes, quant à elles, allient une bonne acceptabilité sensorielle et une composition biochimique transformée par les processus naturels d'oxydation. L'ensemble confirme que la localité, le stade physiologique des feuilles et le mode de transformation influencent de manière synergique la qualité finale des thés verts et tisanes d'*Alchornea cordifolia*. Ces résultats ouvrent des perspectives prometteuses pour la valorisation d'*Alchornea cordifolia* comme ressource locale à double intérêt nutritionnel et fonctionnel, tout en incitant à poursuivre les recherches sur l'optimisation des procédés de transformation du thé pour maximiser les bénéfices santé ainsi que sur la biodisponibilité des composés physico-chimiques, minérales et poly-phénoliques du produit.

Chapitre 3 : Optimisation du procédé de transformation des feuilles d'*Alchornea cordifolia* en thé vert.

3.1. Résultats

3.1.1. Diagramme de Pareto

Les effets des quatre paramètres étudiés, le temps de flétrissement (heure), la température de flétrissement (°C), le temps de roulage (min) et la température de dessiccation (°C), sur la teneur en eau et en flavonoïde ont été examinés à l'aide de diagrammes de Pareto et d'une loi normale respectivement pour les teneurs en eau (Figure 24) et en flavonoïdes (Figure 25).

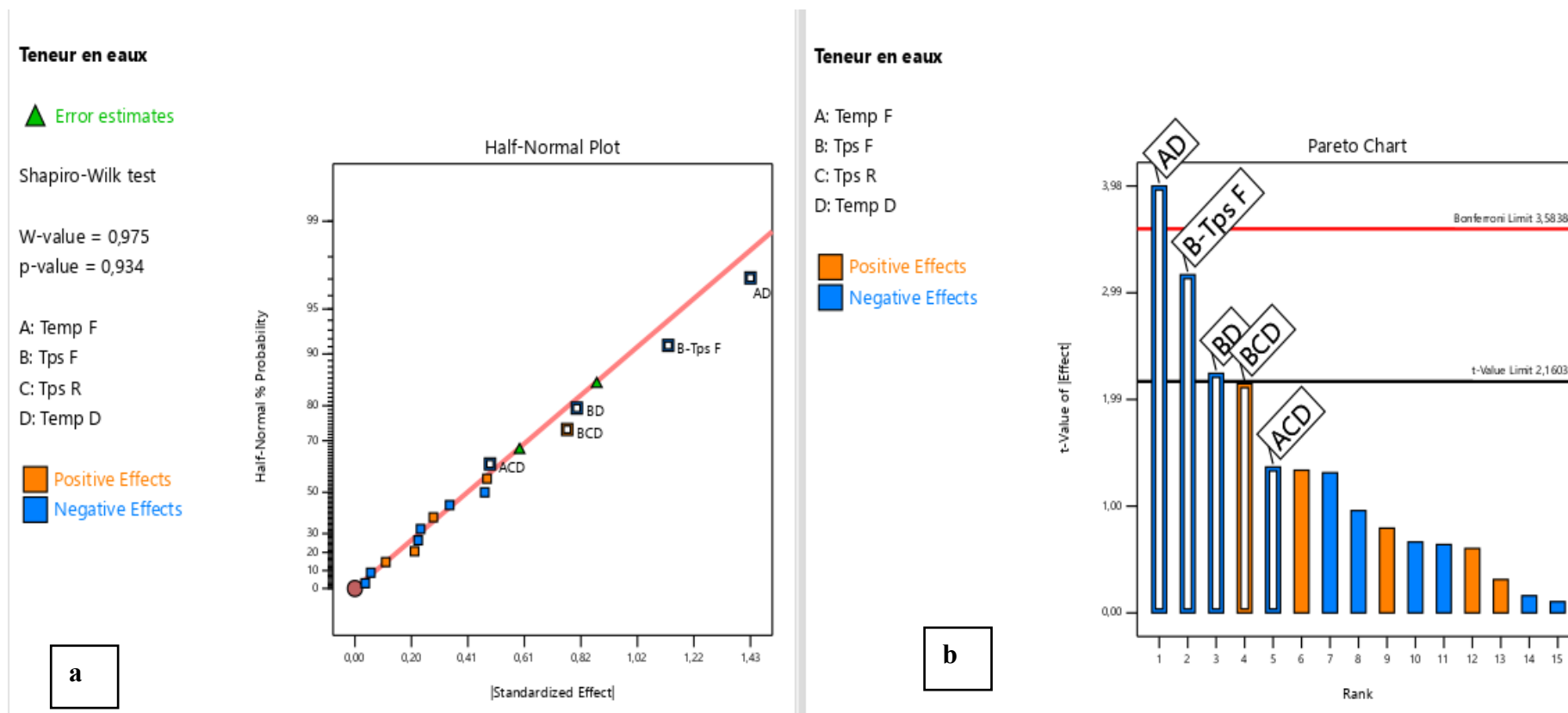


Figure 24: Diagrammes de Pareto standardisés avec inserts pour l'effet des paramètres étudiés sur la teneur en eau.

a : Loi normale ; b : Diagramme de Pareto

teneur en flavonoïdes

▲ Error estimates

Shapiro-Wilk test

W-value = 0,943

p-value = 0,615

A: Temp F

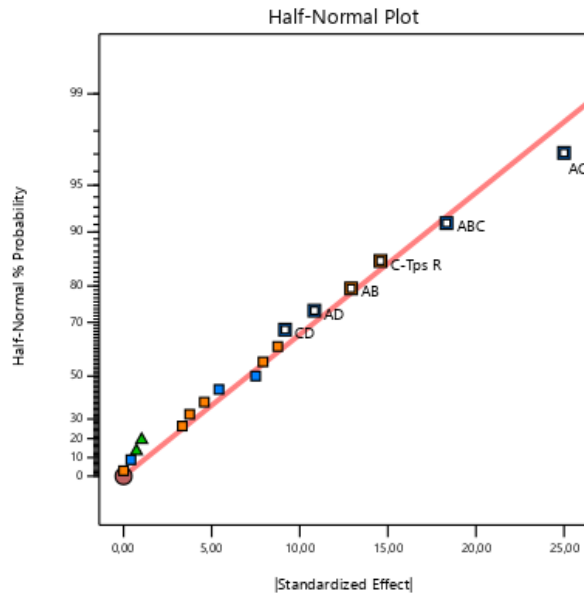
B: Tps F

C: Tps R

D: Temp D

■ Positive Effects
■ Negative Effects

a



teneur en flavonoïdes

A: Temp F

B: Tps F

C: Tps R

D: Temp D

■ Positive Effects
■ Negative Effects

b

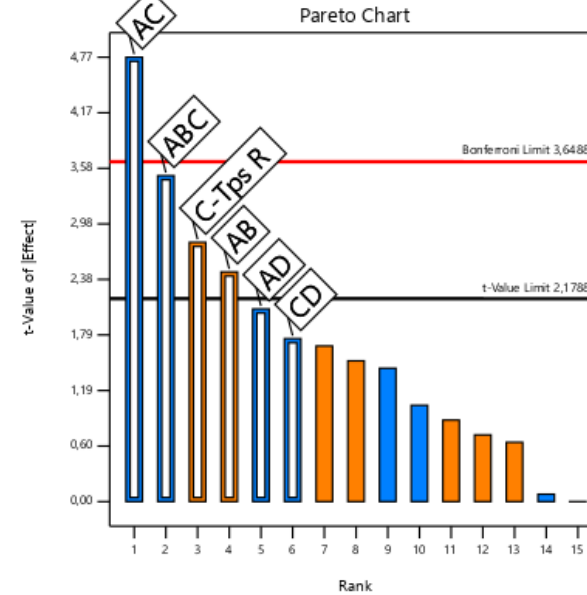


Figure 25: Diagrammes de Pareto et loi normale standardisés avec inserts pour l'effet des paramètres étudiés sur la teneur en flavonoïdes.

a : Loi normale ; b : Diagramme de Pareto

3.1.2. Variance

Les résultats de l'analyse de variance ont révélé que les facteurs B, AD, BD, BCD dans le tableau XXIX et C, AB, AC, ABC du tableau XXX sont significatifs avec une p-value inférieure à 0,05 ($p \leq 0,05$). L'erreur d'ajustement est aussi non-significatif.

Tableau XXIX: Analyse de variance pour le modèle de surfaces de réponse de la teneur en eaux

Source	Sommes des carrés	df	Moyenne des carrés	F-value	p-value	Remarque
Modèle	19,14	5	3,83	8,06	0,0012	Significatif
B-Tps F	5,12	1	5,12	10,77	0,0060	
AD	8,16	1	8,16	17,16	0,0012	
BD	2,57	1	2,57	5,40	0,0369	
ACD	0,9524	1	0,9524	2,00	0,1804	
BCD	2,35	1	2,35	4,94	0,0446	
Résidus	6,18	13	0,4752			
Erreur d'ajustement	3,28	11	0,2978	0,2052	0,9695	Non significatif

df : degré de liberté ; A, B, C et D sont les coefficients associés aux facteurs respectifs X1, X2, X3 et X4. En gras, se trouvent les coefficients significatifs. X1 : Température de flétrissement (°C) ; X2 : Temps de flétrissement (h) ; X3 : Temps de roulage (min) ; X4 : Température de dessiccation (°C) ; B : temps de flétrissement ; AD : interaction température de flétrissement et température de dessiccation ; BD : interaction temps de flétrissement et température de dessiccation ; ACD : interaction température de flétrissement, temps de roulage et température de dessiccation ; BCD : interaction temps de flétrissement, temps de roulage et température de dessiccation

Tableau XXX: Analyse de variance pour le modèle de surfaces de réponse de la teneur en flavonoïdes

Source	Sommes des carrés	des df	Moyenne des carrés	des F-value	p-value	Remarque
Modèle	6168,06	6	1028,01	7,40	0,0017	Significatif
C-Tps R	850,69	1	850,69	6,12	0,0293	
AB	667,36	1	667,36	4,80	0,0489	
AC	2500,00	1	2500,00	17,99	0,0011	
AD	469,44	1	469,44	3,38	0,0909	
CD	336,11	1	336,11	2,42	0,1458	
ABC	1344,44	1	1344,44	9,68	0,0090	
Résidus	1667,32	12	138,94			
Erreur d'ajustement	1543,25	10	154,33	2,49	0,3207	Non significatif

df : degré de liberté ; A, B, C et D sont les coefficients associés aux facteurs respectifs X1, X2, X3 et X4. En gras, se trouvent les coefficients significatifs. X₁ : Température de flétrissement (°C) ; X₂ : Temps de flétrissement (h) ; X₃ : Temps de roulage (min) ; X₄ : Température de dessiccation (°C) ; C : temps de roulage ; AB ; interaction temps de flétrissement et température de flétrissement ; AC : interaction temps de flétrissement et temps de roulage ; AD : interaction température de flétrissement et température de dessiccation ; CD : interaction temps de roulage et température de dessiccation ; ABD : interaction température de flétrissement, temps de flétrissement et température de dessiccation.

3.1.3. Coefficients d'estimation

Le tableau XXXI présente les résultats des valeurs des coefficients et les p-values du modèle analysé pour les réponses. Les coefficients pour la teneur en eau sont +0,56 ; - 0,71 ; - 0,40 ; et + 0,38 associés respectivement aux facteurs B, AD, BD et BCD et ceux de la teneur en flavonoïdes + 7,29 ; + 6,45 ; - 12,5 ; - 9,16 respectivement aux facteurs C, AB, AC et ABC sont significatifs avec les p inférieur à 0,05. Les signes positifs (+)

Tableau XXXI: Coefficients du modèle postulé et effets des facteurs sur la teneur en eau et flavonoïdes du thé

	Intercept	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ACD	BCD
Teneur en eau	6,956		-0,566					-0,714		-0,401			-0,244	0,383
p-values			0,006					0,001		0,037			0,180	0,045
Teneur en flavonoïdes	254,211			7,292		6,458	-12,5	-5,417			-4,583	-9,166		
p-values				0,029		0,049	0,001	0,091			0,146	0,009		

A, B, C et D sont les coefficients associés aux facteurs respectifs X₁, X₂, X₃ et X₄. En gras, se trouvent les coefficients significatifs. X₁ : Température de flétrissement (°C) ; X₂ : Temps de flétrissement (h) ; X₃ : Temps de roulage (min) ; X₄ : Température de dessiccation (°C)

p-value shading: $p < 0,05$ $0,05 \leq p \leq 0,1$ $p \geq 0,1$

Dès lors l'équation du modèle pour minimiser la teneur en eau s'écrit :

$$Y_{\text{(humidité)}} = 6,96 - 0,56 X_2 - 0,71 X_1 X_4 - 0,40 X_2 X_4 + 0,38 X_2 X_3 X_4$$

Pour minimiser l'humidité, il est optimal d'augmenter le temps de flétrissement et la température, tout en modérant le temps de roulage. L'interaction triple montre qu'un roulage trop long peut inverser les effets bénéfiques du flétrissement.

L'équation du modèle pour maximiser la teneur en flavonoïde s'écrit :

$$Y_{\text{(flavonoïdes)}} = 254,21 + 7,29 X_3 + 6,45 X_1 X_2 - 12,5 X_1 X_3 - 9,16 X_1 X_2 X_3$$

Pour maximiser les flavonoïdes, il est optimal d'augmenter le temps de roulage et de combiner une température élevée avec un temps de flétrissement prolongé. Cependant, il faut éviter de pousser simultanément la température et le roulage trop loin, car leurs interactions négatives réduisent la teneur en flavonoïdes.

Avec X_1 : Température de flétrissement

X_2 : Temps de flétrissement

X_3 : Temps de roulage

X_4 : Température de flétrissement

$Y_{\text{(humidité)}}$: Teneur en eau

$Y_{\text{(flavonoïdes)}}$: Teneur en flavonoïde

3.1.4. Normalité des résidus

La normalité des résidus du modèle a été vérifiée (Figures 26 et 27). Les résidus sont très proches de la droite théorique montrant leur distribution selon la loi normale. En outre, leur représentation en fonction des valeurs prédites a été faite. A l'analyse, aucune structure précise n'apparaît et la répartition des points semble être au hasard. Un coefficient de détermination R^2 de l'ordre de 0,7560 soit 75,60 % supérieur à 75 % pour la teneur en eau et pour la teneur en flavonoïde un R^2 de l'ordre de 0,7872 soit 78,72 % supérieur à 75 % e (Tableau XXXII).

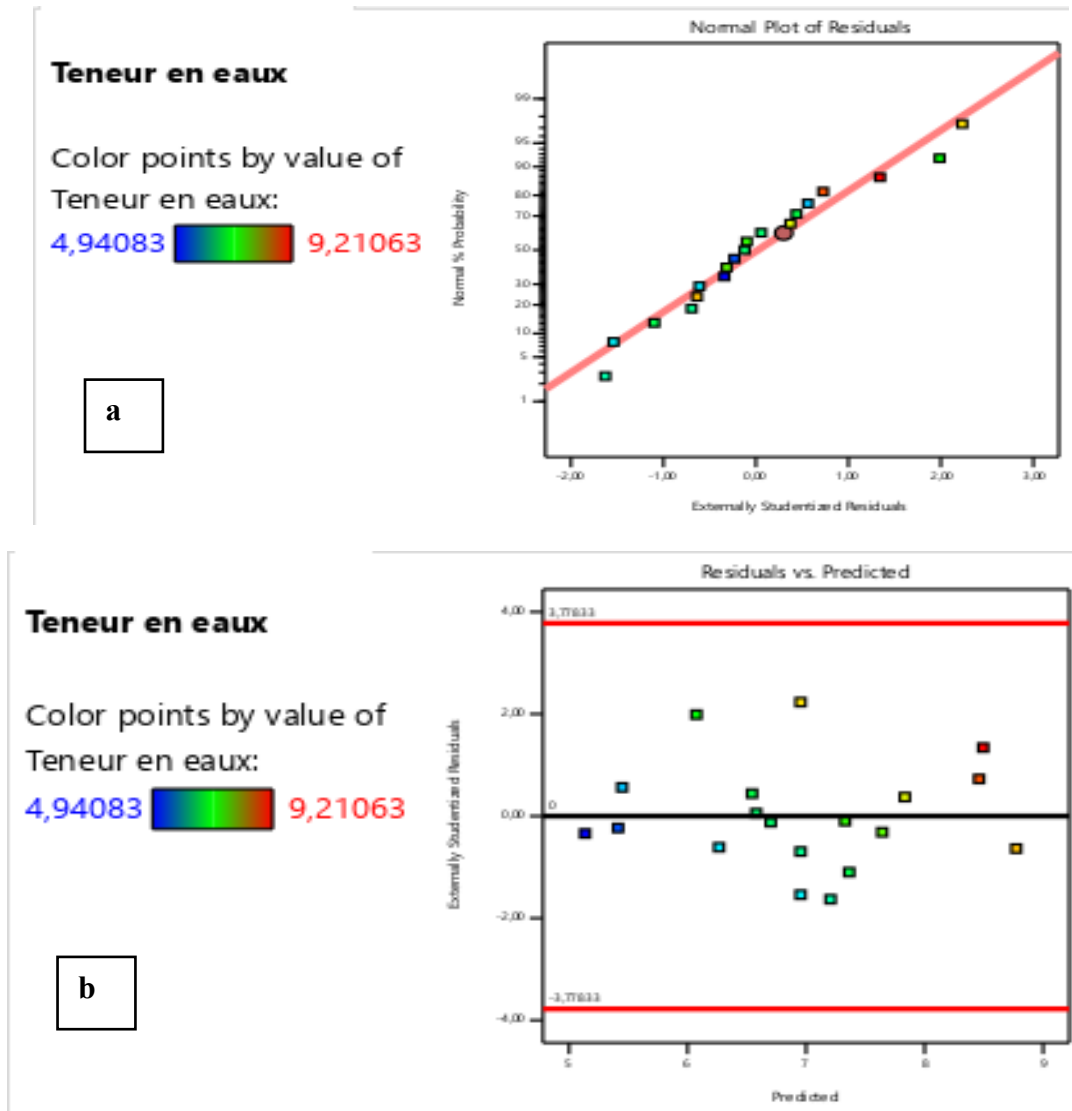


Figure 26: Normalité des résidus et représentation des résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle pour la teneur en eau

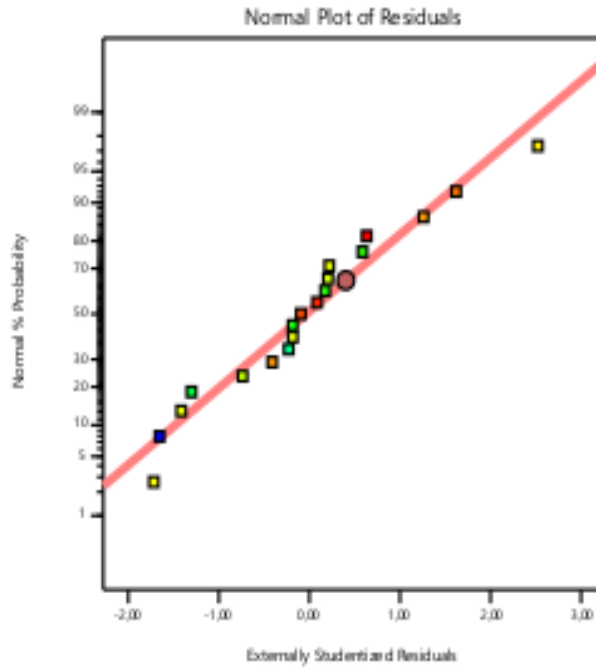
a : Normalité des résidus ; b : Valeurs résiduels et prédites

teneur en flavonoïdes

Color points by value of teneur en flavonoïdes:

195  281,667

a



teneur en flavonoïdes

Color points by value of teneur en flavonoïdes:

195  281,667

b

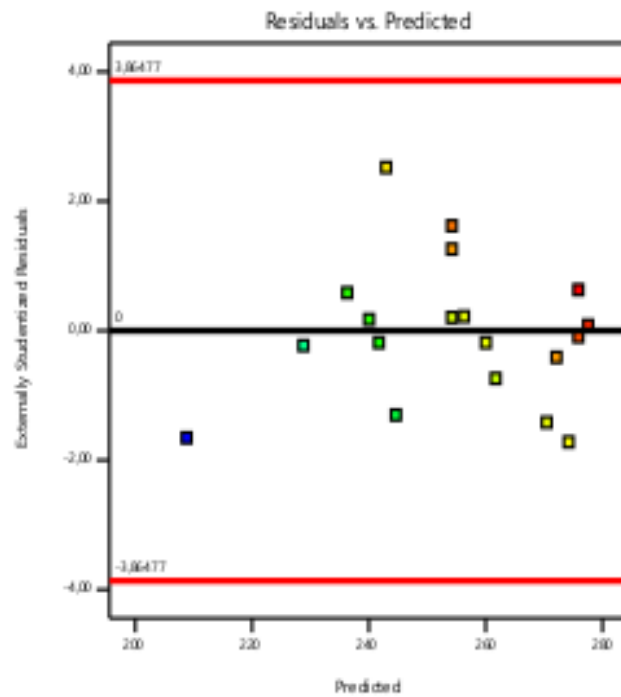


Figure 27: Normalité des résidus et représentation des résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle pour la teneur en flavonoïdes

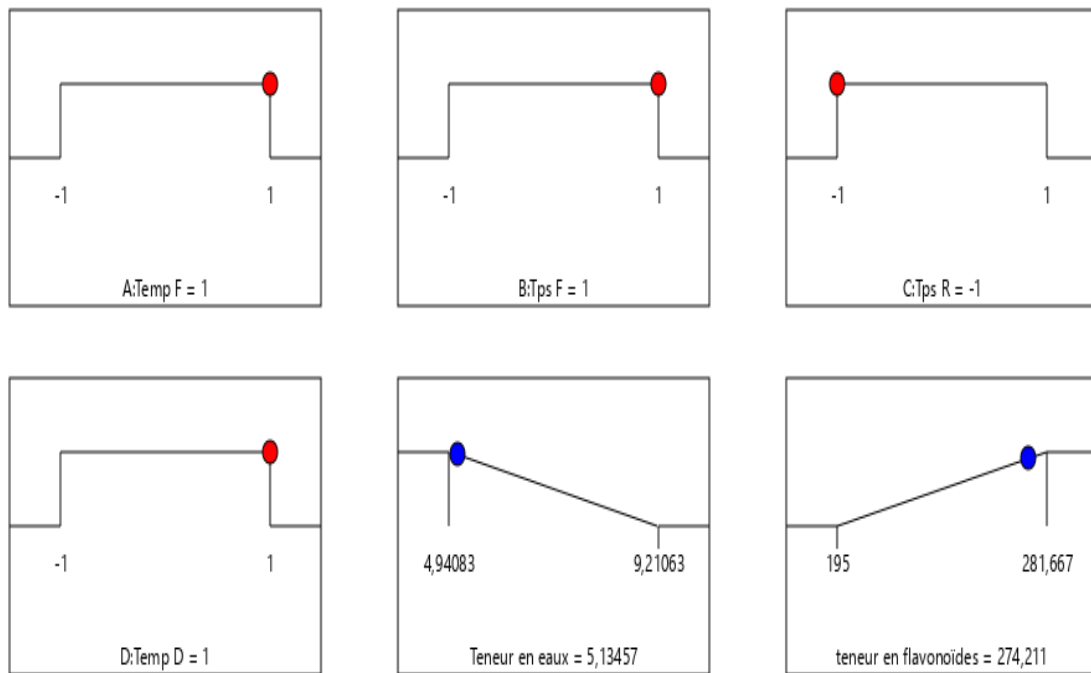
a : Normalité des résidus ; b : Valeurs résiduels et prédites

Tableau XXXII: Statistiques d'ajustement

Teneur en eau	R^2	0,7560
	R^2 prédit	0,5517
Teneur en flavonoïdes	R^2	0,7872
	R^2 prédit	0,6808

3.1.5. Optimisation numérique

Les résultats obtenus sur la Figure 28 montrent les réponses prédites par le modèle dans les conditions optimales en valeurs codées qui sont +1 ; +1 ; -1 et +1 correspondant respectivement aux valeurs réelles de 38 °C (température de flétrissement) ; 13h (temps de flétrissement) ; 25min (temps de roulage) et 94 °C (température de dessiccation). Dans ces conditions, le modèle prédit une teneur en eau résiduelle de 5,13 % et une teneur en flavonoïdes de 274,21 mg EQ/g MS, avec un taux de désirabilité globale de 0,934.



Desirability = 0,934
Solution 1 out of 100

Figure 28: Résultats optimaux du modèle

3.1.6. Validation du modèle par un test de contrôle

L'efficacité du modèle statistique établi pour prédire la teneur en eau et la teneur en flavonoïdes du thé d'*Alchornea cordifolia* a été évaluée à travers une série d'essais expérimentaux, dont les résultats sont présentés dans les Tableaux XXXIII et XXXIV. Les tests ont été réalisés dans les conditions optimales identifiées (38 °C pour la température de flétrissement, 13 heures de flétrissement, 25 minutes de roulage, et 94 °C de dessiccation). Les résultats montrent un taux de déviation de 9,79 % pour la teneur en eau et de 5,07 % pour la teneur en flavonoïdes inférieur à 10 %. Le modèle mathématique établi est donc validé dans le domaine expérimental défini.

Tableau XXXIII: Valeur expérimentale et prédite des réponses pour la teneur en eau dans les conditions optimales

Essais	Valeurs réelles				Teneur en eau prédite (%)	Teneur en eau expérimentale (%)	Taux de déviation (%)
	X1	X2	X3	X4			
1	38 °C	13h	25min	94 °C	5,13	4,70	
2	38 °C	13h	25min	94 °C	5,13	4,44	9,79
3	38 °C	13h	25min	94 °C	5,13	4,90	
Moyenne						4,68	

X1 : température de flétrissement ; X2 : temps de flétrissement ; X3 : temps de roulage ; X4 : température de dessiccation

Tableau XXXIV: Valeur expérimentale et prédite des réponses pour la teneur en flavonoïdes dans les conditions optimales

Essais	Valeurs réelles				Teneur en flavonoïde prédite (mg EQ/g)	Teneur en flavonoïde expérimentale (mg EQ/q)	Taux de déviation (%)
	X1	X2	X3	X4			
1	38 °C	13h	25min	94 °C	274,21	260,1	
2	38 °C	13h	25min	94 °C	274,21	273,03	
3	38 °C	13h	25min	94 °C	274,21	253,09	5,07
Moyenne						261,16	

X1 : température de flétrissement ; X2 : temps de flétrissement ; X3 : temps de roulage ; X4 : température de dessiccation

3.1.7. Compositions physico-chimiques du thé vert optimisé

La figure 29 présente les paramètres physico-chimiques du thé vert optimisé. Les résultats indiquent que la teneur en protéines est la plus élevée, atteignant 6,94 %. À l'inverse, les concentrations en sucres réducteurs (0,10 %) et en sucres totaux (0,37 %) sont particulièrement faibles. Les teneurs en lipides (3,59 %), en humidité (4,84 %) et en cendres (4,39 %) présentent des valeurs relativement proches. Enfin, le pH mesuré (4,00) indique un caractère légèrement acide.

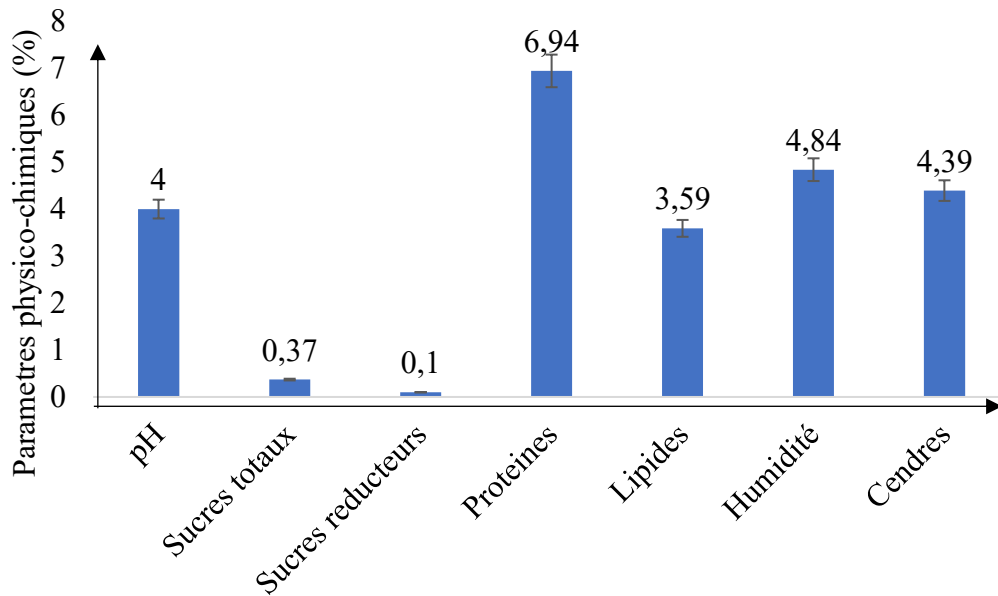


Figure 29: Compositions physico-chimiques du thé vert optimisé

3.1.8. Compositions minérales

L'analyse minérale du thé vert optimisé met en évidence une composition équilibrée en macro- et oligo-éléments. Parmi les macro-éléments, le potassium se distingue comme le minéral majoritaire, avec une concentration élevée de 1107,154 mg/kg. La teneur en calcium (269,902 mg/kg) et en magnésium (149,706 mg/kg) est également notable. En revanche, la concentration en sodium reste faible (30,248 mg/kg), tandis que le phosphore est présent à des niveaux très bas (0,031 mg/kg). Concernant les oligo-éléments, le thé vert contient 5,535 mg/kg de fer. Les concentrations en zinc (3,232 mg/kg) et en cuivre (1,743 mg/kg) sont modérées (Figures 30 et 31).

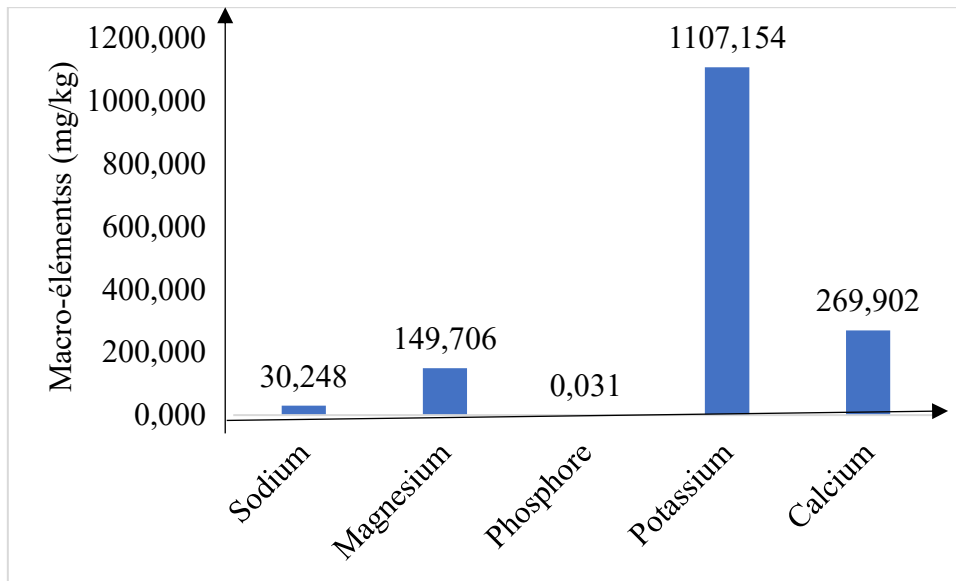


Figure 30: compositions en macro-éléments du thé vert optimisé

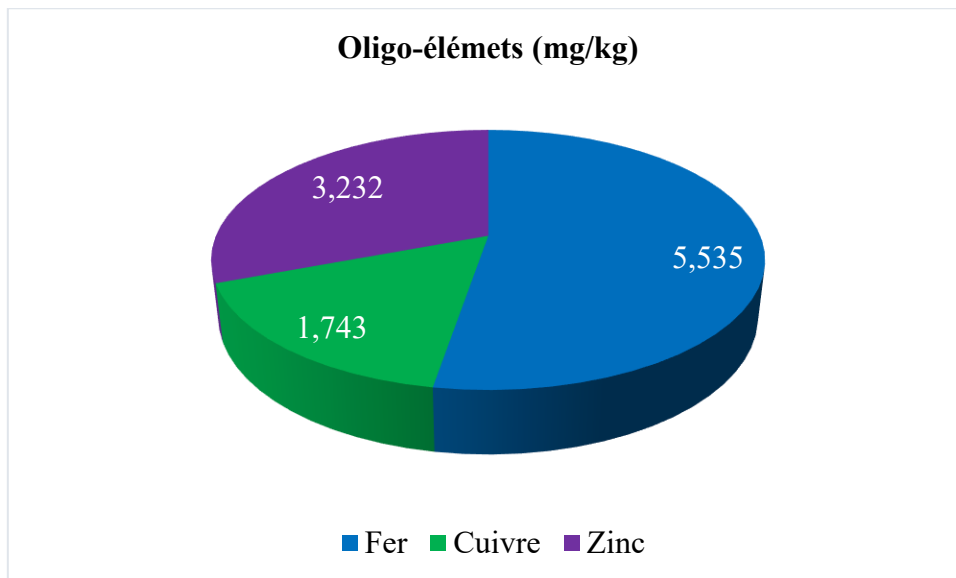


Figure 31: Compositions en oligo-éléments du thé vert optimisé

3.1.9. Compositions phytochimiques

➤ Teneur en composés phénoliques

L'analyse des principaux composés bioactifs du thé vert optimisé révèle une prédominance des flavonoïdes totaux, avec une concentration élevée de 260 mg EQ/g, suivie des polyphénols totaux à 145 mg EAG/g. En revanche, les tanins totaux (0,390 mg EAT/g) et les tanins condensés (0,004 mg EC/g) sont présents à des concentrations très faibles par rapport

aux flavonoïdes et polyphénols. La vitamine C est présente à raison de 19,167 mg/100g (Figures 32 et 33).

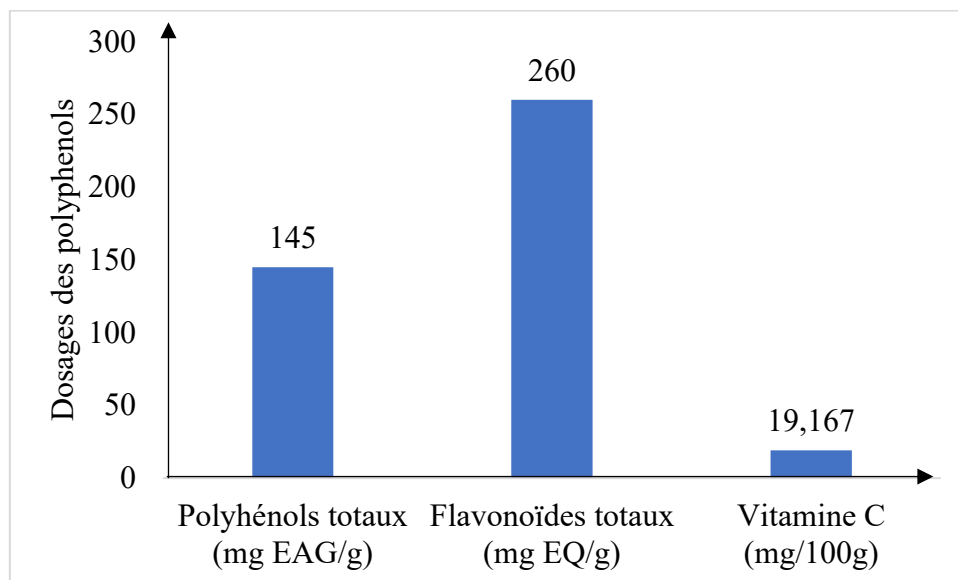


Figure 32: Teneurs en polyphénols du thé vert optimisé

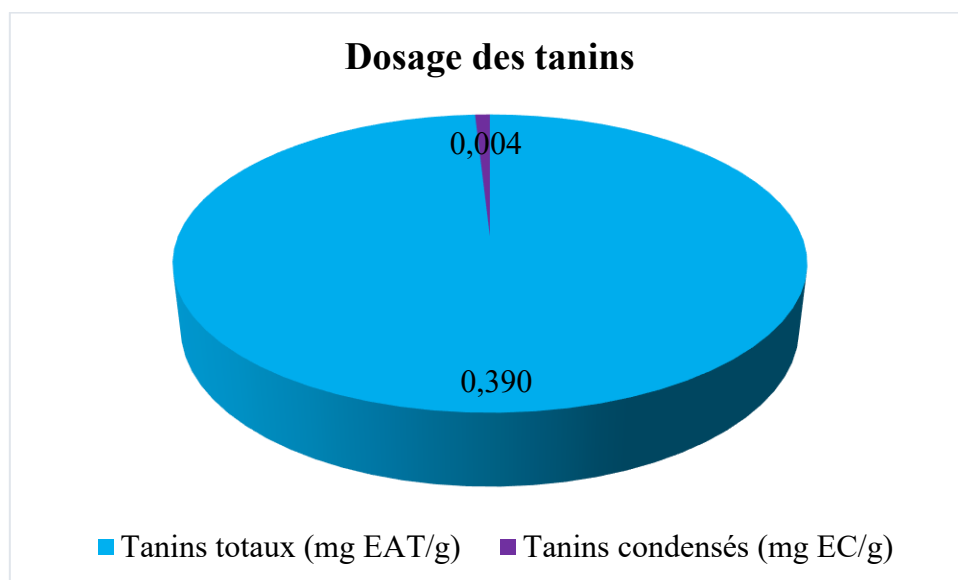


Figure 33: Teneurs en tanins du thé vert optimisé

3.1.10. Activité antioxydante

➤ Potentiel antioxydant et pourcentage d'inhibition au DPPH

L'activité antioxydante de l'extrait de thé vert optimisé a été évaluée à 21,29 μM équivalent Trolox (Figure 34).

L'analyse des courbes d'inhibition radicalaire révèle des différences marquées entre la vitamine C et l'extrait de thé vert. Pour la vitamine C, l'activité antioxydante augmente rapidement avec la concentration, passant d'environ 65 % à plus de 90 % d'inhibition entre 1,5 et 2,5 mg/mL, pour atteindre un plateau maximal d'environ 97,5 % à partir de 3,5 mg/mL (Figure 35). En revanche, l'extrait de thé vert présente une augmentation plus lente et progressive de son activité antioxydante. L'inhibition des radicaux libres croît de manière quasi linéaire sur une large plage de concentrations, atteignant un maximum d'environ 66 % à la concentration la plus élevée testée (10 mg/mL).

Les valeurs de CI_{50} , dérivées des courbes de dosage et présentées à la figure 36, confirment cette différence de puissance antioxydante. La vitamine C possède une CI_{50} de 1,28 mg/mL, tandis que l'extrait de thé vert affiche une CI_{50} de 2,72 mg/mL, soit environ deux fois plus élevée. Cette valeur indique que, bien que le thé vert présente un potentiel antioxydant notable, il est moins puissant que la vitamine C à faible concentration.

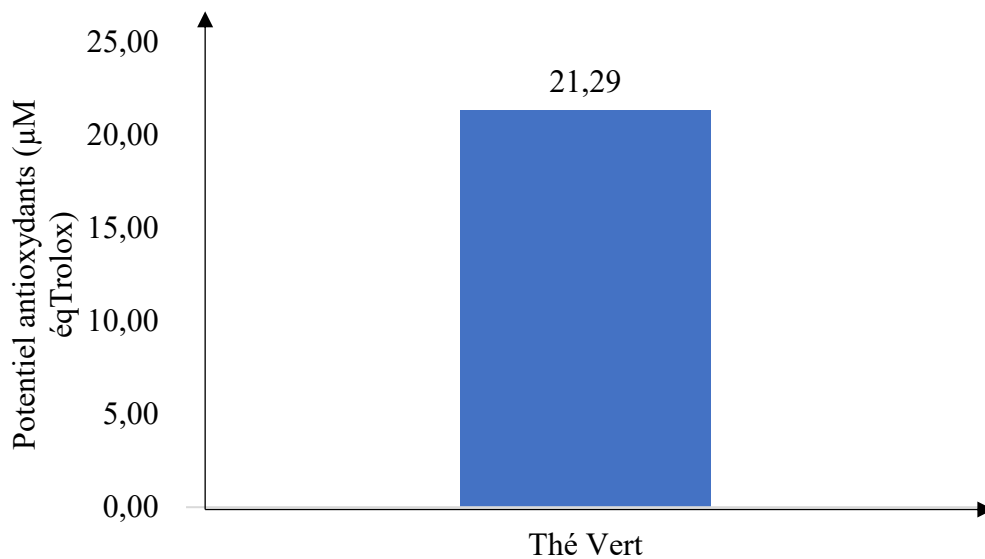


Figure 34: Potentiel antioxydant du thé vert optimisé

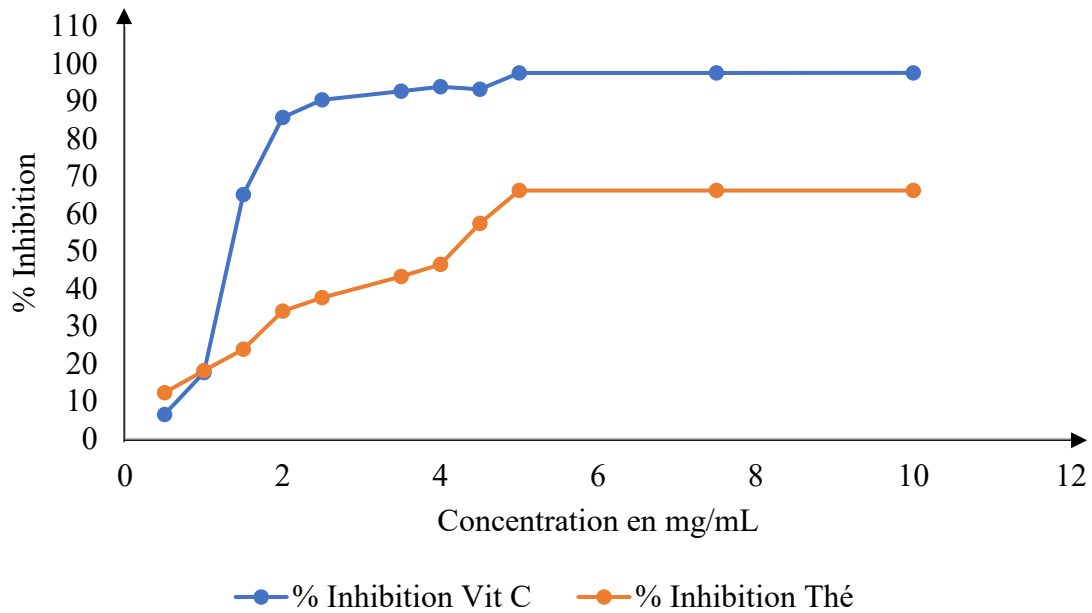


Figure 35: Evolution du pourcentage d’inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration de la vitamine C et du thé vert optimisé

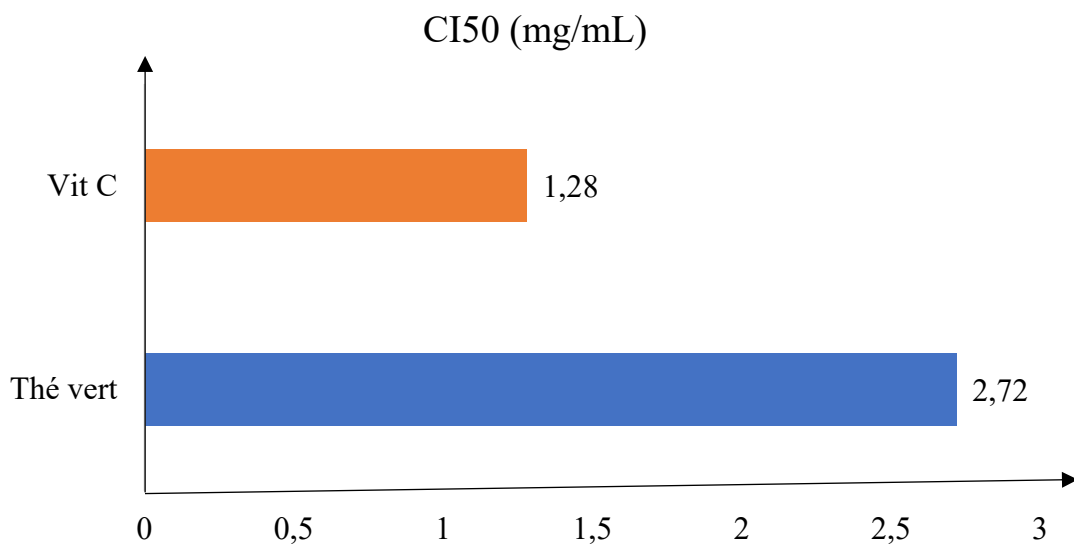


Figure 36: Diagramme des CI₅₀ de la vitamine C et du thé vert optimisé

3.1.11. Couleur

Les paramètres colorimétriques de l'échantillon de thé vert optimisé, mesurés dans l'espace CIE L*a*b, révèlent que la valeur de luminosité L* s'établit à 40,8, indiquant une teinte globalement sombre. La composante a* présente une valeur positive de 1,4, traduisant une légère teinte rouge. La composante b* atteint une valeur positive de 13,6, manifestant une intensité jaune particulièrement marquée. Le chroma (C* = 13,7) confirme une saturation

colorimétrique modérée, tandis que l'angle de teinte h° ($84,3^\circ$) situe la couleur dans le registre jaune-vert, très proche de l'axe des jaunes (Figure 37).

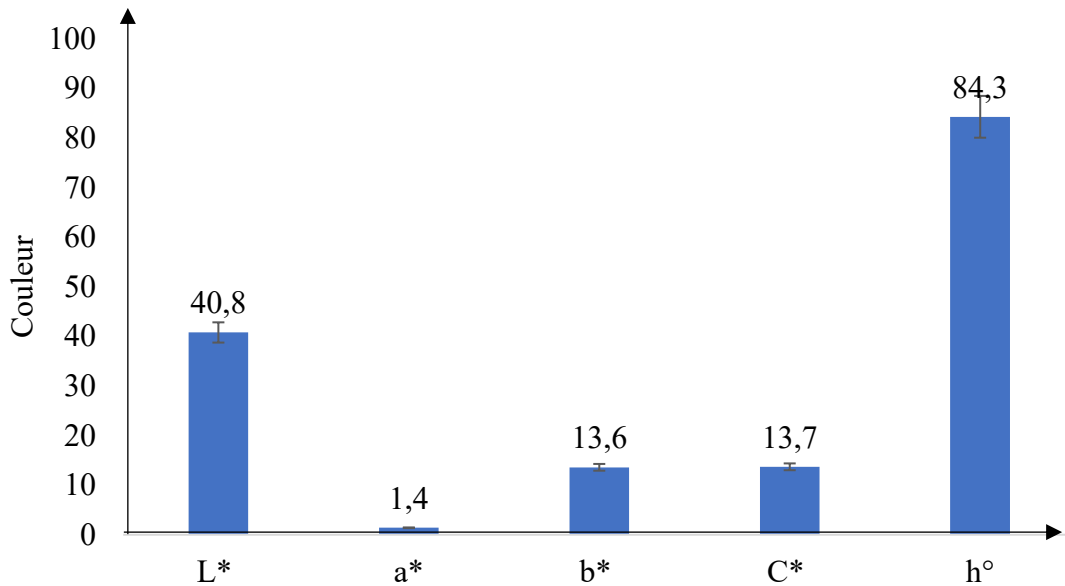


Figure 37: Couleur thé vert optimisé

3.2. Discussion

L'optimisation du procédé technologique de transformation du thé d'*Alchornea cordifolia* avait pour objectif d'améliorer simultanément deux paramètres clés de qualité à savoir la teneur en eau résiduelle, essentielle pour la stabilité du produit, et la teneur en flavonoïdes, indicatrice de son potentiel antioxydant et fonctionnel. L'approche adoptée s'est appuyée sur une modélisation statistique par plans d'expériences, associée à une optimisation multi-réponse à l'aide de la fonction de désirabilité.

Les modèles mathématiques obtenus ont mis en évidence l'influence significative de plusieurs paramètres de traitement, notamment la température et le temps de flétrissement (X_1 et X_2), le temps de roulage (X_3) et la température de dessiccation (X_4).

Pour la teneur en eau, le modèle suivant a été établi :

$$Y_{(\text{humidité})} = 6,96 - 0,56 X_2 - 0,71 X_1 X_4 - 0,40 X_2 X_4 + 0,38 X_2 X_3 X_4$$

Ce modèle montre que l'humidité finale diminue avec un flétrissement prolongé et des températures élevées, confirmant que la maîtrise du temps et de la chaleur est cruciale pour obtenir un produit stable (Sharma & Dutta, 2018).

Pour la teneur en flavonoïdes, le modèle est :

$$Y_{(\text{flavonoïdes})} = 254,21 + 7,29 X_3 + 6,45 X_1 X_2 - 12,5 X_1 X_3 - 9,16 X_1 X_2 X_3$$

Il révèle qu'un roulage modéré (X3) et un flétrissement adéquat (X1X2) favorisent la libération des flavonoïdes, tandis qu'une combinaison de chaleur excessive et de roulage prolongé (X1X3) entraîne leur dégradation (Carloni *et al.*, 2013).

La désirabilité globale obtenue ($D = 0,934$) indique une excellente compatibilité entre les deux objectifs qui sont la réduction de l'humidité et la maximisation des flavonoïdes. Selon Derringer & Suich (1980), un indice de désirabilité supérieur à 0,9 reflète une solution optimale robuste et fiable, ce qui confère une pertinence pratique aux conditions technologiques identifiées.

Les conditions opératoires optimales identifiées qui sont le flétrissage à 38 °C pendant 13 heures, le roulage à 25 minutes et la dessiccation à 94 °C ont permis d'obtenir une humidité résiduelle faible (4,68 %) et une teneur élevée en flavonoïdes (261,16 mg EQ/g). L'humidité prédite est inférieure au seuil critique de 7–8 % recommandé pour la stabilité microbiologique (Codex Alimentarius, 2005) et se situe dans la plage optimale de 3–5 % pour limiter les réactions de dégradation non enzymatiques, telles que la réaction de Maillard, qui deviennent cinétiquement lentes dans cette zone d'humidité (Labuza & Hyman, 1998). La valeur élevée de flavonoïdes dépasse celle de nombreux thés verts de *Camellia sinensis* (150–250 mg EQ/g), confirmant le potentiel antioxydant de l'*Alchornea cordifolia* (Carloni *et al.*, 2013). Les taux de déviation pour l'humidité (9,79 %) et les flavonoïdes (5,07 %) restent inférieurs au seuil critique de 10 %. La précision des méthodes analytiques est généralement évaluée à l'aide du coefficient de variation relatif (%RSD). Conformément aux lignes directrices de l'AOAC International, des valeurs de RSD inférieures à 10 % sont considérées comme acceptables pour des méthodes quantitatives, garantissant ainsi la fiabilité des résultats, leur reproductibilité et leur aptitude à une standardisation analytique et industrielle (AOAC International, 2016).

L'analyse biochimique du thé vert optimisé révèle un profil nutritionnel et fonctionnel très intéressant. La faible teneur en sucres totaux (0,37 %) et en sucres réducteurs (0,10 %) confirme que le thé vert constitue une boisson peu calorique, en accord avec les observations sur les thés verts de *Lippia multiflora*, dont les sucres varient entre 1,43 % et 4,51 % (Ekissi *et al.*, 2017).

La concentration en protéines (6,94 %) est relativement élevée comparée aux valeurs rapportées par Muhammad *et al.* (2013) sur certaines feuilles de thé commercialisées (0,87–1,14 %). Cette richesse protéique confère un intérêt nutritionnel et fonctionnel significatif, contribuant à la qualité organoleptique et aux propriétés antioxydantes du produit.

La teneur en lipides (3,59 %) est modérée, comparable aux résidus de thé vert d'autres études qui sont environ 5 % (Zhang *et al.*, 2015). Les lipides participent à la libération des arômes et apportent une valeur énergétique supplémentaire à l'infusion.

Le taux d'humidité (4,84 %) est modéré, similaire à celui observé dans la poudre de thé vert (2,8–3,17 %) obtenu par Topuz *et al.* (2014), et inférieur au seuil critique de 10 % recommandé pour les produits secs (FAO, 2013), garantissant ainsi une bonne stabilité et une conservation optimale.

Enfin, le taux de cendres (4,39 %) reflète une richesse en matières minérales, en accord avec les valeurs rapportées pour le thé vert (3,3–7,5 %) commercial ou frais (Muhammad *et al.*, 2013 ; Topuz *et al.*, 2014). Cette teneur indique la présence d'éléments minéraux essentiels, contribuant au profil nutritionnel global du thé vert optimisé.

L'analyse minérale du thé vert étudié révèle une prédominance nette du potassium (1107,15 mg/kg), ce qui est conforme aux observations de Liang *et al.* (2006) et Malik *et al.* (2008), qui ont rapporté des concentrations élevées de potassium dans les feuilles de thé vert, généralement comprises entre 900 et 1200 mg/kg. Le potassium joue un rôle essentiel dans l'équilibre électrolytique, la régulation de la pression artérielle et le fonctionnement cellulaire.

Le calcium (269,90 mg/kg) et le magnésium (149,71 mg/kg) présentent des valeurs modérées. Ces valeurs sont proches de celles rapportées par Malik *et al.* (2008), qui ont observé pour le calcium des concentrations comprises entre 250 et 300 mg/kg et pour le magnésium entre 140 et 160 mg/kg. Ces minéraux sont essentiels pour la santé osseuse, la contraction musculaire et l'activité enzymatique (Marschner, 2012).

Le sodium (30,25 mg/kg) est relativement faible, produisant un rapport K/Na élevé, avantageux pour la prévention des maladies cardiovasculaires. Ces résultats confirment que le thé contient généralement de faibles concentrations en sodium, comme le soulignent White & Broadley (2003), ce qui contribue à ses effets potentiellement protecteurs sur le système cardiovasculaire et renforce son intérêt nutritionnel.

En revanche, la teneur en phosphore (0,031 mg/kg) est très faible, nettement inférieure à celle observée par Malik *et al.* (2008), suggérant soit une faible accumulation naturelle de ce minéral dans les feuilles, soit une perte durant le processus de séchage et de transformation.

Concernant les oligo-éléments, le fer (5,54 mg/kg), le zinc (3,23 mg/kg) et le cuivre (1,74 mg/kg) apparaissent en quantités modérées, comparables aux valeurs rapportées par Cabrera *et al.* (2006) pour différents thés verts, où le fer varie entre 4 et 6 mg/kg, le zinc entre 2 et 4 mg/kg et le cuivre autour de 1,5–2 mg/kg. Ces oligo-éléments contribuent respectivement à l'hématopoïèse, au système immunitaire et aux défenses antioxydantes.

Les résultats obtenus pour les composés bioactifs indiquent que le thé vert étudié est particulièrement riche en polyphénols totaux, avec une concentration de 145 mg EAG/g, valeur qui s'inscrit dans la fourchette rapportée pour les thés verts commerciaux et frais (100–180 mg EAG/g) (Musial *et al.*, 2020). Ces composés représentent les principaux antioxydants naturels du thé et contribuent de manière significative à la prévention du stress oxydatif.

Les flavonoïdes totaux sont la fraction la plus abondante, avec 260 mg EQ/g, une teneur supérieure à celle observée dans plusieurs autres infusions (100–200 mg EQ/g) (Cai *et al.*, 2004). Les flavonoïdes sont reconnus pour leurs effets antioxydants, anti-inflammatoires et cardioprotecteurs, ce qui renforce l'intérêt fonctionnel du thé vert étudié.

En revanche, les tanins totaux (0,390 mg EAT/g) et les tanins condensés (0,004 mg EC/g) sont présents en faibles quantités. Cette faible teneur limite l'astringence et l'amertume, contribuant ainsi à une meilleure acceptabilité sensorielle de la boisson (Liang *et al.*, 2006).

Enfin, la vitamine C est présente à un niveau modéré mais notable (19,167 mg/100 g), ce qui participe au potentiel antioxydant global du thé vert. Elle peut agir en synergie avec les polyphénols pour renforcer l'effet protecteur contre les radicaux libres et le stress oxydatif (Davey *et al.*, 2000).

La capacité antioxydante du thé vert étudié est principalement attribuée à sa richesse en polyphénols, flavonoïdes et tanins, en particulier les catéchines telles que l'épigallocatechine gallate (EGCG) (Cabreria *et al.*, 2006 ; Khan & Mukhtar, 2018). Ces composés jouent un rôle majeur dans le piégeage des espèces réactives de l'oxygène, contribuant à réduire le stress oxydatif. La valeur mesurée dans cette étude, 21,29 μ M éqTrolox, se situe dans la fourchette rapportée pour d'autres thés verts (15–35 μ M équivalent Trolox), confirmant la bonne capacité antioxydante de cette boisson (Prior *et al.*, 2005 ; Musial *et al.*, 2020). Bien que l'efficacité antioxydante du thé vert soit inférieure à celle d'antioxydants purs comme la vitamine C, une consommation régulière, sous forme de boisson fonctionnelle, pourrait contribuer à protéger les cellules contre le vieillissement et les pathologies chroniques liées à l'oxydation (Scalbert *et al.*, 2005).

Concernant les paramètres colorimétriques, la luminosité (L^*) de 40,8 indique une couleur intermédiaire et visuellement attrayante, conforme aux valeurs généralement observées pour les thés verts (35–45) obtenue par Liang *et al.* (2005). La coordonnée a^* (1,4) est légèrement positive, suggérant une teinte rougeâtre due à l'oxydation partielle des pigments chlorophylliens, comme observé dans les analyses colorimétriques de thés verts par Wang *et al.* (2022).

La coordonnée b^* (13,6) est nettement positive, confirmant une couleur jaune-vert typique des thés verts, reflet de la présence dominante de pigments jaunes et jaunes-verts (Jin *et al.*, 2016). Le chroma (C^*) de 13,7 indique une couleur vive et saturée, caractéristique des thés verts de qualité, tandis que l'angle de teinte (h°) de $84,3^\circ$ correspond à une teinte jaune-vert, proche au profil des thés verts rapportés par Jin *et al.*, (2016) qui ont obtenu $C^*=8.64$ – 14.56 et $h^\circ=90.42$ – 95.97 .

3.3. Conclusion partielle

Ce travail démontre l'efficacité d'une approche intégrée associant la méthodologie des plans d'expériences et l'optimisation multi-réponse pour maîtriser simultanément la stabilité et la qualité fonctionnelle du thé d'*Alchornea cordifolia*. L'optimisation ne repose pas sur la maximisation isolée d'un paramètre, mais sur la recherche d'un équilibre global entre les différentes étapes du procédé, tenant compte des interactions entre les facteurs technologiques. Les modèles prédictifs développés, bien que présentant des capacités prédictives distinctes selon les réponses étudiées, ont permis d'identifier des conditions opératoires optimales à savoir un flétrissage à 38°C pendant 13 h, un roulage de 25 min et une température de dessiccation à 94°C garantissant un compromis optimal entre une teneur en eau résiduelle réduite (4,68 %) et une préservation élevée des flavonoïdes (261,16 mg EQ/g). Ces résultats montrent qu'un excès d'un facteur technologique peut neutraliser les effets bénéfiques des autres, soulignant ainsi l'importance d'une optimisation simultanée et raisonnée des paramètres de transformation. La validation expérimentale réalisée dans ces conditions optimales a confirmé la robustesse du modèle, avec des écarts acceptables entre les valeurs prédites et les valeurs expérimentales, attestant de la fiabilité de l'approche et de sa pertinence en conditions réelles de production.

Sur le plan physico-chimique, minéral, bioactif, colorimétrique et antioxydant, les résultats ont montré que le thé vert d'*Alchornea cordifolia* est pauvre en sucres mais riche en protéines, polyphénols, flavonoïdes et minéraux essentiels tels que le potassium, le calcium et le magnésium. Sa couleur jaune-vert vive, sa faible teneur en tanins et sa capacité antioxydante significative confèrent à cette boisson un profil nutritionnel et fonctionnel favorable, soulignant son potentiel en tant que boisson fonctionnelle contribuant à la prévention du stress oxydatif et au maintien de la santé.

Cette étude fournit ainsi un procédé optimisé, standardisé et reproductible, permettant la production d'un thé à haute valeur ajoutée répondant aux normes internationales de qualité et de stabilité. Elle met en évidence l'intérêt stratégique de l'optimisation multi-réponse comme outil d'aide à la décision technologique, ouvre la voie à la valorisation industrielle des

ressources phytosanitaires africaines et constitue une référence méthodologique pour l'optimisation des procédés de transformation d'autres plantes médicinales.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude avait pour objectif d'évaluer de manière intégrée la composition biochimique, phytochimique, minérale, antioxydante, sensorielle et technologique des feuilles (jeunes, matures et mortes) et des fruits d'*Alchornea cordifolia*, ainsi que de leurs produits transformés sous forme de thé vert et de tisane, issus de différentes localités de Côte d'Ivoire. Les résultats obtenus mettent en évidence le potentiel nutritionnel et fonctionnel remarquable de cette plante, tout en soulignant l'influence déterminante du stade physiologique des organes, de la localité de collecte et des procédés de transformation sur la qualité finale des produits.

Sur le plan biochimique, les feuilles jeunes et matures se distinguent par des teneurs élevées en protéines et en fibres, associées à une faible charge glucidique, ce qui leur confère un intérêt nutritionnel certain, notamment pour l'élaboration de boissons fonctionnelles à faible impact glycémique. Les fruits, quant à eux, présentent une richesse énergétique liée à leur teneur en glucides, mais un intérêt fonctionnel plus limité. Les feuilles mortes se caractérisent par une forte matière sèche et une teneur élevée en cendres et fibres, traduisant une bonne aptitude à la conservation, mais des niveaux plus faibles en nutriments et composés bioactifs, malgré leur large usage dans les pratiques traditionnelles. Leur utilisation majoritaire par les populations locales s'explique davantage par leur accessibilité, leur disponibilité que par une supériorité nutritionnelle.

L'étude minérale révèle qu'*Alchornea cordifolia* constitue une source intéressante de macro-éléments et d'oligo-éléments essentiels, notamment le potassium, le calcium, le magnésium, le fer et le zinc. Les feuilles jeunes et matures, en particulier celles provenant de Séguéla et de Daloa, présentent les profils minéraux les plus favorables. La transformation en tisane favorise une extraction plus importante de ces minéraux, tandis que le thé vert conserve un profil minéral plus équilibré et stable.

Sur le plan phytochimique, la présence systématique de polyphénols, flavonoïdes et tanins dans l'ensemble des extraits témoigne de la richesse métabolique d'*Alchornea cordifolia*. Les feuilles jeunes et matures présentent les teneurs les plus élevées en composés phénoliques, traduisant un fort potentiel antioxydant. La transformation en tisane permet une extraction plus intense de ces composés, tandis que le thé vert assure une meilleure préservation de l'équilibre entre polyphénols, tanins et vitamine C. Les essais antioxydants confirment que, malgré des teneurs parfois plus élevées en composés phénoliques dans les tisanes, les thés verts présentent globalement une activité antioxydante plus marquée, soulignant que l'efficacité biologique dépend de la nature et de l'interaction des composés plutôt que de leur quantité seule.

L'évaluation sensorielle met en évidence une bonne acceptabilité globale des produits, avec une préférence marquée pour les tisanes de feuilles mortes et le thé vert, tandis que les

tisanes sont légèrement moins appréciées en raison de leur amertume et de leurs astringences plus prononcées. Ces résultats confirment que l'acceptabilité sensorielle n'est pas directement corrélée à la richesse nutritionnelle ou phytochimique, mais repose sur un équilibre entre composition chimique, couleur, arôme et perception gustative.

L'approche d'optimisation multi-réponses appliquée au procédé de transformation du thé vert a permis d'identifier des conditions technologiques optimales conciliant la réduction de l'humidité résiduelle et la maximisation de la teneur en flavonoïdes. La validation expérimentale de ces conditions, associée à une désirabilité globale élevée, démontre la robustesse et la pertinence de la modélisation. Le thé vert optimisé se distingue ainsi comme le produit offrant le meilleur compromis entre qualité nutritionnelle, potentiel fonctionnel, stabilité technologique et acceptabilité sensorielle.

Dans l'ensemble, cette étude démontre que les feuilles jeunes et surtout matures d'*Alchornea cordifolia* représentent les matrices les plus favorables à la formulation de boissons fonctionnelles. La transformation en thé vert, en particulier sous conditions optimisées, constitue la voie de valorisation la plus pertinente, tandis que la tisane et les tisanes de feuilles mortes offrent des alternatives complémentaires répondant à des usages nutritionnels et culturels spécifiques.

Les résultats obtenus ouvrent plusieurs perspectives scientifiques et appliquées :

- Etude des propriétés biologiques (antimicrobiennes) du thé vert et de la tisane
- Optimisation sensorielle des tisanes
- Standardisation et industrialisation du thé vert et de la tisane
- Extension méthodologique à d'autres plantes médicinales (analyses multi-paramètres et optimisation multi-réponses)

Il est recommandé de :

- Encourager la valorisation des feuilles jeunes et matures, actuellement sous-exploitées, à travers des programmes de sensibilisation et de formation des communautés locales, contribuant ainsi à la sécurité nutritionnelle et au développement durable.

REFERENCES

- A.O.A.C. (Association of Official Agricultural Chemists). (1984). Official method of analysis (11 Edition). Washington, D.C,51-52 p.
- A.O.A.C. (Association of Official Agricultural Chemists). (1990). Official Methods of Analysis. 15th Edition., Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, Etats-Unis: 200-210.
- A.O.A.C. (Association of Official Agricultural Chemists). (1995). Association of Official Analytical Chemists Official Methods of Analysis. 17th Edition Virginia, USA, 1141 p.
- A.O.A.C. (Association of Official Agricultural Chemists). (1999). Official Method of Analysis (S. Williams, Ed) 15th edition. Association of official analytical chemists, Virginia, 217p.
- A.O.A.C. (Association of Official Analytical). (2005). *Official Methods of Analysis* Chemists (18th edition). Gaithersburg, Maryland (États-Unis): 2000 p.
- AOAC International. (2016). Appendix F : Guidelines for standard method performance requirements. In *Official methods of analysis of AOAC International* (20th ed.). Rockville, MD : AOAC International 1-18
- Aaqil M., Peng C., Kamal A., Nawaz T., Zhang F. & Gong J. (2023). Tea harvesting and processing techniques and their effect on phytochemical profile and final quality of black tea: A review. *Foods*, 12(24): 1-22.
- Abbiw D. K. (1990). Useful plants of Ghana: West African uses of wild and cultivated plants. *Intermediate Technology Publications & The Royal Botanic Gardens*, Kew, 337p.
- Adeleye I. A., Omadime M. E. & Daniels F. V. (2008). Antimicrobial activity of essential oil and extracts of *Alchornea cordifolia* (Schum and Thonn.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae). *Phytotherapy Research*, 22(1): 43–46.
- Adjanohoun E. & Aké Assi L. (1967). Inventaire floristique des forêts claires subsoudanaises et soudanaises en Côte d'Ivoire septentrionale. Université d'Abidjan, Annales de la Faculté des Sciences, 3 :89-148.
- Adjanohoun E.J. & Aké Assi L. (1968). Essai de création de savanes incluses en Côte d'Ivoire forestière, Université d'Abidjan. *Annales de la Faculté des Sciences*, 4 : 237-256
- Adjanohoun E.J. & Ake-Assi L. (1979). Contribution au recensement des plantes médicinales en Côte d'Ivoire. Edition CRESS, Abidjan, 358 p.
- Adjanohoun E.J., Aké Assi L., Florel J. J., Koumare M., Ahyi A. M. R. & Raynal J. (1985). Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques du Mali, ACCT, 4e édition, 249p.
- Adjanohoun E. J. (1994). Fiche espèce : *Alchornea cordifolia*. *Bulletin de Médecine Traditionnelle et de Pharmacopée*, 8(2) : 203-213.

- Adjoumani Y. J. (2021). Activation acide des argiles de Dabou et Katiola (Côte d'Ivoire) pour le traitement des eaux usées : élimination dihydrogénophosphate des ions ($H_2PO_4^-$), nitrate (NO_3^-) et cadmium (Cd^{2+}). Thèse de doctorat, EDP, Génie des Procédés, INPHB-Yamoussoukro (Côte d'Ivoire) :215 p.
- AFNOR (Association Française de Normalisation) (1992). Analyse sensorielle- vocabulaire. AFNOR. Paris (France), 22 p.
- Afolayan A. J. & Sunmonu, T. O. (2010). In vivo studies on antidiabetic plants used in South African herbal medicine. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 47(2): 98–106.
- Afuape A. O., Afolayan A. J. & Buwa-Komoreng L. V. (2022). Proximate, vitamins, minerals and anti-nutritive constituents of the leaf and stem of *Helichrysum odoratissimum* (L.) sweet: a folk medicinal plant in South Africa. *International Journal of Plant Biology*, 13(4): 463-472.
- Agaba A. G., Eze C. J., Udeh, E. N. & Nnamani, C. V. (2024). Toxicological evaluation of *Alchornea cordifolia* leaf extract in Wistar rats. *Journal of Medicinal Plants Research*, 18(3): 45–55.
- Agbe S. A. O. & Oguntimein B. (1987). Anti-Trypanocidal activity of *Alchornea cordifolia*. *Phytotherapy research*, 1: 151-153
- Agbor G. A. & Odetola A. A. (2005). "Effect of *Parquetina nigrescens* on erythrocyte indices and serum electrolytes of rats following acute blood loss. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8(4) :527-531.
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). (2023). *Recommandations nutritionnelles pour la population ivoirienne*. ANSES, France, 104 p.
- Ahmed I., Zaidi S. S. H. & Khan Z. A. (1989). Determination of major, minor and trace elements in tea, tea liquor, instant coffee and cocoa samples. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research (Pakistan)*, 32(8): 513-515
- Ahmed S., Unachukwu U. J., Stepp J. R., Peters C. M., Long C. & Kennelly E. J. (2013). Pu-erh tea tasting in Yunnan, China: correlation of drinkers' perceptions to phytochemistry. *Journal of Ethnopharmacology*, 150(2): 619-626.
- Ajali U. (2000). Antibacterial activity of *Alchornea cordifolia* stem bark. *Fitoterapia*, 71(4) : 436-438.
- Aké Assi L., 1990. Utilisation de diverses espèces de *Ficus* L. (Moraceae) dans la pharmacopée traditionnelle africaine en Côte d'Ivoire. Compte-rendus de la 12^e réunion plénière de

- l'AETFAT, Hambourg, 4-10 septembre 1988. *Mitteilungen aus dem Institut für Allgemeine Botanik in Hamburg*, 23b: 1039-1046.
- Akpabio U. D. & Ikpe E. E. (2013). Proximate composition and nutrient analysis of *Aneilema aequinoctiale* leaves. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 3(2) :55-61
- Alasalvar C., Grigor J. M., Zhang D., Quantick P. C. & Shahidi F. (2001). Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(3): 1410-1416.
- Alipoor B. & Rad A. H. (2012). A review on the therapeutical effects of tea. *Asian Journal of Clinical Nutrition*, 4(1) : 1-15.
- Allabi A. C., Adoukpe F., Vigan J., Gbegbe M., Topanou A., Amoussa A. M., Lagnika L. & Fayomi B. (2016). Composition botanique et chimique des tisanes vendues au bord des principales artères de la ville de cotonou. *Journal de la Société de Biologie Clinique du Bénin*, 025 : 27-35.
- Allassane, K., Djeneb, C. K., Cyrille, K. K., & Innocent, D. K. (2021). Effect of an aqueous extract of *Alchornea cordifolia* leaves on sperm parameters and reproductive function of male Wistar rats. *European Scientific Journal*, 17(17): 236–247.
- Ambé, G. A. (2001). Les fruits sauvages comestibles des savanes guinéennes de Côte-d'Ivoire : état de la connaissance par une population locale, les Malinké. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 5 : 43-58.
- Amsterdam J. D., Li Y., Soeller I., Rockwell K., Mao J. J. & Shults J. (2009). A randomized, double-blind, placebo-controlled trial of oral *Matricaria recutita* (chamomile) extract therapy for generalized anxiety disorder. *Journal of clinical psychopharmacology*, 29(4): 378-382.
- Anggraini T., Nanda R. F. & Syukri D. (2021). Effect of processing on green and black tea DPPH radical scavenging activity, IC50 value, total polyphenols, catechin and epigallocatechin gallate content. In *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Phuket, Thailand, 18–21 October 2021; IOP Publishing: Bristol, UK, 2021; 709(1): 1-7.
- Anihouvi V. (2012). Influence du mode de cuisson sur la valeur nutritionnelle de *Solanum macrocarpum*, *Amaranthus hybridus* et *Ocimum gratissimum*, trois légumes-feuilles traditionnels acclimatés au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 : 1926-1937.
- Anonyme 1. (2017). Les étapes de la fabrication du thé. Au paradis du thé. <https://www.auparadisduthe.com/blog/les-etapes-de-la-fabrication-du-the/>

- Arbonnier M. (2002). Arbres, arbustes et lianes des localités sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD – MNHN (Muséum national d'histoire naturelle), 573 p.
- Arbonnier M. (2004). Arbres, arbustes et lianes des localités sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement), 556 p.
- Assogbadjo A. E., Kakaï R. G., Vodouhê F. G., Djagoun C. A. M. S., Codjia J. T. C. & Sinsin B. (2012). Biodiversité et facteurs socio-économiques soutenant le choix des agriculteurs en matière d'arbres sauvages comestibles dans les systèmes agroforestiers du Bénin (Afrique de l'Ouest). *Forest Policy and Economics*, 14 (1) : 41-49.
- Atawodi S. E. (2005). Antioxidant potential of African medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, 4(2) : 128-133.
- Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA). (2015). Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). *Scientific opinion on dietary reference values for magnesium. EFSA Journal*, 13(7): 63 pp.
- Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA). (2021). Scientific opinion on dietary reference values for copper and zinc. *EFSA Journal*, 19(3): 1-134.
- Awoyinka O. A., Balogun I. O. & Ogunnowo A. A. (2007). Phytochemical screening and in vitro bioactivity of *Cnidoscolus aconitifolius* (Euphorbiaceae). *Journal of Medicinal Plants Research*, 1(3): 63–65.
- Ayisi N. K., Appiah-Opong R., Gyan B., Bugyei K. & Ekuban F. (2011). Plasmodium falciparum: Assessment of Selectivity of Action of Chloroquine, *Alchornea cordifolia*, Ficus polita, and Other Drugs by a Tetrazolium-Based Colorimetric Assay. *Malaria research and treatment*, (1): 1-7.
- Ayodelé S. O., Olorunto O.B. & Agbede J. O. (2016). Effet de l'inclusion de farine des feuilles d'*Alchornea cordifolia* et la supplémentation enzymatique sur les performances et la digestibilité des lapins. *World Rabbit science*, 24(3) : 201-206.
- Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D. & Idaomar M. (2008). Biological effects of essential oils. A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2): 446–475.
- Balogun J. A. (2022). Évolutions récentes de la pratique de la médecine traditionnelle au Nigéria. Le système de santé nigérian : vers des soins de santé universels et de haute qualité. *Springer International Publishing*. Cham, Suisse, 235-275.
- Barthelemy J. (1990). Evaluation d'une grandeur sensorielle complexe description quantitative. In *Evaluation sensorielle: Manuel méthodologique*. SSHA. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, France : 145-162.

- Bas D. & Boyaci I. H. (2007). Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(3): 836-845.
- Basgel S. & Erdemoglu S. B. (2006). Determination of mineral and trace elements in some medicinal herbs and their infusions consumed in Turkey. *Science Total Environ* 359 :82-89.
- Becker H., Scher J. M., Speakman J. B. & Zapp J. (2005). Bioactivity guided isolation of antimicrobial compounds from *Lythrum salicaria*. *Fitoterapia*, 76(6): 580-584.
- Bernfeld, P. (1951). Enzymes of starch degradation and synthesis. *Advances in enzymology and related areas of molecular biology*, 12: 379-428.
- Borel P., Grolier P., Mekki N., Boirie Y., Rochette Y., Le Roy B., Alexandre-Gouabau M. C., Lairon D., Azais-Braesco V. & Armand M. (2005). Low and high responders to pharmacological doses of β -carotene: Proportion in the population, mechanisms involved and consequences on β -carotene metabolism. *Journal of Lipid Research*, 39(11) : 2250-2260.
- Bortolini D. G., Haminiuk C. W. I., Pedro, A. C., Fernandes I. D. A. A. & Maciel, G. M. (2021). Processing, chemical signature and food industry applications of *Camellia sinensis* teas: An overview. *Food Chemistry*, 12: 1-9.
- Bravo L. (1998). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56(11): 317–333.
- Broadley M. R., Brown P., Cakmak I., Rengel Z. & Zhao F. (2007). Function of nutrients: micronutrients. In *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. Amsterdam, (Pays-Bas): 191-248.
- Brune M., Rossander L. & Hallberg L. (1989). Iron absorption and phenolic compounds: Importance of different phenolic structures. *Journal of Nutrition*, 119 (1) : 146-151.
- Bruneton J. (2016). Pharmacognosie. Phytochimie : Plantes médicinales. 3e édition, Paris : Editions TEC & DOC, Cachan : *Editions Médicales Internationales*, 239-249.
- Bruneton J. (2016). Pharmacognosie. Phytochimie : Plantes médicinales. 3e édition, Paris : Editions TEC & DOC, Cachan : *Editions Médicales Internationales*, 239-249.
- Burkill, H. M. (1994). The useful plants of West Tropical Africa (2nd edition., Vol. 2). *Royal Botanic Gardens*, Kew (Royaume-Uni), 648 p.
- Bussmann R. W., Paniagua-Zambrana N., Castañeda Sifuentes R. Y., Prado Velazco Y. A. & Mandujano J. (2015). Health in a pot the ethnobotany of emolientes and emolienteros in Peru. *Economic Botany*, 69(1): 83-88.

- Cabrera C., Artacho R. & Giménez R. (2006). Beneficial effects of green tea a review. *Journal of the American College of Nutrition*, 25(2): 79-99.
- Cadena R. S., Cruz A. G., Netto F. M., Castro W. F., Faria J. A. F. & Bolini H. M. A. (2013). Sensory profile and physicochemical characteristics of mango nectar sweetened with high intensity sweeteners throughout storage time. *Food Research International*, 54(2), 1670-1679.
- Cai Y., Gaffney S. H., Lilley T. H., Magnolato D., Martin R., Spencer C. M. & Haslam E. (1990). Polyphenol interactions. Part 4. Model studies with caffeine and cyclodextrins. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2*, (12): 2197-2209.
- Cai Y., Xing J. & Yin Q. (2004). Antioxidant activity of polyphenolic compounds from tea. *Food Chemistry*, 88(3): 403–409.
- Cao G., Muccitelli H. U., Sánchez-Moreno C. & Prior R. L. (2001). Anthocyanins are absorbed in glycosylated forms in elderly women: a pharmacokinetic study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 73(5): 920-926.
- Carloni P., Tiano L., Padella L., Bacchetti T., Customu C., Kay A. & Damiani E. (2013). Antioxidant activity of white, green and black tea obtained from the same tea cultivar. *Food Research International*, 53(2): 900-908.
- Carr A.C. & Maggini, S. (2017). Vitamin C and immune function. *Nutrients*, 9(11): 1211.
- Carr H., Lombi E., Küpper H., Mcgrath S. & Wong M. (2003). Accumulation and distribution of aluminium and other elements in tea (*Camellia sinensis*) leaves. *Agronomie*, (8): 705-710
- Chadare F. J., Linnemann A. R., Hounhouigan J. D., Nout M. J. R. & Van Boekel M. A. J. S. (2009). Produits alimentaires à base de baobab : examen de leur composition et de leur valeur nutritionnelle. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49: 254-274.
- Chapin III F. S., Schulze E. D. & Mooney H. A. (1990). The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1): 423-447.
- Chapman K. D. & Ohlrogge J. B. (2012). Compartmentation of triacylglycerol accumulation in plants. *Journal of Biological Chemistry*, 287(4) : 2288-2294.
- Chaturvedula V. S. P. & Prakash I. (2011). The aroma and taste of herbal teas. *Journal of Food and Nutrition Research*, 1(2): 38–44.
- Chen D., Ding Y., Chen G., Sun Y., Zeng X. & Ye H. (2020). Components identification and nutritional value exploration of tea (*Camellia sinensis* L.) flower extract: Evidence for functional food. *Food Research International*, 132: 1-10.

- Chen L., Apostolides Z. & Chen Z. M. (2012). Global tea breeding: Achievements, challenges and perspectives. *Springer Science & Business Media*. 384p
- Chen Q., Zhu Y., Dai W., Lv H., Mu B., Li P., Tan J. F., Ni D. & Lin Z. (2019). Aroma formation and dynamic changes during white tea processing. *Food Chemistry*, 274: 915-924.
- Chen Q., Zhu Y., Liu Y., Liu Y., Dong, C., Lin, Z., & Teng, J. (2022). Black tea aroma formation during the fermentation period. *Food Chemistry*, 374: 1-15.
- Chen S., Wang C.-Y., Tsai C.-Y., Yang I.-C., Luo S.-J. & Chuang Y.-K. (2021). Fermentation quality evaluation of tea by estimating total catechins and theanine using near-infrared spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 115 :1-8.
- Chen S., Zhou D., Okubo T., Kao Y. C., Eng E. T., Grube B., Kwon A., Yang C. & Yu B. (2002). Prevention and treatment of breast cancer by suppressing aromatase activity and expression. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 963(1): 229-238.
- Ci K. C. & Indira G. (2016). Quantitative estimation of total phenolic, flavonoids, tannin and chlorophyll content of leaves of *Strobilanthes Kunthiana* (Neelakurinji). *Journal of Medicinal Plants Studies*, 4(4) : 282-286
- CILSS (Comité permanent Inter-état de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel) (2004). Normes de consommation des principaux produits alimentaires dans les pays du CILSS. Burkina Faso, 67 p.
- CIQUAL (Centre d'Information sur la Qualité des Aliments) (2017). Table de composition nutritionnelle des aliments. ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail), France, 43 p.
- Clautilde M., Enama A. & Ndjouenkeu R. (2020). Effet simultané de la dilution et de la combinaison du *Rhizobium* et des mycorhizes sur la production foliaire et les propriétés physico-chimiques des jeunes feuilles de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Journal of Applied Biosciences*, 40: 2668-2676.
- Cleverdon R., Elhalaby Y., McAlpine M., Gittings W. & Ward, W.E. (2018). Total polyphenol content and antioxidant capacity of tea bags: Comparison of black, green, red rooibos, chamomile and peppermint over different steep times. *Beverages*, 4(1) : 15.
- Codex Alimentarius. (2005). Norme pour le thé vert et le thé noir (CXS 312-2019). FAO/OMS, Italie, 4 p.
- Coves, S. (2000). Thé et santé, Le thé : de la feuille à la tasse. *Cahiers de Nutrition et Diététique*, 35(1) : 9–11.
- Crète, P. (1965). *Dictionnaire botanique des noms vernaculaires de la Côte d'Ivoire*. Abidjan : Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 533 p.

- Croteau R., Kutchan, T. M. & Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and molecular biology of plants*, 24 :1250-1319.
- Cseke L., Setzer W., Vogler B., Kirakosyan A. & Kaufman, P. (2006). Traditional, analytical, and preparative separations of natural products. In: *Natural Products from Plants*. Taylor & Francis Group, Floride (États-Unis) : 263–318
- Da O (2015). Contribution à l'étude pharmacologique, phytochimique et toxicologique de la Tisane SAYE : phytomédicament antipaludique. These unique, biologie appliquee et modelisation des systemes biologiques. Université Polytechnique de Bobo-dioulasso (Burkina Faso), 161 p.
- Da O., Coulibaly M. T., Ouédraogo J. C. W., Yaro B., Yerbanga R. S., Kini F., Koama B., Dakuyo Z. P., Nikiema J. B., Ouédraogo G. A., Matsabisa M. G. & Ouédraogo J.B. (2015). Phytochemical screening of Saye, a traditional herbal remedy for malaria. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(6): 2940-2946.
- Da-Costa-Rocha I., Bonlaender B., Sievers H., Pischel I. & Heinrich, M. (2014). *Hibiscus sabdariffa L.*—A phytochemical and pharmacological review. *Food chemistry*, 165 :424-443.
- Dai J. & Mumper R. J. (2010). Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10) : 7313–7352.
- Dappah D. K., N'Dri D. Y., Kouassi N. K. & Amani G. (2019). Effect of boiling on chemicals, phytochemicals and nutritional composition of *Solanum nigrum L.* leaves harvested in Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biochemistry Research & Review*, 28(4): 1-11.
- Dastagir G., Hussain F. & Khattak K.F. (2013). Proximate analysis of plants of family Zygophyllaceae and Euphorbiaceae during winter. *Sarhad Journal of Agriculture (Pakistan)*, 29(3): 395-400.
- Davey M. W., Van Montagu M., Inzé D., Sanmartin M., Kanellis A., Smirnoff N., Benzie I. J. J., Strain J. J., Favell D. & Fletcher J. (2000). Plant L-ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7): 825–860.
- Deka H., Barman T., Sarmah P. P., Devi A., Tamuly P. & Karak T. (2021). Impact of processing method on selected trace elements content of green tea: Does CTC green tea infusion possess risk towards human health? *Food Chemistry :X*, 12: 1-11.
- Dellero Y., Jossier M., Bouchereau A., Hodges M. & Leport L. (2021). Leaf phenological stages of winter oilseed rape (*Brassica napus L.*) have conserved photosynthetic efficiencies

- but contrasted intrinsic water use efficiencies at high light intensities. *Frontiers in Plant Science*, 12 : 1-16.
- Delmas F-X et Minet M. (2007). Le guide de dégustation de l'amateur de thé. Les éditions chêne, Paris, 239 p.
- Deng S., Zhang G., Aluko O. O., Mo Z., Mao J., Zhang H., Liu X., Ma M., Wang Q. & Liu, H. (2022). Bitter and astringent substances in green tea: Composition, human perception mechanisms, evaluation methods and factors influencing their formation. *Food Research International*, 157 :1-13.
- Deng X., Hou Y., Zhou H., Li Y., Xue Z., Xue X., Huang G., Huang K., He X. & Xu W. (2021). Hypolipidemic, anti-inflammatory, and anti-atherosclerotic effects of tea before and after microbial fermentation. *Food Science & Nutrition*, 9(2) : 1160-1170.
- Depeldt F. (2009). Evaluation sensorielle. Manuel méthodologique. 3e édition. Tec & Doc. Lavoisier, Paris (France), 524 p.
- Dereje D. & Desalegn T. (2013). Traditional use of medicinal plants in Africa: Benefits and challenges. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 1(3): 37–42.
- Derringer G. & Suich R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4): 214-219.
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Caractérisation chimique des huiles essentielles et étude de certaines activités biologiques : une revue critique. *Medicines*, 3(4) : 1-25.
- Dhingra D., Michael M., Rajput H. & Patil R.T. (2012). Dietary fibre in foods: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3): 255-266.
- Díaz-Maroto M. C., Pérez-Coello M. S., Gonzalez-Vinas M. A. & Cabezudo M. D. (2003). Influence du séchage sur la qualité aromatique de la menthe verte (*Mentha spicata L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (5) : 1265-1269.
- Dibong S. D., Mpondo Mpondo E., Ngoye A. & Kwin M. F. (2011). Plantes médicinales utilisées par les populations Bassa de la localité de Douala au Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(3): 1105-1117.
- Dieng S. I. M., Fall A. D., Diatta-Badji K., Sarr A., Sene M., Sene M., Mbaye A., Diatta W. & Bassene E. (2017). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-éthanoliques des feuilles et écorces de *Piliostigma thonningii* Schumach. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2): 768-776.

- Dijkstra F. A., Blumenthal D., Morgan J. A., Pendall E., Carillo Y. & Follet R. F. (2010). Contrasting effects of elevated CO₂ and warming on nitrogen cycling in a semi-arid grassland. *New Phytologist*, 187(2): 426-437.
- Dini I. (2019). An overview of functional beverages. In: *A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.)*, Academic Press. Cambridge (États-Unis) : 1–40.
- Diomandé A., Yao K., Sylla Y., Honora T., Bakayoko A. & Koné M. (2018). Pouvoir antioxydant et teneurs en composés phénoliques de deux espèces du genre *Albortisia*: *Albortisia cordifolia* (Mangenot & J. Miège) Forman *et albortisia scandens* (Mangenot & J. Miège) Forman (Menispermaceae). *European Scientific Journal*, 14(30) : 128-144.
- Dippong T., Cadar O., Kovacs M. H., Dan M. & Senila L. (2023). Chemical analysis of various tea samples concerning volatile compounds, fatty acids, minerals and assessment of their thermal behavior. *Foods*, 12(16): 1-20.
- Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P. & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97: 654–660.
- Donlao N. & Ogawa Y. (2019). The influence of processing conditions on catechin, caffeine and chlorophyll contents of green tea (*Camelia sinensis*) leaves and infusions. *LWT - Food Science and Technology*, 116: 1-8.
- Drewnowski A. & Gomez-Carneros C. (2000). Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(6): 1424-1435.
- 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
- Dudareva N., Negre F., Nagegowda D.A. & Orlova I. (2006). Plants volatiles: Recent advances and futures perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(5): 417–440.
- Ebi G. C. (2001). Antimicrobial activities of *Alchornea cordifolia*. *Fitoterapia*, 72(1) : 69-72.
- Ebrahimi P., Shokramraji Z., Tavakkoli S., Mihaylova D. & Lante, A. (2023). Chlorophylls as natural bioactive compounds existing in food by-products: a critical review. *Plants*, 12(7) : 1-12.
- Edeas M. (2011). Les secrets de santé du thé. *Edition Alpen*, Monaco, 95 p.
- Edeoga H., Omosun G. & Uche L. (2009). Chemical composition of *Hyptis suaveolens* and *Ocimum gratissimum* hybrids from Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 5(10) : 892-895.
- Effo K. E. (2018). Activité hépatoprotectrice d'*Alchornea cordifolia* (Euphorbiaceae) dans un modèle animal d'hépatotoxicité induite par les médicaments antituberculeux. Thèse de

- doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, UFR sciences pharmaceutiques et biologiques, 176 p.
- Ekissi A. C. (2014). Valorisation nutritionnelle des feuilles du théier de savane (*Lippia multiflora*) de Côte d'Ivoire et des produits dérivés (tisane et thé vert). Thèse de doctorat en biochimie, Université Felix Houphouët Boigny de Côte d'Ivoire, 196 p.
- Ekissi A. C., Kouamé K. B., Koko A. C., Koffi K. L. M. & Kati-Coulibaly S. (2021). Différents usages d'*Alchornea cordifolia* (Euphorbiaceae) dans la localité de Daloa (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 160(1): 16507-16520.
- Ekissi A. C., Kouamé Y.A. & Coulibaly S. K. (2017) Determination of the Minerals of the Herbal Tea and Tea Green from *Lippia multiflora*. *American Journal of Plant Sciences*, 8: 2608-2621.
- El Bilali H., Cardone G., Rokka S., Naino-Jika A. K., De Falcis E., Diawara A. B., Nouhou B. & Ghione A. (2022). Sustainability of neglected and underutilised species (NUS): Towards an assessment matrix for crop species. *AGROFOR International Journal*, 7(3) :17-30
- Elyssa G. (2023). Tea Plant (*Camellia sinensis*): Plant Care and Growing Guide House Plants Expert. *House Plants Expert*. <https://houseplantsexpert.com/growing-camellia-sinensis.html>
- Emebu P. K. & Anyika J. U. (2011). Proximate and mineral composition of kale (Brassica oleracea) grown in Delta State, Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(2): 190-194.
- Emenalom O. O., Obiora A. B. & Okechie U. N. (2012). Anti-nutrient factors, performance and serum biochemistry of broiler chicks fed raw and fermented *Alchornea cordifolia* seeds. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 2(1): 17-22.
- Engelhardt U. H. (2024). Different Types of Tea: Chemical Composition, Analytical Methods, and Authenticity. In *Natural Products in Beverages: Botany, Phytochemistry, Pharmacology and Processing*. Cham: Springer International Publishing : 39-82
- Erukainure O. L., Oke O. V., Adeboyejo F., Kayote F. O. & Ateyoju O. (2011). Nutritional evaluations of *Clerodendrum volubile*, a tropical non-conventional vegetable as sole dietary protein source in rats. *International Journal of Biological & Medical Research*, 2(1): 374-377.
- Evans W. (2002). Trease and Evans pharmacognosy.15th Edition., Elsevier, India, 585 p.
- Fageria N. K., Baligar V. C. & Clark R. B. (2009). Physiology of crop production. CRC Press, floride (États-Unis), 356 p.

- FAO (Food and Agriculture Organization). (2003). *Guidelines for the storage of dried fruits and vegetables*. Rome, Italie, 92 p.
- FAO. (2013). *Manual on tea production and processing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italie, 243 p.
- FAO. (2022). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italie, 209 p.
- FAO/WHO (2001). *Human vitamin and mineral requirements. Report of a joint FAO/WHO expert consultation*. Bangkok: Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Bangkok, Thaïlande, 303 p.
- FAO/WHO (2020). *Vitamin A deficiency: Policy and programmes*. Food and Agriculture Organization & World Health Organization. Rome, Italie, 48 p.
- FAO/WHO. (2004). *Vitamin and mineral requirements in human nutrition*. 2nd edition. FAO/WHO, Genève, Suisse, 341 p.
- Feinberg M. (1996). *La validation des méthodes d'analyse. Une approche chimiométrique de l'assurance qualité au laboratoire*. Edition MASSON, Paris (France), 397 p.
- Feirera M. A., Nogueira P. L.,Correia A. A. (1963). Sobre as raizes de *Alchornea cordifolia*, *Gracia de orta*, 11(2) : 265-274.
- Feirera M. A., Nogueira P. L.,Correia A. A. (1963). Sobre as raizes de *Alchornea cordifolia*, *Gracia de orta*, 11(2) : 265-274.
- Flood A., Peters U., Chatterjee N., Lacey Jr J. V., Schairer C. & Schatzkin A. (2005). Calcium from diet and supplements is associated with reduced risk of colorectal cancer in a prospective cohort of women. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 14(1), 126-132.
- Flood A., Peters U., Chatterjee N., Lacey Jr J. V., Schairer C. & Schatzkin A. (2005). Calcium from diet and supplements is associated with reduced risk of colorectal cancer in a prospective cohort of women. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 14(1), 126-132.
- Fodorea C. S., Vlase L., Suciú S., Tamas M. & Leucuta S. E. (2005). Preliminary HPLC study on some polyphénols of *Geranium robertianum* L. (Geraniaceae). *Revista Medico-Chirurgicala a Societatii de Medici si Naturalisti din Lasi*, 109(1) : 174-8.
- Frutos P., Hervás G., Giráldez, F. J. & Mantecón Á. R. (2004). Review. Tanins and ruminant nutrition. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2): 191-202.
- García-Rodríguez M. del C., Gordillo-García A. & Altamirano-Lozano M. (2017). The Role of vitamin C in the protection and modulation of genotoxic damage induced by metals

- associated with oxidative stress. In: Vitamin C. A. Hamza (Ed.). Intech, London, 99-112.
- Genova T., Gaglioti D. & Munaron L. (2020). Regulation of vessel permeability by TRP channels. *Frontiers in Physiology*, 11: 1-8.
- George N. J., Obot I. B., Ikot A. N., Akpan A. E. & Obi-Egbedi N. O. (2010). Phytochemical and antimicrobial properties of leaves of *Alchornea cordifolia*. *Journal of Chemistry*, 7(3): 1071-1079.
- George P. M. (2003). Encyclopedia of foods. Volume 1. Humana Press, Washington, 526 p.
- Germain V. B. I., Kouadio B. & Zouzou M. (2021). Etude ethnobotanique des plantes spontanées comestibles dans le département de Zuénoula (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal, ESJ*, 17(29) : 242-262.
- Gharibzahedi S. M. T. & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62: 119-132.
- Ghasemzadeh A., Jaafar H. Z. & Rahmat A. (2010). Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 15(6) : 4324-4333.
- Gillemois E. (2004). Plantes utilisées en médecine traditionnelle au Bénin pour traiter le paludisme. Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Rennes 1, Rennes, 179p.
- Gogoi R., Niyogi U. K. & Tyagi A. K. (2014). Reduction in Trypsin Inhibitor Activity in *Jatropha* cake by Chemical, Thermal and Radiation Treatment. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 4(1): 17-19.
- Grassi D., Desideri G., Croce G., Tiberti S., Aggio A. & Ferri C. (2009). Flavonoids, vascular function and cardiovascular protection. *Current Pharmaceutical Design*, 15(10) :1072-1084.
- Grassi D., Desideri G., Croce G., Tiberti S., Aggio A. & Ferri C. (2009). Flavonoids, vascular function and cardiovascular protection. *Current Pharmaceutical Design*, 15(10) :1072-1084.
- Grotewold E. (2006). The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annual Review of Plant Biology*, 57: 761-780.
- Gülçin İ. (2006). Antioxidant activity of caffeic acid (3,4-dihydroxycinnamic acid). *Toxicology*, 217(2-3): 213–220.

- Gupta S., Cox S. & Abu-Ghannam N. (2011). Effect of different drying temperatures on the moisture and phytochemical content of edible Irish brown seaweed. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(7): 581–600.
- Hagerman A. E., Riedl K. M., Jones G. A. & Sovik K. N. (1998). High molecular weight plant polyphenolics (tanins) as biological antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(5): 1887-1892.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2019). Multivariate data analysis. (8^e edition) *Cengage*. Andover Hampshire (Royaume-uni). 813p
- Halliwell B. & Gutteridge J. M. C. (2015). Free radicals in biology and medicine (5th edition). Oxford University Press, Oxford (Royaume-Uni), 905 p
- Hamia C., Guergab A., Rennane N. E., Birache M., Haddad M., Saidi M. & Yousfi M. (2014). Influence des solvants sur le contenu en composés phénoliques et l'activité antioxydante des extraits du *Rhanterium adpressium*. *Annals of Science and Technology*, 6(1): 7-7.
- Handa S. S., Khanuja S. P. S., Longo G. & Rakesh D. D. (2006). Extraction technologies for medicinal and aromatic plants. *International Centre for Science and High Technology*. Trieste, (Italie), 266 p.
- Hara Y. (2001). *Green tea: health benefits and applications*. CRC press, Floride (États-Unis), 280 p.
- Haslam E. (1998). *Practical Polyphenolics: from Structure to Molecular Recognition and Physiological Action*, Cambridge University Press, Cambridge, 438 p.
- Haslam E. (2007). Vegetable tanins-Lessons of a phytochemical lifetime. *Phytochemistry*, 68(22-24) : 2713-2721.
- Haslam, E. (1996). Natural polyphenols (vegetable tanins) as drugs: Possible modes of action. *Journal of Natural Products*, 59(2): 205–215.
- Hawkesford M., Horst W., Kichey T., Lambers H., Schjoerring J., Skrumsager Møller I. & White P. (2012). Functions of macronutrients. In: *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, Amsterdam (Pays-Bas): 135-189.
- He H.-F., Wei K., Yin J. & Ye Y. (2020). Insight into Tea Flavonoids: Composition and Chemistry. *Food Reviews International*, 37(4) : 1–12.
- Heck C. I. & De Mejia E. G. (2007). Yerba Mate Tea (*Ilex paraguariensis*): a comprehensive review on chemistry, health implications, and technological considerations. *Journal of food science*, 72(9): 138-151.

- Heimler D, Vignolini P., Dini M. G, Vincieri F. F. & Romani A. (2006). Antiradical activity and polyphenol composition of local Brassicaceae edible varieties. *Food Chemistry*, 99(3) :464-469.
- Heinrich M., Barnes J., Prieto-Garcia J., Gibbons S. & Williamson E. M. (2017). Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy E-Book: Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy E-Book. *Elsevier Health Sciences*, 282 p.
- Henry A. G., Hutschenreuther A., Paine O. C., Leichleiter J., Codron D., Codron, J., Loudon J., Adolph S. & Sponheimer M. (2019). Influences on plant nutritional variation and their potential effects on hominin diet selection. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 261: 18-30.
- Herrador M. A. & González A. G. (2001). Pattern recognition procedures for differentiation of green, black and Oolong teas according to their metal content from inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Talanta*, 53(6): 1249–1257
- Hichri I., Barrieu F., Bogs J., Kappel C., Delrot S. & Lauvergeat V. (2011). Recent advances in the transcriptional regulation of the flavonoid biosynthetic pathway. *Journal of Experimental Botany*, 62(8) :2465–2483.
- Higdon J. V. & Frei B. (2003). Tea catechins and polyphenols: Health effects, metabolism, and antioxidant functions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(1) : 89–143.
- Hilal Y. & Engelhardt U. (2007). Characterisation of white tea – Comparison to green and black tea. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 2(4): 414–421
- Holton T. A. & Cornish E. C. (1995). Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis. *The Plant Cell*, 7(7): 1071-1083.
- Hostettmann K., Marston A., Ndjoko K. & Wolfender J. L. (2000). Le potentiel des plantes africaines comme source de médicaments. *Current Organic Chemistry*, 4(10), 973-1010.
- Huda H. S. A., Majid N. B. A., Chen Y., Adnan M., Ashraf S. A., Roszko M., Bryla M., Kieliszek M. & Sasidaran S. (2024). Exploring the ancient roots and modern global brews of tea and herbal beverages: A comprehensive review of origins, types, health benefits, market dynamics, and future trends. *Food Science & Nutrition*, 12(10): 6938-6955.
- Hursel R. & Westerterp-Plantenga M. S. (2013). Catechin-and caffeine-rich teas for control of body weight in humans. *The American journal of clinical nutrition*, 98(6) : 1682S-1693S.
- Hutchinson J. & Dalziel J. M. (1954). *Flora of West Tropical Africa. Vol. I, Part II. Crown Agents for Oversea Governments and Administrations*. London, 544 p.

- Ichihashi M., Ahmed N. U., Budiyo A., Wu A., Bito T., Ueda M. & Osawa T. (2000). Preventive effect of antioxidant on ultraviolet-induced skin cancer in mice. *Journal of Dermatological Science*, 23: 45-50.
- Institut National de la Statistique (INS). (2014). Monographie de la région du Haut-Sassandra. Abidjan, Côte d'Ivoire : INS. 11-12
- International Organisation for Standardisation (ISO). (1981). Tea –preparation of liquor for use in sensory test (ISO 3103 :1980). ISO, Genève (Suisse), 4 p.
- International Organisation for Standardisation (ISO). (1982). Black tea - Vocabulary. ISO, Genève (Suisse), 22 p.
- Isidore S. A., Kouabenan A., Kiyinma C. & Noël Z. G. (2018). Étude Phytochimique et activité antifongique d'extraits de quelques *Euphorbiaceae médicinales utilisées chez les Baoulés du District de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire)*. *European Scientific Journal*, 14(30): 256-274.
- Isidra-Arellano M.C.; Delaux P.M. & Valds-Lpez O. (2021). The Phosphate Starvation Response System: Its Role in the Regulation of Plant–Microbe Interactions. *Plant and Cell Physiology*, 62(3) : 392- 400.
- Janat Akhanovna M. B. (2011). Teneurs en composés phénoliques de 10 plantes médicinales employées dans la tradithérapie de l'hypertension artérielle, une pathologie émergente en Côte d'Ivoire. *Revue de génie industriel*, 6 : 55-61.
- Jie G., Lin, Z., Zhang L., Lv H., He P. & Zhao B. (2006). Free radical scavenging effect of Pu-erh tea extracts and their protective effect on oxidative damage in human fibroblast cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(21) : 8058–8064.
- Jin L., Li X. B., Tian D. Q., Fang X. P., Yu Y. M., Zhu H. Q., Ge Y. Y., Wang W. Y., Xiao W. F. & Li, M. (2016). Antioxidant properties and color parameters of herbal teas in China. *Industrial Crops and Products*, 87 :198-209.
- Jones P. J. H. & AbuMweis S. S. (2009). Phytosterols as functional food ingredients: Linkages to cardiovascular disease and cancer. *Atherosclerosis Supplements*, 10(2) :49–54.
- Joubert E. D. B. D. & de Beer D. (2011). Rooibos (*Aspalathus linearis*) beyond the farm gate: From herbal tea to potential phytopharmaceutical. *South African Journal of Botany*, 77(4) :869-886.
- Joubert E., Gelderblom W. C. A., Louw A. & de Beer D. (2008). South African herbal teas: *Aspalathus linearis*, *Cyclopia* spp. and *Athrixia phylicoides* A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 119(3): 376-412.
- Kabata-Pendias A. (2000). Trace elements in soils and plants. CRC Press, Floride, 432 p.

- Kabran G. R. M., Ambeu N. C., Mamyrbékova-Békro J. A. & Békro Y. A. (2012). Total phenols and flavonoids in organic extracts from ten plants used in traditional therapy for breast cancer in Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 68(2) : 182-190.
- Kakuzō O. (2006). Le Livre du thé. *Philippe Picquier*, 176 p
- Kambou T., Zango B., Fongang C., Sombie I. & Dao B. (2005). Etude de l'insuffisance erectile dans une population d'hommes jeunes et sexuellement actifs au Burkina Faso. *African Journal of Urology*, 11(4): 310-318.
- Karori S. M., Wachira F. N., Wanyoko J. K. & Ngure R. M. (2007). Antioxidant capacity of different types of tea products. *African Journal of Biotechnology*, 6(19): 2287–2296
- Kasali F. (2015). Phytochemical screening and antibacterial properties from extract of *Alchornea cordifolia* (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 4: 176-180.
- Katiyar S. K. & Mukhtar H. (1997). Tea antioxidants in cancer chemoprevention. *Journal of Cell Biochemistry*, 27: 59–67.
- Kaur C. & Kapoor H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables the millennium's health. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(7) : 703-725.
- Kaur C. D. & Saraf S. (2011). Photochemoprotective activity of alcoholic extract of *Camellia sinensis*. *International journal of pharmacology*, 7(3): 400-404.
- Kaur H. & Kaur G. (2014). A critical appraisal of solubility enhancement techniques of polyphenols. *Journal of pharmaceutics*, 2014(1): 1-14.
- Ken F. (2014). Plantes tropicales utiles. <https://tropical.theferns.info/image.php?id=Alchornea+cordifolia>
- Kerharo J. & Adam J. G. (1974). La pharmacopée sénégalaise traditionnelle : plantes médicinales et toxiques. Vigot Frères, Paris, 1011 p
- Kerharo J. & Bouquet A. (1950). Plantes médicinales et toxiques de la Côte d'Ivoire - Haute Volta. Vigot Frères, Paris: 103-134.
- Khan N. & Mukhtar H. (2018). Tea polyphenols in promotion of human health. *Nutrients*, 11(1): 1-16.
- Killedar S. G. & Pawar A. V. (2017). Preparation of herbal tea from mul berry leaves. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 5: 325–328.
- Kitadi J. M., Inkoto C. L., Lengbiye E. M., Tshibangu D. S., Tshilanda D. D., Ngbolua K. T. N., Taba K. M., Mbala B. M., Schmitz B. & Mpiana P. T. (2020). Mineral content and antisickling activity of *Annona senegalensis*, *Alchornea cordifolia* and *Vigna*

- unguiculata used in the management of sickle cell disease in the Kwilu Province (Congo, DR). *International Blood Research & Reviews*, 11(3) : 18-27.
- Klegou S. (2005). Le théier, *Camellia sinensis* : Données pharmacologiques récentes. Thèse en Pharmacie : Université Paris XI, Chatenay-Malabry, 161 p.
- Koca N., Karadeniz B. & Burdurlu H. S. (2007). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry*, 100(2): 609-615.
- Koffi E. N., N'Guessan O. H. A., N'Da P. K., Ouattara I. S., Konan S. K. & Adima A. A. (2021). Comparative Study of the Chemical Composition and Antioxidant Capacity of Leaves, Stems and Roots of *Alchornea cordifolia* (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg. *European Journal of Medicinal Plants*, 32: 65-75.
- Konan J. L. K., Turquin L., Attah H., Yao-kouame A., Allou K. & Ake S. (2010). *Lippia multiflora* (verbenaceae) en côte d'ivoire : point des premiers résultats de recherche et enjeu culturel. *Agronomie Africaine*, 22(2) : 121-130.
- Konan P. A. K., N'Gaman-Kouassi K. C. C., Mamyrbekova-Békro J. A. & Békro Y.-A. (2022). Study of the Effect of Three Extraction Processes on the Phytoactives of *Alchornea cordifolia* (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae) and Evaluation of Their Antioxidant and Analgesic Activities. *International Journal of Biochemistry Research & Review*, 31(7): 28–37.
- Konan Y. L., Coulibaly Z. I., Allali K. B., Tétchi S. M., Koné A. B., Coulibaly D., Ekra K. D., Doannio M. C. & Oudéhoury-Koudou P. (2014). Gestion de l'épidémie de fièvre jaune en 2010 à Séguéla (Côte d'Ivoire) : intérêt d'une investigation pluridisciplinaire. *Santé Publique*, 26(6) : 859-867.
- Kong J.M., Chia L.S., Goh N.K., Chia T.F. & Brouillard R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64(5): 923-933.
- Konica M. S. (2022). *Identifying color differences using L*a*b* or L*C*h coordinates*. <https://sensing.konicaminolta.us/us/blog/identifying-color-differences-using-l-a-b-or-l-c-h-coordinates/>
- Köster E. P. (2009). L'organisation des épreuves hédoniques. In DEPELDT, F., SSHA Evaluation sensorielle. Manuel méthodologique. 3e édition. Tec & Doc. Lavoisier, Paris, 524 p.
- Kouame N. D. M. T., Gnahoua G. M., Kouassi K. E. & Traore D. (2008). Plantes alimentaires spontanées de la région du Fromager (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) : flore, habitats et organes consommés. *Sciences & Nature*, 5(1) : 61-70.

- Kouamé T. K., Siaka S., Kassi A. B. B. & Soro Y. (2021). Détermination des teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins de jeunes feuilles non encore ouvertes de *Piliostigma thonningii* (Caesalpiniaceae). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(1) : 97-105.
- Krieps M. (2009). Le thé : origine, actualité et potentialités. Thèse de Doctorat en pharmacie. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 215 p.
- 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 and Biochemistry*, 45(3-4): 244-249.
- Kumar A., Nair A. G. C., Reddy A. V. R. & Garg A. N. (2005). Availability of essential elements in Indian and US tea brands. *Food Chemistry*, 89(3): 441-448.
- Kuo K. L., Weng, M. S., Chiang C. T., Tsai Y. J., Lin-Shiau S. Y. & Lin J. K. (2005). Comparative studies on the hypolipidemic and growth suppressive effects of oolong, black, pu-erh, and green tea leaves in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2) : 480-489.
- Labuza T. P. & Hyman C. R. (1998). Moisture migration and control in multi-domain foods. *Trends in Food Science & Technology*, 9(2): 47-55.
- Latham P. (2004). Useful plants of Bas-Congo province. Mystole Publications. Canterbury, Royaume-Uni, 276 p.
- Lawless H. T. & Heymann H. (2010). Sensory evaluation of food: principles and practices. Springer Science & Business Media, New York, États-Unis, 596 p.
- Lawless H. T. and Heyman H. (1999). Sensory evaluation of food: principles and practices. Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York, USA, 827 p.
- Lee J., Chambers D. H., IV E. C., Adhikari K. & Yoon Y. (2013). Volatile aroma compounds in various brewed green teas. *Molecules*, 18(8): 10024-10041.
- Lee J., Durst R. W., Wrolstad R. E., Eisele T., Giusti M. M., Hach J., Hofsommer H., Koswig S., Krueger D. A., Kupina S., Martin S. K., Martinsen B.K., Miller T.C., Paquette F., Ryabkova A., Skrede G., Trenn U. & Wightman J. D. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC international*, 88(5), 1269-1278.
- Lefebvre A. & Bassereau J. F. (2003). L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception : ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration. *Application aux emballages*, 10 : 3-11.

- Lehmann J. & Kleber M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580) : 60-68.
- Lengbiye E. M., Wa Mbembo B.M, Bongo G. N., Kapepula P. M., Ngombe N. K., Messi M., Mbing J. N., Pegnyemb D. E., Mpiana P. T. & Ngbolua K. T. N. (2019). Selenium Content, Anthelmintic, Antioxidant and Antibacterial Activities of *Artocarpus Heterophyllus* Lam. From Ubangi Ecoregion in Democratic Republic of the Congo. *American Journal of Biomedical Science & Research*, 6(2): 135-141.
- Lesschaeve I., & Noble A. C. (2005). Polyphenols: Factors influencing their sensory properties and their effects on food and beverage preferences. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1): 330-335.
- Liang Y., Lu J., Zhang L., Wu S. & Wu Y. (2006). Estimation of black tea quality by analysis of chemical composition and colour difference of tea infusions. *Food Chemistry*, 98(1): 82–87.
- Liang Y., Lu J., Zhang L., Wu, S., & Wu, Y. (2005). Estimation of tea quality by infusion colour difference analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(2): 286-292.
- Liang Y., Lu, J., Zhang L., Wu, S. & Wu Y. (2003). Estimation of black tea quality by analysis of chemical composition and colour difference of tea infusions. *Food Chemistry*, 80(2) : 283–290.
- Liato V. & Aïder M. (2017). Geosmin as a source of the earthy-musty smell in fruits, vegetables and water: Origins, impact on foods and water, and review of the removing techniques. *Chemosphere*, 181: 9-18.
- Liem D. G., Miremadi F. & Keast R.S.J. (2011). Infants' and children's salt taste perception and liking: A review. *Nutrients*, 3(6): 643-660
- Lim P. O., Kim H. J. & Nam H. G. (2007). Leaf senescence. *Annual Review of Plant Biology*, 58: 115-136.
- Liu Y., Ahmed S. & Long C. (2013). Ethnobotanical survey of cooling herbal drinks from southern China. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 9(1): 82.
- Lo Piero A. R., Puglisi I., Rapisarda P. & Petrone G. (2005). Anthocyanins accumulation and related gene expression in red orange fruit induced by low temperature storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(23): 9083-9088.
- Lola A. (2009). The Effect of Boiling on the Nutriment and Anti-Nutrient in Two non-Conventional Vegetables. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9): 1430-1433.
- Lozak A., Soytyk K., Ostapczuk P. & Fijayek Z. (2002). Determination of selected trace elements in herbs and their infusions. *Science Total Environ*, 289 :33–40.

- Łuczaj W. & Skrzydlewska E. (2005). Antioxidative properties of black tea. *Preventive medicine*, 40(6) : 910-918.
- Ma D., Sun D., Wang C., Li Y. & Guo T. (2014). Expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of flavonoid in wheat leaves in response to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80: 60–66.
- Ma Y., Wen Y., Wang C., Wu Z., Yuan X., Xiong Y., Chen K., He L., Zhang Y., Wang Z., Li L., Yang Z., Sun Y., Chen Z. & Ma J. (2023). ZIP genes are involved in the retransfer of zinc ions during the senescence of zinc-deficient rice leaves. *International journal of molecular sciences*, 24(18): 1-18.
- Madiélé M. A. B., Nkounkou L.C., Agnanié H., Moutsamboté J. M. & Ouamba, J. M. (2013). Les plantes tinctoriales d'Afrique Centrale : enquête Ethnobotanique et screening phytochimique. *Journal of Applied Biosciences*, 67: 5236-5251.
- Malik J., Szakova J., Drabek O., Balik J. & Kokoska L. (2008). Determination of certain micro and macroelements in plants stimulants and their infusions. *Food Chemistry*, 111 : 520–525
- Malvy D., Galan P. & Hercberg S. (2000). Thé et cancer : Approche mécanistique des effets inhibiteurs de la cancérogenèse. *Cahiers de Nutrition et de Diététique (France)*, 35(1) : 60-65.
- Mambe F. T., Voukeng I. K., Beng V. P. & Kuete V. (2016). Antibacterial activities of methanol extracts from *Alchornea cordifolia* and four other Cameroonian plants against MDR phenotypes. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 11(2): 121-127.
- Mao Y., Chai X., Zhong M., Zhang L., Zhao P., Kang Y., Guo J. & Yang X. (2022). Effects of nitrogen and magnesium nutrient on the plant growth, quality, photosynthetic characteristics, antioxidant metabolism, and endogenous hormone of Chinese kale (*Brassica albogabra* Bailey). *Scientia Horticulturae*, 303 : 1-11.
- Mariage F. (2003). L'art français du thé, M. Frères, 104 p.
- Marinova D., Ribarova, F. & Atanassova M. (2005). Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40(3): 255–260.
- Mariotti F., Tomé D. & Mirand P. P. (2008). Converting nitrogen into protein—beyond 6.25 and Jones' factors. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(2), 177-184.
- Marschner H. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd edition). Academic Press, Cambridge (Royaume-Uni), 649 p.

- Martins S. I. F. S., Jongen W. M. F. & van Boekel M. A. J. S. (2000). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9-10) : 364-373.
- Mavar-Manga H., Lejoly J., Quetin-Leclercq J. & Schmelzer G. H. (2007). *Alchornea cordifolia* (Schumach. & Thonn.) Müll.Arg. In: *Schmelzer, G.H. & Gurib-Fakim, A. (Eds). Prota 11(1): Medicinal plants/Plantes médicinales 1*. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, 6 p.
- McGuire R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12) :1254–1255.
- McKay D. L. & Blumberg J. B. (2002). The role of tea in human health: an update. *Journal of the American College of Nutrition*, 21(1): 1-13.
- McKenzie J. S., Jurado J. M. & De Pablos F. (2010). Characterisation of tea leaves according to their total mineral content by means of probabilistic neural networks. *Food Chemistry*, 123: 859–864.
- Meilgaard M C., Civille G. V. & Carr B. T. (1999). *Sensory Evaluation Techniques*. 3rd édition CRC Press.LLC, Boca Raton, Florida, New York, USA, 387 p.
- 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.
- Mensor L. L., Menezes F. S., Leitão G. G., Reis A. S., Santos T. C., Coube C. S. & Leitão S. G. (2001). Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytotherapy Research*, 15(2): 127-130.
- Mez J., Bekro, Y. A., Bamba, L., Mamyrbekova-Bekro, J. A. & Ehile, E. E. (2010). Étude de l'activité antioxydante de *Terminalia catappa* L. (Combretaceae). *Revue de Médecine et Pharmacie d'Afrique*, 24(1) : 15–22.
- Middleton E., Kandaswami C. & Theoharides, T. C. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological Reviews*, 52(4): 673–751.
- Mondal T. K. (2014). *Breeding and biotechnology of tea and its wild relatives*. Springer, New Delhi, 179 p.
- Montseren J. (1999). *Guide de l'amateur de thé*. Paris, Solar, 287 p.
- Moreira J., Aryal J., Guidry L., Adhikari A., Chen Y., Sriwattana S. & Prinyawiwatkul W. (2024). Tea quality: An overview of the analytical methods and sensory analyses used in the most recent studies. *Foods*, 13(22) : 1-21

- Morel J. M. (2008). *Traité pratique de phytothérapie : remède d'hier pour médecine de demain*. Grancher, Paris (France), 400 p.
- Mossion J. (2007). Composition chimique des infusions végétales : impact des composés phénoliques sur le goût. *Cahiers des Techniques Agroalimentaires*, 5(2) : 102–109.
- Muhammad A., Asif A., Anwaar A., Nauman K., Imran H. & Iftikhar A. (2013). Chemical composition and sensory evaluation of tea (*Camellia sinensis*) commercialized in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 45(3) : 901-907.
- Müller J. & Heindl A. (2006). Drying of medicinal plants. *Frontis*, 237-252.
- Musial C., Kuban-Jankowska A. & Gorska-Ponikowska M. (2020). Beneficial properties of green tea catechins. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(5): 1-11.
- Mustofa A. V., Francoise B., Yves P., Koné-Bamba D. & Mallié M. (2000). Antiplasmodial activity of plant extract used in west african traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 73(1-2): 145-151.
- Muyonga J. H., Andabati B. & Ssepuuya G. (2014). Effect of heat processing on selected grain amaranth physicochemical properties. *Food Science and Nutrition*, 2(1): 9-16.
- Naczki M. & Shahidi F. (2006). Phénols dans les céréales, les fruits et les légumes : présence, extraction et analyse. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 41(5), 1523-1542.
- Ndife J., Uka N. C. & Ukom N. A. (2019). Development and comparative evaluation of green and black tisanes using scent leaves (*Chromolaena odorata*). *Food Research*, 3(5): 448-455.
- Neuwinger H. D. (2000). *Médecine traditionnelle africaine : un dictionnaire d'utilisation et d'applications des plantes*. Medpharm GmbH Scientific Publishers, Stuttgart, Allemagne, 589 p.
- Nga E. N., Yinyang J., Baran E., Etame-Loe G. & Dibong S. D. (2017). Étude phytochimique et pharmacologique d'*Alchornea cordifolia* (Schum. & Thonn.) Mull. Arg. et de *Mangifera indica* dans le traitement traditionnel de la maladie hémorroïdaire. *Journal of Applied Biosciences*, 109: 10649-10661.
- Ngaha N. M. I., Dahlan I., Massoma L. D., Mandengue S. H. & Yusuf A. A. (2016). Comparative proximate analysis of leaves and bark of *Alchornea cordifolia* (Euphorbiaceae). *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 5(1) : 84-90.
- N'gaman K. C. C. (2013). Étude phytochimique et effet d'extraits de *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae) de Côte d'Ivoire sur la stabilité osmotique d'érythrocytes. Thèse de doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 152 p.

- N'Guessan K., Kadja B., Zirih G.N., Traoré D. & Aké-Assi L. (2009). Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Kroubo (Agboville, Côte-d'Ivoire). *Sciences & Nature*, 6(1) : 1-15.
- Nikandish M. & Nikandish M. (2024). Exploring the History, Uses, and Dangers of Belladonna: Unveiling the Mysteries of the Deadly Nightshade. *ESI Preprints (European Scientific Journal, ESJ)*, 27 : 544-550.
- Nindjin C. (2002). Amélioration du stockage traditionnel de l'igname (*Dioscorea* spp.) en localité centre de la Côte d'Ivoire : conséquences organoleptiques. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 259 p.
- Noundou X. S., Krause R. W. M., Van Vuuren S. F., Ndinteh D. T. & Olivier D. K. (2016). Antibacterial effects of *Alchornea cordifolia* (Schumach. and Thonn.) Müll. Arg extracts and compounds on gastrointestinal, skin, respiratory and urinary tract pathogens. *Journal of Ethnopharmacology*, 179: 76-82.
- Novilla A., Margahyani W. & Rihibiha D. D. (2022). Antioxidant Activities of Green Tea (*Camellia sinensis* L.) Leaves from Ciwidey, West Java. *KnE Medicine*, 143-150.
- Ntezimana B., Li Y., He C., Yu X., Zhou J., Chen Y., Yu Z. & Ni D. (2021). Different withering times affect sensory qualities, chemical components, and nutritional characteristics of black tea. *Foods*, 10(11): 2627.
- Nyegue M. A., Ndjib R. C., Djova S. V., Kom C. W., Agbor A. G., Mamat A. M. A. & Dibong S. D. (2020). In vitro Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of *Alchornea cordifolia* (Schumach and Thonn.) Mull. Arg. and Antrocaryon Klaineum Pierre Extracts. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 12(8): 129-135.
- Obanda M., Owuor P. O. & Mang'oka R. (2001). Changes in the chemical and sensory quality parameters of black tea due to variations of fermentation time and temperature. *Food chemistry*, 75(4): 395-404.
- Obanda M., Owuor P. O. & Taylor S. J. (1997). Flavanol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74(2): 209-215.
- Oboh G. (2005). Prevention of garlic-induced hemolytic anemia using some tropical green leafy vegetables. *Journal of Medicinal Food*, 7(4): 498-501.
- Organisation des Nations Unis (ONU). (2021). Rapport sur les objectifs de développement durable. *United Nations*, New York, 68 p

- Ogboru R. O., Okolie P. L. & Agboje I. (2015). Phytochemical Screening and Medicinal Potentials of the Bark of *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2(158): 1-6.
- Okwu D. E. & Okwu M. E. (2004). Chemical composition of *Spondias mombin* linn plant parts. *Journal of Sustainable Agriculture and the Environment*, 6(2): 140–147.
- Okwu D. E. (2004). Phytochemicals and vitamin content of indigenous spices of Southeastern Nigeria. *Journal of Sustainable Agriculture and the Environment*, 6(1): 30-37.
- Olennikov D. N., Kashchenko N. I. & Chirikova N. K. (2016). Meadowsweet Teas as New Functional Beverages: Comparative Analysis of Nutrients, Phytochemicals and Biological Effects of Four *Filipendula* Species. *Molecules*, 22(1):1- 16
- Oliveras I., Bentley L. P., Fyllas, N. M., Gvozdevaite A., Shenkin A. F., Peprah T., Morandi P., Pexoto K. S., Boakye M., Adu-Bredu S., Marimon B. S., Junior B. H. M., Salinas N., Martin R., Asner G., Diaz S., Enquist B.J. & Malhi Y. (2020). The influence of taxonomy and environment on leaf trait variation. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3:1-14
- Olivier J., Symington E. A., Jonker C. Z., Rampedi I. T. & Van Eeden T.S. (2012). Comparison of the mineral composition of leaves and infusions of traditional and herbal teas. *South African Journal of Science*, 108 (1): 1-7.
- Ollani S., Lo Presti C., Donno D., Stura I., Giuggioli N.R. & Peano C. (2024). Innovative Green Tea Mate: Physicochemical Profile and Sensory Aspects. *Beverages*, 10(3) : 1-18.
- Onot O. E., Umoh I. B. & Eka O. U. (2007). Effect of a typical rural processing method on the proximate composition and amino acid profile of bush mango seeds (*Irvingia gabonensis*). *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 7(1): 20-27.
- Onwuka G. I. 2005. Food Analysis and Instrumentation; Theory and Practice. *Naphthalic prints, Surulere*, 219- 230.
- Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2012). *Guideline : Potassium intake for adults and children*. Organisation mondiale de la Santé, Genève, Suisse, 42 p.
- Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2020). *Sodium intake for adults and children*. Organisation mondiale de la Santé, Genève, Suisse, 56 p.
- Osuocha K. U., Onwuka O. & Ezeokeke C. (2018). Evaluation of the mineral and vitamin compositions of leaves of *Alchornea cordifolia* and *Thaumatococcus daniellii*. *Asian Journal of Research in Biochemistry*, 3(4): 1-6.

- Ouattara N. D., Gaille E., Stauffer F. W. & Bakayoko A. (2016). Diversité floristique et ethnobotanique des plantes sauvages comestibles dans le Département de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 98 : 9284-9300.
- Oulai A., Cissé I., N'dri E. K., Anin L. A. & Adima A. A. (2019). Composition phytochimique, nutritionnelle et activité antioxydante des feuilles de baobab de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 141: 14391-14399.
- Owosini A. A., Ayansina A. D. & Amjo O. D. (2015). In vitro assessment of the antimicrobial activities of leaf and stem extracts of *Alchornea cordifolia*. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 19(2): 303-308.
- Paiva L., Rego C., Lima E., Marcone M. & Baptista J. (2021). Comparative analysis of the polyphenols, caffeine, and antioxidant activities of green tea, white tea, and flowers from azorean *Camellia sinensis* varieties affected by different harvested and processing conditions. *Antioxidants*, 10(2): 1–16.
- Pandey K. B. & Rizvi S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5): 270–278.
- Pangborn R. M., Trabue I. M. and Little A. C. (1971). Analysis of coffee, tea, and artificially flavored drinks prepared from mineralized waters. *Journal of Food Sciences*, 36(2): 355-362.
- Pathare P. B., Opara U. L. & Al-Said F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and bioprocess technology*, 6(1), 36-60.
- Payandeh J., Pfoh R. & Pai E. F. (2013). The structure and regulation of magnesium selective ion channels. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1828(11): 2778-2792.
- Pérez-Jiménez J., Neveu V., Vos F. & Scalbert A. (2008). Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(3): 112–120.
- Pérez-Jiménez J., Neveu V., Vos F. & Scalbert A. (2010). Systematic Analysis of the Content of 502 Polyphenols in 452 Foods and Beverages: An Application of the Phenol-Explorer Database. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8): 4959-4969
- Philip A. C. & Owen O. J. (2014). Evaluation of the chemical and phytochemical constituents of *Alchornea cordifolia* leaf meal as potential feed for monogastric livestock. *International Journal of Pharmaceutics and Drug Analysis*, 2(4): 360-368.
- Piccolo A. (2001). The supramolecular structure of humic substances. *Soil science*, 166(11) : 810-832.
- Pietta P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63(7): 1035–1042.

- Poitevin E. (2016). Official Methods for the Determination of Minerals and Trace Elements in Infant Formula and Milk Products: A Review. *Journal of aoac international*, 99(1): 42-52.
- Pongracz G., Weiser H. & Matzinger D. (1971). Tocopherols- Antioxydant. *Fat Science Technology*, (97): 90-104.
- Poswal, F. S., Russell, G., Mackonochie, M., MacLennan, E., Adukwu, E. C., & Rolfe, V. (2019). Herbal teas and their health benefits: a scoping review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3): 266-276.
- Pourcel L., Routaboul J. M., Cheynier V., Lepiniec, L. & Debeaujon I. (2007). Flavonoid oxidation in plants: From biochemical properties to physiological functions. *Trends in Plant Science*, 12(1) : 29–36.
- Pousset J. L. (1989). *Plantes médicinales Africaines : utilisation pratique*. Ellipses, Paris (France), 160 p.
- Prasad A.S. (2013). Discovery of human zinc deficiency: its impact on human health and disease. *Advances in Nutrition*, 4(2): 176–190.
- Prescott C. E. (2010). Litter decomposition: What controls it and how can we use it? *Forestry Chronicle*, 86(1): 10-19.
- Prior R. L., Wu X. & Schaich K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10): 4290–4302.
- Provendier D. & Gutleben C. (2009). La Protection Biologique Intégrée au service des espaces verts : Enjeux, Histoire et perspectives de recherche. In *CR de la 2e Conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles 28-29 octobre 2009, AFPP, Angers*. 6-17 p.
- Rahman M. M., Hossain M. M., Das R. & Ahmad I. (2020). Changes in phytochemicals and determination of optimum fermentation time during black tea manufacturing. *Journal of Scientific Research*, 12(4): 657–664.
- Rahman M., Kalam M., Salam M. & Rana M. (2014). Aged leaves effect on essential components in green and oolong tea. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 3(2): 54-58
- Randhir R. & Shetty K. (2007). Mung beans processed by solid-state bioconversion improve phenolic content and functionality relevant for diabetes and ulcer management. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(2): 197–204.

- Ravichandran R. (2002). Carotenoid composition, distribution and degradation to flavour volatiles during black tea manufacture and the effect of carotenoid supplementation on tea quality and aroma. *Food Chemistry*, 78(1) : 23-28.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M. & Rice-Evans C. (1999). Activité antioxydante appliquant un test amélioré de décoloration du radical cation ABTS. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10) :1231–1237
- Roslan A. S., Ismail A., Ando Y. & Azlan A. (2020). Effet des méthodes et paramètres de séchage sur les propriétés antioxydantes des feuilles de thé (*Camellia sinensis*). *Food Production, Processing and Nutrition*, 2 (1) :1-8.
- Rubió L., Motilva M. J. & Romero M. P. (2013). Recent advances in biologically active compounds in herbs and spices: A review of the most effective antioxidant and anti-inflammatory active principles. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(9): 943-953.
- Rydlewski A. A., de Moraes D. R., Rotta E. M., Claus T., Vagula J. M., da Silva M. C., Santos Junior O. O. & Visentainer J. V. (2017). Bioactive Compounds, Antioxidant Capacity, and Fatty Acids in Different Parts of Four Unexplored Fruits. *Journal of Food Quality*, 2017(1): 1-9.
- Sahgal G., Ramanathan S., Sasidharan S., Mordi M. N., Ismail S. & Mansor S. M. (2009). In vitro antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activities of methanolic *Swietenia mahagoni* seed extracts. *Molecules*, 14(11): 4476-4485.
- Saini R. K. & Keum Y. S. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*, 240: 90-103.
- Salman S., Yilmaz C., Gokmen V. & Ozdemir F. (2021). Effects of fermentation time and shooting period on amino acid derivatives and free amino acid profiles of tea. *LWT-Food Science and Technology*, 137: 1-9.
- Scalbert A., Johnson I. T. & Saltmarsh M. (2005). Polyphenols: Antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1): 215–217.
- Schofield P., Mbugua D. M. & Pell A. N. (2001). Analysis of condensed tanins: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 91(1–2): 21–40.
- Semenka (2025). ONG SEMENKA. <https://semenka.org/produit/faire-un-don-de-100e/>
- Sénégal E ;(2014). Tela Botanica. <https://www.tela-botanica.org/apd-nn-107922-illustrations>
- Shan B., Cai Y. Z., Sun M. & Corke H. (2005). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(20): 7749-7759.

- Shang A., Li, J., Zhou D. D., Gan R. Y. & Li H. B. (2021). Molecular mechanisms underlying health benefits of tea compounds. *Free Radical Biology and Medicine*, 172: 181–200.
- Shannon E., Jaiswal A. K. & Abu-Ghannam N. (2017). Polyphenolic content and antioxidant capacity of white, green, black, and herbal teas: a kinetic study. *Food Research*, 2(1): 1-11.
- Sharma A. & Dutta P. P. (2018). Scientific and technological aspects of tea drying and withering: A review. *Agricultural Engineering International : CIGR Journal*, 20(4), 210-220.
- Sharma R., Verma S. & Kumar D. (2021). Polyphenolics and therapeutic insights in different tissues extract and fractions of *Camellia sinensis* (L.) Kuntze (Kangra Tea). *Food Bioscience*, 42: 1-10.
- Shi J., Arunasalam K., Yeung D., Kakuda Y., Mittal G. & Jiang Y. (2014). Saponins from edible legumes: chemistry, processing, and health benefits. *Journal of Medicinal Food*, 7(1): 67-78.
- Sieniawska, E. (2015). Activities of tanins From in vitro studies to clinical trials. *Natural Product Communications*, 10(11): 1877–1884.
- Silué D. (2009). Spider flower: An indigenous species with many uses. AVRDC - The World Vegetable Center Regional Center for Africa, PO Box 10 Duluti, Arusha, *Tanzania*, 35p.
- Skąpska S., Marszałek K., Woźniak Ł., Szczepańska J., Danielczuk J. & Zawada K. (2020). The development and consumer acceptance of functional fruit-herbal beverages. *Foods*, 9(12), 1-16.
- Soares S., Kohl S., Thalmann S., Mateus N., Meyerhof W. & De Freitas V. (2013). Different phenolic compounds activate distinct human bitter taste receptors. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(7): 1525-1533.
- Solomo E. B., Kirongozi B. F., Lebisabo B. C., Tchatchambe N. B. J., Ngombe N., Mpiana P. T., Mbemba T. & Ngbolua K. T. N. (2017). Evaluation de la valeur nutritive et des facteurs antinutritionnels de quatre légumes alimentaires sauvages consommées à Kisangani et ses environs (Province de la Tshopo, RD Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 30(1): 75-90.
- Sombie E. N., Tibiri A., N'do J. Y.-P., Traoré T. K., Ouedraogo N., Hilou A., Guissou P. I. & Nacoulma O. G. (2018). Ethnobotanical study and antioxidant activity of antihepatitis plants extracts of the COMOIE province, Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(3): 1308-1319.

- Soro L. C. (2015). Caractérisation biochimique et activités biologiques des feuilles de *Lippia multiflora* « théier de savane » cultivé en milieux forestier et savanicole de Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat spécialité Nutrition et sécurité alimentaire, Université Nangui Abrogoua, 204 p.
- Soylak, M., Tuzen, M., Souza, A. S., Korn, M. G. A., & Ferreira, S.L.C. (2007). Optimization of microwave assisted digestion procedure for the determination of zinc copper and nickel in tea samples employing flame atomic absorption spectrometry. *Journal of Hazardous Materials*, 149(2) : 264–268.
- SSHA. (1990). Evaluation sensorielle : manuel méthodologique. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, France, 328 p.
- Stadlmayr B., Charrondiere R., Eisenwagen S., Jamnadass R. & Kehlenbeck K. (2013). Nutrient composition of selected indigenous fruits from sub-Saharan Africa. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93: 2627-2636.
- Stone H. & Sidel J. L. (1993). Sensory evaluation practices. 2nd edition, Academic Press, Inc. San Diego, California, USA, 338 p.
- Stone H., Bleibaum R. N. & Thomas H. A. (2020). *Sensory evaluation practices*. Academic press, New York, 480 p.
- Stone H., Sidel J., Oliver S., Woolsey A. & Singleton R. C. (2004). Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Descriptive sensory analysis in practice*, 23-34.
- Sun L., Xu H., Ye J. & Gaikwad N. W. (2019). Comparative effect of black, green, oolong, and white tea intake on weight gain and bile acid metabolism. *Nutrition*, 65: 208-215.
- Sundaresan P. R. (2002). Simultaneous determination of vitamin a and β -carotene in dietary supplements by liquid chromatography. *Journal of AOAC International*, 85(5) : 1127-1135.
- Tachakittirungrod S., Ikegami F. & Okonogi S. (2007). Antioxidant active principles isolated from *Psidium guajava* grown in Thailand. *Scientia Pharmaceutica*, 75(4): 179-193.
- Taiz L., Zeiger E., Møller I. M. & Murphy A. (2015). Plant physiology and development 6th edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA, USA, 761 p.
- Tapas A. R., Sakarkar D. M. & Kakde R. B. (2008). Flavonoids as nutraceuticals: A review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3) : 1089–1099.
- Togola A (2002). Étude de la phytochimie et de l'activité antipaludique d'*Alchornea cordifolia* (Schmach. Euphorbiaceae). Doctorat d'Etat en Pharmacie, Université de Bamako, Mali 100p

- Tomás-Barberán F.A. & Espín J.C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9): 853-876.
- Tona L., Kambu K., Ngimbi N., Mesia K., Penge O., Lusakibanza M., Cimanga K., De Bruyne T., Apers S., Totte J., Pieters L. & Vlietinck A. J. (2000). Antiamoebic et activités spasmolytiques des extraits de quelques préparations traditionnelles antidiarrhéiques utilisées à Kinshasa, Congo. *Phytomedicine*, 7(1): 31-38.
- Topuz A., Dinçer C., Torun M., Tontul I., Nadeem H. Ş., Haznedar A. & Özdemir F. (2014). Physicochemical properties of Turkish green tea powder: effects of shooting period, shading, and clone. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(2): 233-241.
- Tortora G. J. & Derrickson B. (2017). Manuel d'anatomie et de physiologie humaines. De Boeck Supérieur. Bruxelles (Belgique), 824 p.
- Touraille C. (2009). Epreuves discriminatives. In depeldt F., SSHA. Evaluation sensorielle. Manuel méthodologique. 3e édition. Tec & Doc. Lavoisier, Paris (France), 524 p.
- Traoré D. (2004). Plantes médicinales et pratiques médicales traditionnelles au Mali. Karthala. Paris (France), 254 p.
- Turan M., Kordali S., Zengin H., Dursun A. & Sezen Y. (2003). Macro and micro mineral content of some wild edible leaves consumed in Eastern Anatolia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 53(3): 129-137.
- Valko M., Leibfritz D., Moncol J., Cronin M. T. D., Mazur M. & Telser J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1): 44-84
- Vangah E. G. (1986). Étude botanique et pharmacologique d'*Alchornea cordifolia* (Schumacher et Thonn.) Müll. Arg. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, 57 p.
- Vuong Q. V., Stathopoulos C. E., Nguyen M. H., Golding J. B. & Roach, P. D. (2011). Optimizing conditions for the extraction of catechins from green tea using hot water. *Journal of Separation Science*, 34(21): 3099-3106.
- Wang H., Zhu Y., Xie D., Zhang H., Zhang Y., Jin P. & Du Q. (2022). The effect of microwave radiation on the green color loss of green tea powder. *Foods*, 11(16): 2540.
- Wang S., Gan, Z., Wang B., Zhang N., Li K. & Yao T. (2022). Effect of brewing conditions on polyphenols in the dark tea (*Camellia sinensis* L.) infusions: content, composition and antioxidant activities. *Food Science and Technology*, 42: 1-8.
- Wardlaw, G. M. (2004). *Perspectives in nutrition* (6th ed.). McGraw-Hill Higher Education. Boston, MA, USA, 830 p.

- Way T. D., Lin H. Y., Kuo D. H., Tsai S. J., Shieh J. C., Wu J. C., Lee M. R. & Lin J. K. (2009). Pu-erh tea attenuates hyperlipogenesis and induces hepatoma cells growth arrest through activating AMP-activated protein kinase (AMPK) in human HepG2 cells. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(12) : 5257-5264.
- White P. J. & Broadley M. R. (2003). Calcium in plants. *Annals of Botany*, 92(4): 487-511.
- Wink M. (2015). Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. *Annual Review of Plant Biology*, 66: 433–458.
- Wojdyło A., Oszmiański J. & Czemerys R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food chemistry*, 105(3): 940-949.
- Wood J. E., Senthilmohan S. T. & Peskin A. V. (2002). Antioxidant activity of procyanidin-containing plant extracts at different pHs. *Food Chemistry*, 77(2): 155–161.
- Wright I. J., Reich P. B., Westoby M., Ackerly D. D., Baruch Z., Bongers F., Cavender-Bares J., Chapin F.S., Cornelissen J.H.C., Diemer M., Flexas J., Garnier E., Groom P. K., Gulias J., Hikosaka K., Lamont B. B., Lee T., Lee W., Lusk C., Midgley J. J., Navas M. L., Niinemets Ü., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Poot P., Prior L., Pyankov V.I., Roumet C., Thomas S. C., Tjoelker M. G., Veneklaas E. J. & Villar R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985): 821-827.
- Xie K., Cakmak I., Wang S., Zhang F. & Guo S. (2021). Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal*, 9(2) : 249-256.
- Yang C. S., Wang H., Li G. X., Yang Z., Guan F. & Jin H. (2014). Cancer prevention by tea: Evidence from laboratory studies. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 54 : 115–138.
- Yang Y. (2014). Studies on the yellowing with piling process and the effect of the microorganisms on the Yellow tea. Hunan Agricultural University, Hunan, China. (In Chinese. Thèse de doctorat 150p.
- Yao K.E. (2013). Usages thérapeutiques traditionnels de *Alchornea cordifolia* (SCHUM. ET THONN.) MÜLL. ARG. (Euphorbiaceae) et tri phytochimique de l'extrait total aqueux des feuilles. Thèse de doctorat, UFR des Sciences de la Nature option physiologie, pharmacologie et phytothérapie, 161 p.
- Ye L., Wang H., Duncan S. E., Eigel W. N. & O'Keefe S. F. (2015). Antioxidant activities of vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) extract and its major component dihydromyricetin in soybean oil and cooked ground beef. *Food Chemistry*, 172: 416–422.

- You Q., Yang Y., Zhou M., Guo L., Qiu Z., Yang G., Lin Z., Zhu Y. & Lv H. (2025). Effects of fixation temperature on volatile components and key differential aroma compounds of green tea. *Beverage Plant Research*, 5(e041) : 1-11
- Zerbo P., Millogo-Rasolodimby J. & Nacoulma-Ouédraogo O. G. (2012). Plantes médicinales et pratiques médicales traditionnelles au Burkina Faso : cas du plateau central. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(3): 991-1005.
- Zhang C., Hiradate S., Kusumoto Y., Morita S., Koyanagi T. F., Chu Q. & Watanabe T. (2021). Ionomic responses of local plant species to natural edaphic mineral variations. *Frontiers in Plant Science*, 12: 1-15.
- Zhang J., Lv J., Zhuang G., Zhang J., Hu F. & Chen Y. (2024). The Evaluation of the Phytochemical Profiles and Antioxidant and α -Glucosidase Inhibitory Activities of Four Herbal Teas Originating from China: A Comparative Analysis of Aqueous and Ethanol Infusions. *Foods*, 13(11): 1-20.
- Zhang L., Cao Q. Q., Granato D., Xu Y. Q. & Ho C. T. (2020). Association between chemistry and taste of tea: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 101: 139–149.
- Zhen Y.S. (2002). Tea Bioactivity and therapeutic potential. CRC Press. Londres, (Royaume-Uni) : 211-242.
- Zhou M. & Yang J. (2023). Delaying or promoting? Manipulation of leaf senescence to improve crop yield and quality. *Planta*, 258(3): 1-13.
- Zhou Y., Zheng J., Li Y., Xu D. P., Li S., Chen Y. M. & Li H. B. (2016). Natural polyphenols for prevention and treatment of cancer. *Nutrients*, 8(8): 1-23.
- Zhu HongTao, Z. H., Yang ChongRen, Y. C., Li Yuan, L. Y., & Zhang YingJun, Z. Y. (2008). Advances on the research of microbes during the post-fermentative process of Pu-Er tea. *Acta Botanica Yunnanica*, 30 (6) : 718-724
- Zioh N. H. D., Kouame K. K. B., Zouzou S. C., Bolou S. R. & Foba F. S. I. (2024). Characterization of the physicochemical and energetic properties of *Alchornea cordifolia* leaves and fruits harvested in three regions of Côte d'Ivoire. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(10): 1259–1273.
- Zioh N. H. D., Zouzou S. C., Traoré F.D., Kouame K. K. B. & Bolou S. R. (2025). Evaluation of phytochemical compounds in the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* in three localities in Côte d'Ivoire. *Biological and Pharmaceutical Sciences*, 31(1) : 268-279.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1

Fiche de notation pour les tests hédoniques

TEST D'ACCEPTANCE

Nom :

Séance N°

Date :

Prénom :

Code de l'échantillon n°

Tranche d'âge : 20-30 30-40 Sexe F M

Instructions : goutez le produit servi et cochez le numéro correspondant à votre impression.

- 1 Extrêmement désagréable
- 2 Très désagréable
- 3 Désagréable
- 4 Assez désagréable
- 5 Ni, désagréable ni agréable
- 6 Agréable
- 7 Assez agréable
- 8 Très agréable
- 9 Extrêmement agréable

Annexe 2

Disponibilité

Exemple de questionnaire utilisé lors du recrutement (Meilgaard *et al.*, 1987)

Nom : _____

Tél : _____

Sexe : _____

Région d'origine : _____

Niveau d'étude : _____

Profession : _____

Quartier _____

Emploi du temps

Quels jours de la semaine et à quels moments de la journée pourriez-vous être régulièrement disponible ?

Quels sont les mois de l'année pendant lesquels vous serez absent(e)s

Santé

Rencontrez-vous les problèmes suivants :

Vue et Toucher

Maladies liées aux nerfs : _____

Problèmes de vue (myopie, presbytie) : _____

Prenez-vous des médicaments qui affecte votre sensibilité au toucher ou votre vue?

Flaveur et Texture

Portez-vous des dents artificielles ? : _____

Avez-vous le diabète ? : _____

Avez-vous une maladie de la voie orale ? : _____

Avez-vous des problèmes de tension (hypo / hyperglycémie) ? : _____

Avez-vous des allergies alimentaires ? : _____

Avez-vous souvent le rhume ou la sinusite ? : _____

Prenez-vous des médicaments qui affectent votre sensibilité au goût et à l'odorat ?

Habitude alimentaire (Flaveur)

Quel(s) est (sont) votre (vos) plat(s) favori(s) ? : _____

Quel(s) est (sont) votre (vos) plat(s) le (les) moins aimé(s) ? : _____

Quel(s) plat(s) n'aimeriez-vous pas manger ? : _____

Avez-vous des totems alimentaires ? : _____

Votre capacité à distinguer l'arôme et le goût est :

Mauvaise _____ Moyenne _____ Bonne _____

Annexe 3

Fiche de notation pour les profils sensoriels

Nom : Séance : Date

Prénom :

Code de l'échantillon Tranche d'âge : 20-30 30-40 50-60 Sexe F M **Instructions : goutez le produit servi et cochez sur l'échelle si dessous.****Arôme :** végétal terreux floral boisé

Pas du tout |-----| Beaucoup

Aspect : claire trouble

Pas du tout |-----| Beaucoup

Couleur : vert-jaune brune

Pas du tout |-----| Beaucoup

Goût : amer doux
 arrière gout-sucré
 arrière gout-amer astringent

Pas du tout |-----|

Commentaire libre

Annexe 4

Reference aux produits

Les descripteurs du thé vert, de la tisane et des feuilles mortes

Pour vous aider à catégoriser les différents descripteurs de vos produits, nous vous proposons des définitions et références :

Arôme

Boisée : crayon, bois de cèdre

Florale : Fleur d'oranger, citronnelle,

Végétale : herbe, paille

Terreuse : terre mouillée, argile

Goût

Amer : chocolat noir, café

Astringent : sensation de contraction sur les muqueuses et picotement (vin, pulpe de baobab, tomate et citron)

Arrière-goût amer : pamplemousse, aubergine

Doux : saveur ni aigre, ni amer, ni piquant, ni salé. Saveur agréable

Aspect

Claire : liquide qui laisse la lumière passé (eau minérale)

Trouble : liquide contenant des particules (jus de tamarin)

Couleur :

Vert-jaune : couleur de jeunes pousse de feuilles des plante (jus de pomme)

Brun : couleur de châtaigne (sucrierie moka café)

PUBLICATIONS
ISSUES DE LA THÈSE

PUBLICATION 1



Characterization of the Physicochemical and Energetic Properties of *Alchornea cordifolia* Leaves and Fruits Harvested in three Regions of Côte d'Ivoire

Zioh Nonhondé Horline Degrâce ^{a*},
Kouame Kan Benjamin ^a, Zouzou Soune Carole ^a,
Bolou Sahi Rosly ^b and Foba foba Stephane Isaac ^a

^a Agro-Valorization Laboratory, Jean Lorougnon Guédé University, UFR Agroforesterie, BP 150
Daloa, Côte d'Ivoire.

^b Laboratory of Nutrition and Food Technology, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-
Boigny (INP-HB), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

Authors' contributions

This work was carried out in collaboration among all authors. All authors read and approved the final manuscript.

Article Information

DOI: <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i101547>

Open Peer Review History:

This journal follows the Advanced Open Peer Review policy. Identity of the Reviewers, Editor(s) and additional Reviewers, peer review comments, different versions of the manuscript, comments of the editors, etc are available here: <https://www.sdiarticle5.com/review-history/124907>

Original Research Article

Received: 12/08/2024

Accepted: 15/10/2024

Published: 19/10/2024

ABSTRACT

Aims: This study aims to enhance the nutritional value of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* by characterizing the physicochemical compounds through their dosage.

*Corresponding author: E-mail: ziho.orline@gmail.com;

Cite as: Degrâce, Zioh Nonhondé Horline, Kouame Kan Benjamin, Zouzou Soune Carole, Bolou Sahi Rosly, and Foba foba Stephane Isaac. 2024. "Characterization of the Physicochemical and Energetic Properties of *Alchornea Cordifolia* Leaves and Fruits Harvested in Three Regions of Côte d'Ivoire". *Journal of Advances in Biology & Biotechnology* 27 (10):1259-73. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i101547>.

Study Design: To solve health problems, humans use different methods, including the use of spontaneous wild plants such as *Alchornea cordifolia*.

Place and Duration of Study: This study was carried out at the Agro-valorization laboratory of the Jean Lorougnon Guédé University of Daloa between November 2023 and July 2024.

Methodology: The plant material consisted of leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* harvested from three regions. The characterization of the pH and lipid ash, pH, dry matter, carbohydrates, energy values contents was carried out by official analysis methods (Association of Official Analytical Chemists), proteins by the Kjeldahl method, lipids by the Soxhlet method, fibers by the Weende method, and total and reducing sugars were determined using the UV-VIS spectrophotometry method by spectrophotometric use.

Results: the samples analysed contain the highest average content of proteins 15.11% for young leaves, 3.7% lipids, 3.9% pH, 58.69% carbohydrates and 261.63 kcal energy value. In terms of dried leaves, 6.02% ash, 91.80% dry matter and 37.83% fibre. Mature leaves record 6.66% total sugars and 3.2% reducing sugars.

Conclusion: In conclusion, these leaves, whether young, dried, or mature, offer a variety of essential nutrients that can meet different nutritional needs, ranging from protein and energy intake to digestion and mineral intake.

Keywords: *Alchornea cordifolia*; physicochemical properties; energetics; leaves and fruits.

1. INTRODUCTION

Herbal treatment is coming back to the forefront, as the effectiveness of medications such as antibiotics, once considered the near-universal solution to serious infections, is declining. Bacteria and viruses have gradually adapted to medications and are increasingly resistant to them [1]. The evaluation of the physicochemical parameters of medicinal plants is a crucial step in the enhancement of natural resources and the understanding of their therapeutic potential [2]. In Sub-Saharan Africa, populations place great importance on plants involved in nutrition and health [3,4]. Indeed, the family Euphorbiaceae includes *Alchornea cordifolia* (Schumach. & Thonn.) Müell. Arg. [5]. In Ivory Coast, one can find this elegant, sprawling climbing plant or shrub that thrives very well in tropical environments, in low-lying areas or forest zones. *Alchornea cordifolia*, a plant widely used in African traditional medicine, is recognized for its various medicinal properties. In Côte d'Ivoire, *Alchornea cordifolia* is traditionally used by the population through decoction or maceration for its anti-inflammatory, antimicrobial, antiparasitic, venotonic, and antioxidant properties [6,7]. According to Adeleye et al. [2], the leaves of *Alchornea cordifolia* contain tannins, alkaloids, and saponins that inhibit the growth of *Salmonella typhi*, *Escherichia coli*, and *Shigella*, as well as treatments for ulcers and diarrhea. The main reason is that leaves are a significant source of bioactive molecules [8].

However, despite its therapeutic use, very few studies have been conducted on the nutritional values of this plant. Through the analysis of the physical and chemical characteristics of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* collected from three distinct regions of Côte d'Ivoire, the general aim of this study is to contribute to the valorization of *Alchornea cordifolia* and to provide solid scientific foundations for its preventive and dietary use. More specifically, the aim is to evaluate the physicochemical properties of the *Alchornea cordifolia* plant on the one hand and to provide a scientific basis to promote the use of this plant in food and medicinal applications on the other.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

2.1.1 Plant material

The biological material used in this study consists of leaves in different states of maturity (young, mature and dried) and fruits of *Alchornea cordifolia* harvested in the cities of Daloa, Séguéla and Yamoussoukro (Fig. 1). The plant was identified with the "PlanNet" application and then confirmed by the botany laboratory of the Jean Lorougnon Guédé University of Daloa. Then put in plastic bags on which the stage of maturity and the sampling locality were indicated and transported to the Agro-valorization Laboratory of the Jean Lorougnon Guédé University of Daloa for physicochemical analyses.



Fig. 1. Leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* a. young leaves ; b. mature leaves ; c. fruit ; d. dried leaves

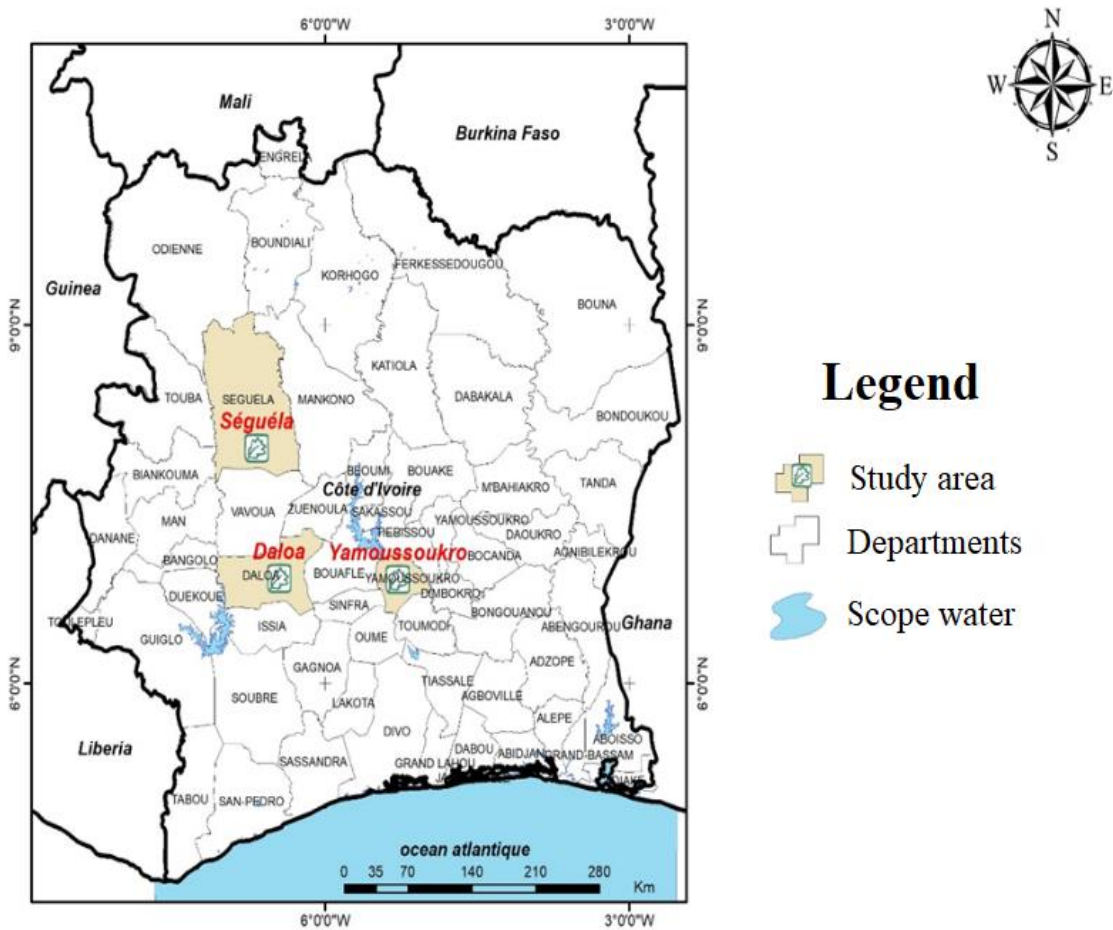


Fig. 2. Study Area Delineation Map

2.1.2 Study area

The study was conducted in the regions of Daloa, Yamoussoukro and Séguéla, which are areas of natural regrowth of *Alchornea cordifolia* grows naturally and where the picking and marketing and use of the leaves of this plant are practiced.

2.2 Methods

2.2.1 Samplig

Leaf-by-leaf harvesting of *Alchornea cordifolia* samples was carried out as early as 7 a.m. in the period from February to March 2023 and from September to October 2023. Leaves (young, mature and dried) and fruits were collected and put in plastic bags on which the stage of maturity and the sampling location were indicated. These bags were put in a cooler containing ice accumulators for transport to the Agrovalorisation Laboratory of the Jean Lorougnon Guédé University in Daloa. The samples were washed with tap water and dried in the shade at room temperature (25-30° C) for two weeks. 350 g of each leaf (young, mature, dead) as well as fruit were collected, crushed using a grinder and sieved with a 200 micron sieve to give a fine powder This fine powder was packaged in labelled bags and stored at room temperature for the various analyses

2.2.2 Physicochemical analysis of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

2.2.2.1 Determination of the dry matter content of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

The method used for the removal of water from the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* is that of the AOAC [9], the principle of which is based on dehydration by drying samples in an oven until a constant mass is obtained. A quantity of five (5) grams of fresh leaves of *Alchornea cordifolia* was weighed using a balance in a crucible of known mass (M0). The assembly (crucible + powder) of mass M1 was put in the oven at 105°C (± 2°C) for 24 hours. After cooling with a desiccant, the crucible is weighed again (M2). Three tests were performed for each sample. The dry matter content was determined from the following formula:

$$\text{Humidity (\%)} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_{e_0}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Dry Matter (\%)} = 100 - \text{Humidity (\%)} \quad (2)$$

M1: Mass of the crucible + test sample (g)
M2: Mass of the entire assembly after drying. (g)
ME0: Test drive (g)

2.2.2.2 Determination of the protein content of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

Determination of crude protein content according to the KJELDHAL method [9]. One (1) gram of each sample of fine powder of *Alchornea cordifolia* leaves was heated to 400°C for 2 hours in the presence of a catalyst (selenium + potassium sulphate) and 20 mL of concentrated sulphuric acid. The residue of the mineralization was supplemented to 60 mL with distilled water, then added 50 mL of soda (40%) before being brought to a boil in a distiller. The ammonia released was collected in an Erlenmeyer flask containing 10 mL of boric acid (4%), with the addition of a mixed indicator (methyl red + bromocresol green). The assay was carried out by a solution of sulphuric acid (0.1 N) and the crude protein content was obtained by multiplying the nitrogen content (% N) by 6.25. The nitrogen and protein levels were obtained according to the following formulas:

$$N (\%) = \frac{Va \times Na \times 14,007}{1000 \times PE} \times 100 \quad (3)$$

% N: Nitrogen content present in the sample.
Va: Volume of sulfuric acid poured (mL)
Na: Normality of sulfuric acid (0,1 N)
PE: Sample trial taking (g)

$$\text{Protein content (\%)} = \% N \times 6,25 \quad (4)$$

2.2.2.3 Determination of the ash content of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

The method used to determine the residues of mineral compounds remaining after incineration of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* was that of AOAC [10]. A quantity of 0.5 g of each sample of fine powder of *Alchornea cordifolia* leaves was weighed using a balance in a crucible of known mass (M0). The whole (crucible + fine powder) was heated to the muffle furnace at 650 °C (± 2 °C) for 8 hours. After cooling in a desiccator, the crucible containing the ashes is weighed and noted (M1). Three tests were conducted. The ash content was determined from the formula:

$$\text{Ash (\%)} = \frac{M_1 - M_0}{PE} \times 100 \quad (5)$$

M1: Mass of the crucible + ashes (g)
PE: Test taking (g)
M0: Mass of the crucible (g)

2.2.2.4 Determination of reducing sugars in the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

The quantification of reducing sugars was carried out according to the method of Bernfeld [11]. A volume of one millilitre (1 mL) of an ethanolic extract from *Alchornea cordifolia* powder was introduced into a test tube and successively a volume of 0.5 mL of distilled water and a volume of 0.5 mL of dinitrosalicylic acid (DNS) were added. The mixture was heated in a boiling water bath for 5 minutes and after cooling, a volume of 5 mL of distilled water was added. The optical density was thus read at 540 nm against a blank test. A calibration range using a 0.1 mg/mL glucose solution allowed the quantification of reducing sugars and the tests were carried out in triplicate.

2.2.2.5 Determination of total sugars in the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

The determination of total soluble sugars was carried out according to the method of Dubois et al. [12]. After extraction with 80° G.L ethanol (Gay Lussac) of the free sugars contained in a quantity of 5 g from each sample of the vegetable powder, purification by solutions of lead acetate (10%) and oxalic acid (10%) was carried out. The resulting solution was evaporated in a sand bath and supplemented with 25 mL with distilled water. A quantity of one millilitre (1 mL) of the previous sugar solution was taken, followed by 1 mL of phenol (5%) and 5 mL of concentrated sulphuric acid (94-97%). After cooling to room temperature, the reading was made at the wavelength of 490 nm on the spectrophotometer, against a standard range of 0 to 80 µg glucose. The tests were done in triplicate.

2.2.2.6 Determination of the fiber content of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

The crude fibre content of the samples was determined using the Weende method [9]. This method consists of treating the sample at a boil with sulphuric acid and then with soda. The resulting residue was dried, then calcined and weighed. The procedure consisted of putting a quantity of 2 g of sample in a beaker containing 50 ml of 0.25 N sulphuric acid. The mixture was then brought to a boil for 30 minutes. After that, 50 ml of the 0.31 N soda was added to the boiling mixture for 30 min. After filtration, the residue was washed several times with hot

distilled water until the alkali was completely removed. The resulting insoluble was dried at 105 °C for 8 hours and weighed (M1). This dry residue was incinerated at 550 °C in a muffle furnace, previously heated to 550 °C for 3 hours and the ashes were weighed (M2). The crude fibre content was given by the following relationship:

$$F(g / 100 g \text{ de MS}) = \frac{M_1 - M_2}{P_e} \times 100 \quad (6)$$

F : crude fibre content

M₁ : mass of the sample after 8 h of time in the oven

M₂ : dry residue after incineration at 550 °C for 3 h

P_e : Test Socket

2.2.2.7 Determination of the lipid content of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

Lipids were determined using the Soxhlet method [9]. The fat was extracted by reflux heating and then weighed after evaporation. Fat content determination involves extracting the lipids from the sample with an organic solvent (hexane). The procedure consisted of introducing 10 g of sample into the Whatman cartridge, cotton was placed at the opening of the cartridge to prevent the sample from being carried away by the solvent during extraction. In an extraction tank, 300 ml of hexane was introduced, the tank was placed on a heating block and the connections of the various elements of the device were made. The refrigerant valve was opened and the heating unit was turned on for 6 hours. After this extraction time, the flask was removed from the Soxhlet device (made of 500 ml Pyrex France tube), and was placed in the rotary evaporator to separate the fat and solvent. Then, the whole thing (flask + fat) was dried in the oven and cooled in a desiccant for 15 minutes, then weighed. The fat content was finally determined according to the following formula:

$$MG (g/100 g \text{ de MS}) = \frac{(B_H - B_V)}{P_e} \times 100 \quad (7)$$

MG : grasses fat content

B_V : mass of the empty balloon

B_H : mass of the empty flask and oil after extraction

P_e : Test Socket

2.2.2.8 Determination of the carbohydrate content of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

Total carbohydrates were determined by estimation using the following relationship [13].

$$\text{Glucides (\%)} = 100 - [\text{cendres (\% MS)} + \text{protéines (\% MS)} + \text{lipides(\% MS)} + \text{fibres(\%MS)}] \quad (8)$$

2.2.2.9 Determination of the energy value of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

The energy value (EV) of food comes from the three (03) macronutrients (carbohydrates, fats and proteins). It was calculated by multiplying the mean macronutrient values by the Atwater factors of 4, 4 and 9 respectively [13] according to the following expression:

$$\text{VE (kcal/100g)} = [(\% \text{ glucides} \times 4) + (\% \text{ protéines} \times 4) + (\% \text{ lipides} \times 9)] \quad (9)$$

2.2.2.10 Determination of the pH of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia*

pH was determined using AOAC [14]. 2.5 g of sample was weighed in a 50 ml tube and then 20 ml of distilled water added. The whole thing was centrifuged at 4000 rpm for 15 minutes, then 10 ml of the supernatant was taken from a beaker for pH measurement. The pH was measured by dipping the electrode previously calibrated with pH 4.00 and pH 7.00 buffer solutions in the 10 ml of the solution and the value was read on the pH meter display.

2.3 Statistical Analysis

The statistical analysis was carried out with the Statistica 7.0 software and when a difference is observed, an HSD tuckey test is done to mark this difference at the 95% threshold ($p < 0.05$).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Results

3.1.1 Dry matter content of *Alchornea cordifolia* fruits and leaves analysed

The results of the dry matter content of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* according to the regions of Yamoussoukro, Daloa and Séguéla are presented below (Fig. 3).

The highest dry matter content is obtained from the dried leaves of *Alchornea cordifolia*. They are 90.14% in Yamoussoukro and 92.64% in Daloa and Séguéla. On the other hand, the levels of the other three categories of samples (young leaves, mature leaves and fruit) are all less than 30% dry matter.

3.1.2 Protein content of fruits and leaves of *Alchornea cordifolia*

Fig. 4 shows the protein content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaves as a function of sampling locations. It revealed variable protein levels in all the samples from the three locations. Concerning the locality of Yamoussoukro, mature leaves have the highest protein content (28%) followed by young leaves (25%), dried leaves (12.33%) and fruits (10%). At the level of Daloa, the young leaves (5.67%) and fruits (10%) have low levels compared to those of mature leaves (13.67%) and dried leaves (15.33%). As for the city of Séguéla, the fruits revealed lower protein contents (6%), while the young leaves and dried leaves showed average contents of 14.67 and 15.33%. Regardless of the locality and stage of ripening, the highest value was observed at the level of mature leaves (28%) in Yamoussoukro.

3.1.3 Ash content of fruits and leaves of *Alchornea cordifolia*

The proportions of ash obtained from the different parts of *Alchornea cordifolia* samples are represented according to the sampling locations in Fig. 5 below. The highest ash content of young leaves was obtained in the Daloa samples (6.54%), followed by those of Séguéla (5.65%) and Yamoussoukro (4.92%). By count, dried leaves have equal contents (6.21%) for the regions of Daloa and Séguéla and 5.65% for Yamoussoukro. Variable ash contents of 3.65%, 4.17% and 4.97% were obtained with mature leaves respectively in the regions of Yamoussoukro, Daloa and Séguéla. Similarly, in the regions of Yamoussoukro (4.62%), Daloa (5.04%) and Séguéla (4.96%), the ash content obtained from the fruits remains variable.

3.1.4 Reducing sugar content of fruits and leaves of *Alchornea cordifolia*

The regions of Daloa and Yamoussoukro have the highest levels of reducing sugars specifically in mature leaves (4.4% and 3.1%) and fruits (3.9% and 2.4%). As for the locality of Séguéla, the values obtained are approximately identical in all the other samples studied (Fig. 6).

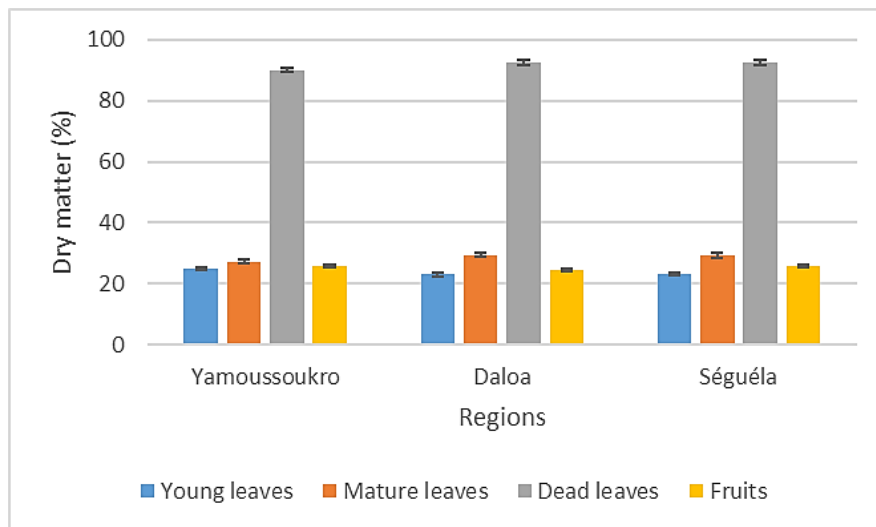


Fig. 3. Percentage dry matter content of fruits and different leaf stages of *Alchornea cordifolia* according to sampling regions

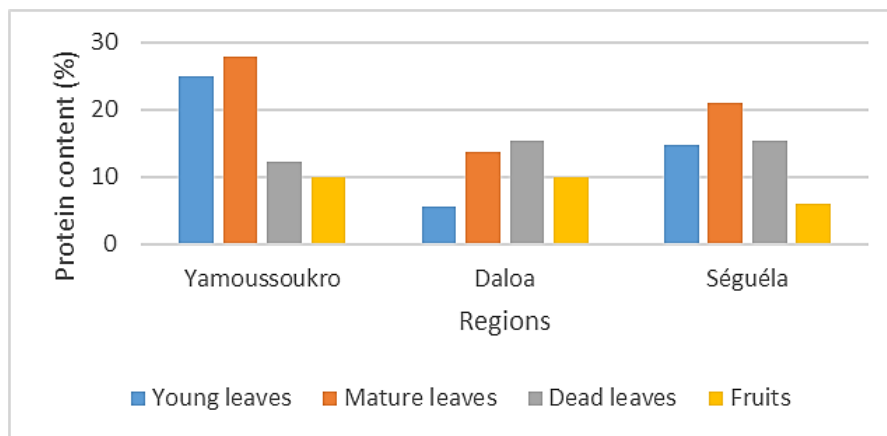


Fig. 4. Protein content of fruits and different leaf stages of *Alchornea cordifolia* depending on the region

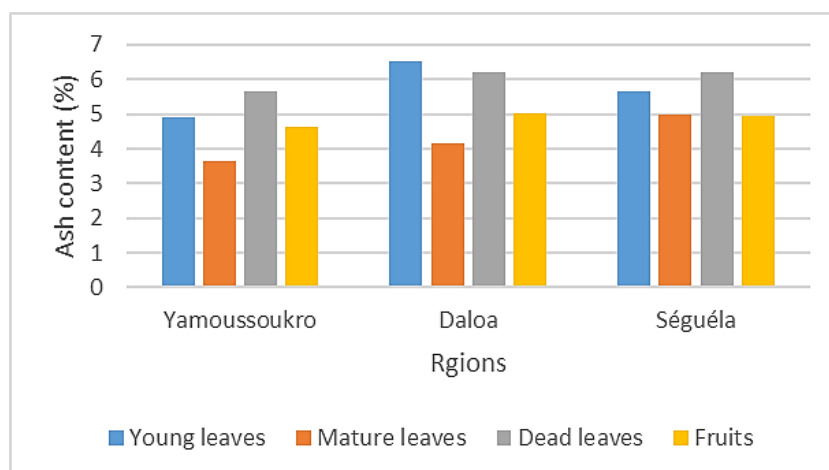


Fig. 5. Ash content of fruits and different leaf stages of *Alchornea cordifolia* according to sampling regions

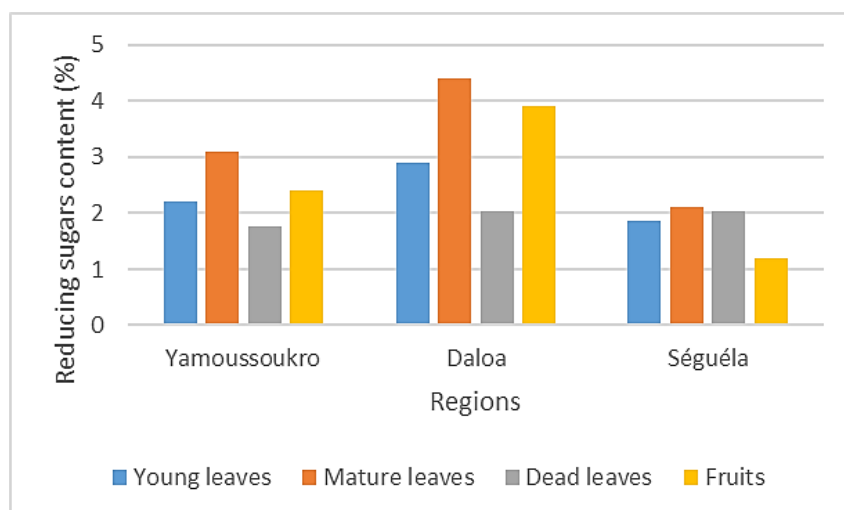


Fig. 6. Reducing sugar content of fruits and different leaf stages of *Alchornea cordifolia* according to sampling regions

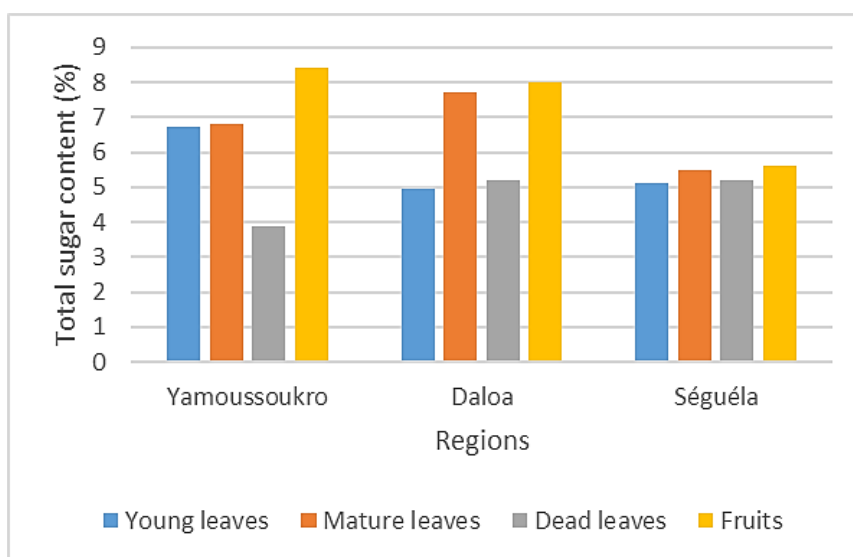


Fig. 7. Total sugar contents of fruits and different leaf stages of *Alchornea cordifolia* according to sampling regions

3.1.5 Total sugars content of fruits and leaves of *Alchornea cordifolia*

Fig. 7 shows the total sugar content of the various elements studied. Fruits have the highest total sugar contents, 8.4% in Yamoussoukro, 8% in Daloa and 5.6% in Séguéla. They are followed by mature leaves, with a content of 6.8% in Yamoussoukro, 7.71% in Daloa and 5.47% in Séguéla. As for the young leaves, those of Yamoussoukro contain 6.73%, Daloa 4.95% and Séguéla 5.13%. Dried leaves are the lowest in total sugar with 3.9% in Yamoussoukro, 5.2% in Daloa and Séguéla.

3.1.6 Fiber content of *Alchornea cordifolia* fruits and leaves

The results of the fibre content of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* according to the regions of Yamoussoukro, Daloa and Séguéla are presented in Fig. 8. In each of the sampling regions, fibre contents are high for dried leaves (39.01% in Séguéla and Daloa ; 35.48% in Yamoussoukro), mature leaves (32.48% in Daloa, 30.86% in Yamoussoukro and 27.28% in Séguéla) and for young leaves, which vary from 21.80% to 24.04% from Yamoussoukro to Daloa. In terms of *Alchornea cordifolia* fruits, the fiber

content is higher (28.34%) with those collected in Séguéla followed by Yamoussoukro (23.10%) and Daloa (20.76%).

3.1.7 Lipid content of fruits and leaves of *Alchornea cordifolia*

The results of Table 1 present the lipid content of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* according to the regions of Yamoussoukro, Daloa and Séguéla. The lipid contents of mature and dried leaves have the highest values in the region of Yamoussoukro (2.27% and 2.46%). In the locality of Daloa, 8.75% of lipid levels were observed in the fruits, compared to values that did not exceed 2% in young leaves (1.08%), mature leaves (1.46%) and dried leaves (1.59%). The locality of Séguéla shows concentrations of 0.77% for fruits, 1.32% for dried leaves, 1.33% for young leaves and finally 1.52% for mature leaves.

3.1.8 Carbohydrate content of fruits and leaves of *Alchornea cordifolia*

Fig. 9 shows the carbohydrate content of young, mature and dried leaves and fruits harvested in

Yamoussoukro, Daloa and Séguéla. The carbohydrate content of fruit is higher in Yamoussoukro (60.70%), followed by Séguéla (59.93%) and Daloa (55.45%). As for the young leaves, those from Daloa, Séguéla and Yamoussoukro contain 63.67%, 54.77% and 47.47% respectively. As far as mature leaves are concerned, this content is higher in Daloa (48.20%), which rises to 45.23% in Séguéla and 35.21% in Yamoussoukro. Finally, for dried leaves, this content remains constant in Séguéla and Daloa (38.13%), different from Yamoussoukro where it rises to 44.07%.

3.1.9 Energy content of fruits and leaves of *Alchornea cordifolia*

The figure below shows the energy value of the different matrices studied. Regardless of the locality, the fruits remain the most energetic with a maximum of 295.56 kcal, followed by the young leaves (237.17 to 250.18 kcal). For mature leaves, this value varies between 213 and 225.41 kcal. Dried leaves are the poorest with a value between 184.57 and 208.02 kcal (Fig. 10).

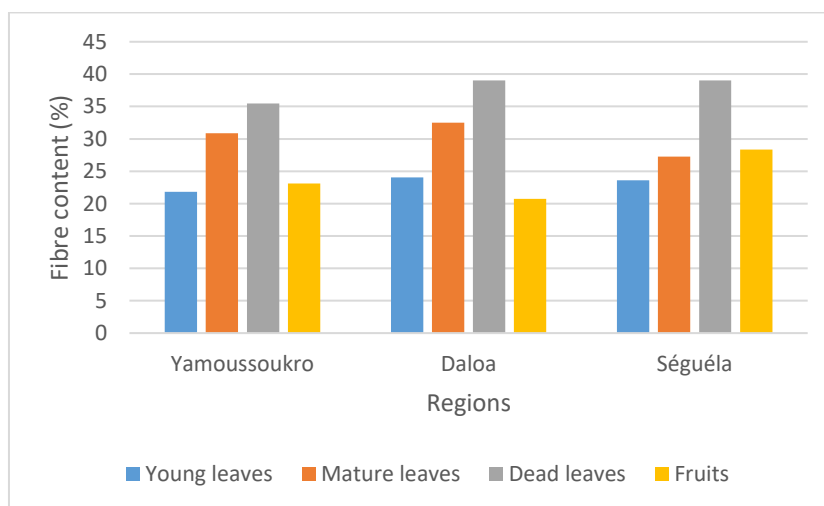


Fig. 8. Fibre content of fruits and different leaf stages of *Alchornea cordifolia* according to sampling regions

Table 1. Lipid content of *Alchornea cordifolia* leaves and fruits in relation to regions

Types of leaves	Yamoussoukro	Daloa	Séguéla
Young leaves	0.8 ± 0.30 ^c	1.08 ± 0.33b ^c	1.33 ± 0.57 ^a
Mature leaves	2.27 ± 0.69 ^a	1.46 ± 0.20b ^c	1.52 ± 0.57 ^a
Dried leaves	2.46 ± 0.74 ^a	1.59 ± 0.26 ^b	1.32 ± 0.42 ^a
Fruits	1.58 ± 0.03 ^b	8.75 ± 0.58 ^a	0.77 ± 0.15 ^{ab}

The values are the means ± standard deviations (n=9). Means with different alphabetic letters on the same column are significantly different (p < 0.05), according to the HSD Tuckey test

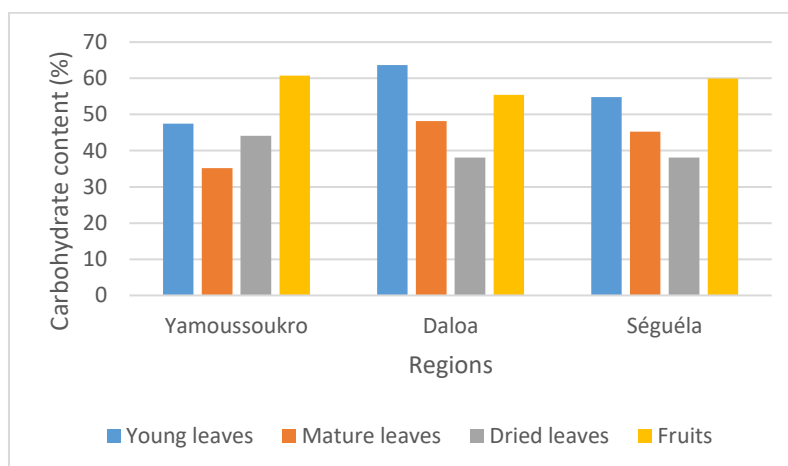


Fig. 9. Carbohydrate content of fruits and different leaf stages of *Alchornea cordifolia* according to sampling regions

3.1.10 pH of the fruits and leaves of *Alchornea cordifolia*

The pH values of the fruits and leaves of *Alchornea cordifolia* analyzed ranged from 3.8 to 4.6 for all the samples studied (Table 2). Young leaves have similar pH values in all three regions, with slight variation. At the level of mature leaves show a slight decrease in pH compared to young leaves, dried leaves have an even lower pH, indicating further acidification. As for the fruits, they have the lowest pH values, particularly in Daloa and Séguéla.

3.2 Discussion

Physicochemical analyses indicate substantial variations in element concentrations, influenced by leaf and fruit categories, as well as by the geographical locations of sampling. Dry matter analyses show that young leaves and fruit contain less dry matter than mature leaves and dried leaves. These results are consistent with those obtained by Ekissi [15] for young and mature leaves of *Lippia multiflora*. In addition, the dry matter levels of the samples in this study are higher than those reported by Soro, [16] on the leaves of *Lippia multiflora* which are 24.70% for young leaves and 27.83% for mature leaves. Also, these results are lower than those obtained by de Solomo et al. [17] on the leaves of *Alchornea cordifolia* in DR Congo, which contain 44.34% dry matter. Variations in dry matter content can be attributed to the stage of development, the harvest period and the location of leaf collection [18,19]; [20]. According to Erukainure et al. [21], the high dry matter values obtained allow for long-term storage. According

to George, [22], moisture content contributes significantly to leaf texture and promotes the maintenance of protoplasmic cell content. Finally, the high dry matter content in dried leaves could be explained by the loss of water from these leaves by evaporation, which proportionally increases this content [23]. Dried leaves with a high dry matter content can also indicate an advanced stage of senescence (aging) of the plant. At this stage, the plant reabsorbs nutrients from the leaves before they fall off, leaving a greater proportion of dry matter [23].

The protein content of the different sheets analysed varies from 5.67% to 28%. These values exceed those reported by Soro, [16] for young (10%) and mature (13%) leaves, as well as those reported by Ekissi, [15] for different types of *Lippia multiflora* leaves (9.01% to 12.76%). They are also identical to those obtained by Oulai et al. [24] for mature baobab leaves, with an average of 18.70%. Therefore, the leaves of *Alchornea cordifolia* are an important source of protein. In addition, the protein content of the fruits is lower than that of the leaves studied; according to Rydlewski et al. [25], fruits in general do not represent potential sources of protein. The gradual decrease in protein content from young leaves to dead leaves indicates physiological and biochemical changes during the life cycle of the leaves [15]. Variations in protein content can also indicate specific adaptations of plants to local conditions, optimizing their growth and survival according to available resources [16]. The ash content, which is an index of the minerals present in living organisms, varies from 3.65% to 15.33% in the samples taken from the three sites. These values

exceed those reported by Edeoga et al. [26] for *Ocimum gratissimum* leaves (6.88%) but do not agree with the results obtained by Ekissi [15] on wild plants of *Lippia multiflora* (from 9.37% to 17.31%). According to Onot et al. [27], increased ash content is correlated with the presence of a high network of mineral elements. On the other hand, the dried leaves have an average ash content of 11.22%, thus demonstrating the richness in minerals. This observation could justify the preference for the use of dried leaves to the detriment of mature and young leaves for the postpartum treatment of women, malaria, anaemia [5].

The concentrations of reducing sugars in *Alchornea cordifolia* leaves, ranging from 1.2% to 4.4%, are almost identical to those reported by Ekissi, [15] for different categories of *Lippia multiflora* leaves ranging from 1.99% to 4.04%. Indeed, the low level of reducing sugars observed in leaves can be attributed to the transfer and storage of molecules synthesized during photosynthetic processes to reserve organs, such as grains and tuberous roots [28]. In our study, the total sugar content of leaves of different stages of ripening and fruits of *Alchornea cordifolia* varying from 3.9 to 8.4% is

below that obtained by Solomo et al. [17] (30.83% ±8.64) on the same species in DR Congo. For Soro, [16] this variation in content within the same species would be the cause of the distinct geographical origin of the samples of the two studies, which could be influenced by various factors such as climatic conditions.

The results indicate that the dried leaves have higher fibre contents in the three different locations (35.48%, 36.52% and 39.01%). These fibre concentrations are identical to those reported by Oulaï et al. [24] for mature baobab leaves (from 22.98% to 33.90%). Since fibre is neither digested nor adsorbed by the digestive system, it is of paramount importance for the body because it intervenes in the digestive tract, thus preventing excessive cholesterol absorption and contributing to the regulation of blood sugar levels [29,30]. Also, this high crude fiber content suggests that the leaves of *Alchornea cordifolia* could be a beneficial dietary supplement for people suffering from obesity, high blood pressure and blood sugar disorders. This could explain the preference of the Ivorian population for the use of dried leaves, malaria, high blood pressure [5].

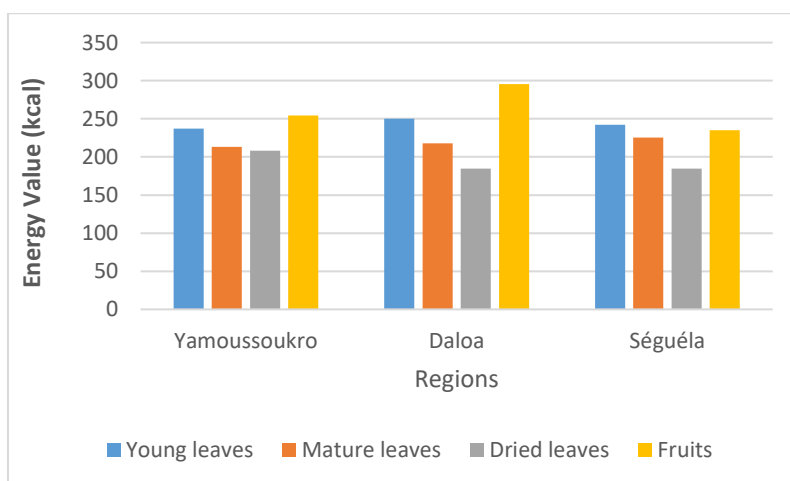


Fig. 10. Energy content of fruits and different leaf stages of *Alchornea cordifolia* according to sampling regions

Table 2. pH value of *Alchornea cordifolia* leaves and fruits according to the different regions

	Types of leaves	Yamoussoukro	Daloa	Séguéla
pH	Young leaves	4.63 ± 0.10 ^a	4.43 ± 0.18 ^a	4.53 ± 0.05 ^a
	Mature leaves	4.47 ± 0.05 ^b	4.30 ± 0.09 ^a	4.40 ± 0.05 ^a
	Dried leaves	4.27 ± 0.13 ^c	4.30 ± 0.09 ^a	4.13 ± 0.05 ^b
	Fruits	4.20 ± 0.05 ^d	3.90 ± 0.05 ^b	3.80 ± 0.05 ^c

The values are the means ± standard deviations (n=9). Means with different alphabetic letters on the same column are significantly different ($p < 0.05$), according to the HSD Tuckey test

The lipid contents in the different types of leaves vary from 0.8% to 2.46%. These results are lower than those reported by Oulai et al. [24] in baobab leaves with concentrations of 6.66% and 4%, respectively. These results are also lower than those of Solomo et al. [17] obtained in Congo in the leaves of *Alchornea cordifolia*, which are 6.8%. This difference could be explained by the environmental factors observed within the two study areas that act on the composition of the soil, particularly on its nutrient content [31]. The leaves of *Alchornea cordifolia* analyzed in this study are relatively low in lipids, which confirms the conclusions of Anihouvi, [32] in Benin which demonstrated a low lipid content of the leaves in general.

The concentrations obtained in the fruits and leaves at different stages of growth, analysed in this study, reveal that *Alchornea cordifolia* is a carbohydrate-rich plant. Indeed, these levels are close to those obtained by Oulai et al. [24] in the study of baobab leaves harvested in Abidjan ($64.10\% \pm 0.05$), Bouaké ($72.86\% \pm 0.01$), Boundiali ($73.53\% \pm 0.05$) and Man ($69.29\% \pm 0.11$). But the levels obtained are higher than those obtained by Dappah et al. [33] by studying the composition of the leaves of *Corchorus olitoris*, commonly known as "Pklara in Côte d'Ivoire", which contain 26.03% carbohydrates. Thus, the incorporation of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* into the diet is an adequate source of non-starchy carbohydrates because they contain as many carbohydrates as baobab leaves, the consumption of which covers the recommended daily intake (RDI) of nutrients [34].

The energy values associated with the leaves of *Alchornea cordifolia* harvested at different stages of maturity and analysed vary from 184.57 to 242.35kcal. These values are similar to those obtained by Solomo et al. [17] by studying leaves of the same species. In addition, the leaf energy values obtained in our study are lower than those obtained by Oulai et al., 2019 on baobab leaves. Indeed, for Nga et al. [35], this energy difference could be explained by the taxonomic difference of these plants, which could also influence these contents. Similarly, the energy value of the fruits of *Alchornea cordifolia* studied is higher than that of some frequently consumed fruits such as avocado (155 kcal/100g), mango (64.4 kcal/100g), guava (68 kcal/100g) and orange (47 kcal/100g) according to Stadlmayr et al. [36] ; CIQUAL, [37].

The fruits of *Alchornea cordifolia* could therefore contribute to energy intakes in order to meet the

recommended daily energy requirements in developing countries, which vary from 950 kcal for children under 12 months of age to 2710 kcal for lactating women [38].

The pH of the leaves is acidic, regardless of the locality, with values ranging from $4.13 \pm 0.05\%$ to $4.63 \pm 0.10\%$ for the different leaf stages analysed. These values are higher than those reported by Koffi et al. [39] for the leaves of *Alchornea cordifolia* (3.90 ± 0.05), but lower than those found in the roots and stems of the same plant (5.33 ± 0.03 ; 5.01 ± 0.03). Differences in pH between regions may reflect variations in environmental conditions, such as soil type, water availability, and agricultural practices. The gradual decrease in pH from young to dead leaves indicates physiological and biochemical changes during the life cycle of the leaves. This variation in pH between fruits and different types of leaves could be explained by non-identical climatic conditions and the mineral composition of the leaves [39].

4. CONCLUSION

This study made it possible to determine the physicochemical composition of the fruits and leaves of *Alchornea cordifolia* at different stages of maturity (young, mature and dried leaves). The characterization of the physicochemical compounds shows that the different concentrations vary on the one hand, according to the plant organs and the age of the leaves, and on the other hand, according to the environmental conditions across the regions. The protein content (5.67-28%) is significant, especially in young leaves, which may contribute to protein intake in diets, particularly in areas where animal protein sources are limited. The energy value (184.57 to 295.56 kcal) shows that these plants can be an important source of energy, especially in diets where calories are needed to support daily activities. As for fiber (20.76 to 39.01%), it is essential for digestive health. Adequate fiber intake can prevent diseases like type 2 diabetes, cardiovascular disease, and some types of cancer. The results of this study show that the young leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* provide a considerable source of nutrients and highlight the potential of *Alchornea cordifolia* in traditional medicine and dietary applications, offering promising prospects for the development of natural treatments and balanced diets. However, phytochemical characterization studies are needed to evaluate the therapeutic properties of

the plant. Second, to develop fortified food products based on *Alchornea cordifolia* to improve nutrition in vulnerable communities. then to study the effects of regular consumption of *Alchornea cordifolia* leaves and fruits on human health, particularly on digestion, metabolism and the prevention of chronic diseases

DISCLAIMER (ARTIFICIAL INTELLIGENCE)

Author(s) hereby declare that NO generative AI technologies such as Large Language Models (ChatGPT, COPILOT, etc.) and text-to-image generators have been used during the writing or editing of this manuscript.

COMPETING INTERESTS

Authors have declared that no competing interests exist.

REFERENCES

1. Iserin P. Larousse of medicinal plants, identification, preparation, care. Edition.Larousse. 2001; 68:15-16.
2. Adeleye A. Ezekiel O. Smith S. Odusola O. Sobande J. Antibacterial activity of extracts of *Alchornea cordifolia* (Schum and Thonn) Mull.Arg., *Boerhavia diffusa* (L) and *Bridellia micrantha* (Hoscht) Baill. used in traditional medicine in Nigeria on *Helicobacter pylori* and four diarrhoeagenic bacterial pathogen. African Journal of Biotechnology. 2008;7(20):3761-3764.
3. Ambé GA. Edible wild fruits of the Guinean savannahs of Côte d'Ivoire: state of knowledge by a local population, the Malinké". Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2001;5(1):43–58.
4. Yao K. Medicinal and food plants most used in Côte d'Ivoire: ethnobotanical surveys, research into antioxidant activities", Thesis for a diploma of advanced studies in botany Option: Biology, Morphology and Plant Taxonomy U.F.R. Biosciences Felix Houphouët Boigny University; 2010
5. Yao KE. Traditional therapeutic uses of *Alchornea cordifolia* (SCHUM. ET THONN.) MÜLL. ARG. (Euphorbiaceae) and phytochemical sorting of the total aqueous extract of the leaves. UFR of Natural Sciences option physiology, pharmacology and phytotherapy thesis. 2013:61.
6. Kerharo J. Adam JG. Traditional Senegalese pharmacopoeia: medicinal and toxic plants. Vigot ; 1974.
7. Dibong SD. Mpondo E. Ngoye A. Kwin NF. Medicinal plants used by the Bassa populations of the Douala region in Cameroon. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 2011;5(3):1105-1117.
8. Ferrari J. Contribution to the knowledge of the secondary metabolism of Thymelaeaceae and phytochemical investigation of one of them: *Gnidia involucrata* Steud. ex A. Rich. University of Lausanne. Faculty of Sciences. 2002 ;249.
9. AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 15th Edn., Washington DC., USA. 1990;200-210.
10. A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists Official Methods of Analysis. 17th Edition Virginia, USA. 1995;1141.
11. Bernfeld P. Enzymes of starch degradation and synthesis. Adsan. Enrs-rnoL. 1955; 12:379-428.
12. Dubois M. Gilles KA. Hamilton J K. Rebers PA. Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry. 1956; 28:350-356.
13. FAO Carbohydrates in Human Nutrition. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation (FAO Food and Nutrition Paper 66) Food and Agriculture Organization: Rome ; 1998.
14. A.O.A.C. Official method of analysis 11th Edition. Washington, D.C. 1984:51-52.
15. Ekissi AC. Nutritional valorization of the leaves of the savannah tea plant (*Lippia mutiflora*) of Côte d'Ivoire and derived products (herbal tea and green tea). Doctoral thesis in biochemistry Felix Houphouët Boigny University of Côte d'Ivoire. 2014:196.
16. Soro L. Biochemical characterization and biological activities of the leaves of *Lippia multiflora* "savannah tea plant" grown in forest and savannah environments of Côte d'Ivoire) single doctoral thesis specializing in nutrition and food security Nangui Abrogoua University. 2015: 222.
17. Solomo E. Termote C. Tchatchambe WB. Malombo TB. Katusi L. Dhed'a D. Nutrients and toxic substances in the leaves of four wild food plants consumed by the riverside population of the Yoko forest reserve, Ubundu territory in the Tshopo province

- (DR Congo). International Journal of Innovation and Applied Studies. 2017;21(2):298-305.
18. Oboh G. Prevention of garlic-induced haemolytic anaemia by some tropical green leafy vegetables. Biomed. Res., 2005;15:134-137.
 19. Hassan SB. Gali-Muhtasib H. Gëransson H. Larsson R. Alpha terpineol: a potential anticancer agent which acts through suppressing NF-kappaB signalling. Anticancer Res. 2007;30:1911-1919.
 20. Silué D. Spider flower: An indigenous species with many uses. A VRDC - The World Vegetable Center Regional Center for Africa PO Box 10 Duluti, Arusha, Tanzania. 2009;35.
 21. Erukainure OL. Oke OV. Adeboyejo F. Kayode FO. Ateyoju O. Nutritional evaluation of Clerodendrum volubile, an unconventional tropical vegetable as sole source of dietary protein in rats Int. J. Biol. Med. Res. 2011;2(1):374–377.
 22. George PM. Encyclopedia offoods.. Humane Press; Washington. 2003;1:526.
 23. Kazakou E. Vile D. Shipley B. Gallet C. Garnier E. Co-variations in litter decomposition, leaf traits and plant growth in species from a mediterranean old-field succession. Functional Ecology. 2006;20:21-30.
 24. Oulai A. Cissé I. N'dri EK. Anin LA. Adima AA. Phytochemical, nutritional composition and antioxidant activity of baobab leaves from Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences 2019; 141:1439 -14399
 25. Rydlewski AA. de Morais DR. Rotta EM. Claus T. Vagula JM. Da Silva MC. Santos Junior OO. Visentainer JV. Bioactive Compounds, Antioxidant Capacity, and Fatty Acids in Different Parts of Four Unexplored Fruits. Journal of Food Quality. 2017;(1):8401074.
 26. Edeoga HO. Omosun G. Uche LC. Chemical composition of Hyptis suaveolens and Ocimum gratissimum hybrids from Nigeria. African Journal of Biotechnology. 2006;5(10).
 27. Onot OE. Umoh IB. Eka OU. Effect of a Typical Rural Processing Method on The Proximate Composition and Amino Acid Profile of Bush Mango Seeds (Irvingia gabonensis) Agriculture, Nutrit. & Develop. 2007;7(1):20- 27.
 28. Konan JLK. Turquin L. Attah H. Yao-kouame A. Allou K. Ake S. Lippia multiflora (verbenaceae) in Ivory Coast: update on initial research results and cultural issues. African Agronomy. 2010;22 (2):121–130.
 29. Mensah JK. Okoli RI. Ohaju-Obodo JO. Eifediyi K. Phytochemical, nutritional and medical properties of some leafy vegetables consumed by Edo people of Nigeria. African Journal of Biotechnology. 2008;7(14):14.
 30. Dhingra D. Michael M. Rajput H. Patil RT. Dietary fiber in foods: A review. Journal of Food Science and Technology. 2012;49(3):255-266.
 31. Dijkstra FA. Blumenthal D. Morgan JA. Pendall E. Carillo Y. Follet RF. Contracting effects of elevated CO2 and warming on nitrogen cycling in a semi-arid grassland. New Phytologist. 2010 ;187(2):426-437.
 32. Anihouvi, V. Influence of cooking method on the nutritional value of Solanum macrocarpum, Amaranthus hybridus and Ocimum gratissimum, three traditional leafy vegetables acclimatized in Benin. Int. J. Biol. Chem. Sci. 2012;(6):1926-1937.
 33. Dappah KD. N'Dri YD. Kouassi KN. International Journal of Biochemistry Research and Review. 2018;23(4):1-8.
 34. Chadare FJ. Linnemann AR. Hounhouigan JD. Nout MJR. Van Boekel MAJS. Baobab food products: a review of their composition and nutritional value. Critical Review Food Science and Technology. 2009;49:254-74.
 35. Nga EN. Yinyang J. Baran E. Etame-Loe G. Dibong SD. Phytochemical and pharmacological study of Alchornea cordifolia (Schum. & Thonn.) Mull. Arg. and Mangifera indica in Traditional treatment of hemorrhoidal disease. Journal of Applied Biosciences. 2017;109:10649-10661.
 36. Stadlmayr B. Charrondiere R. Eisenwagen S. Jamnadass R. Kehlenbeck K. Nutrient composition of selected indigenous fruits from sub-Saharan Africa . Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013;93: 2627–2636.
 37. CIQUAL (Food Quality Information Center) Table of nutritional composition of foods. ANSES (National Agency for Food, Environmental and Occupational Health Safety), France ; 2017.
 38. CILSS (Permanent Interstate Committee for Drought Control in the Sahel) Consumption standards for the main food products in CILSS countries. Burkina Faso. 2004:67.
 39. Koffi NE. N'Guessan AHO. N'Da KP. Ouattara SI. Konan KS. Adima AA.

Comparative study of the chemical composition and antioxidant capacity of leaves, Stems and Roots of Alchornea

cordifolia (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg. European Journal of Medicinal Plants. 2021;32(4): 65-75.

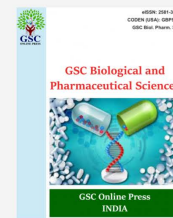
Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of the publisher and/or the editor(s). This publisher and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

© Copyright (2024): Author(s). The licensee is the journal publisher. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Peer-review history:

The peer review history for this paper can be accessed here:
<https://www.sdiarticle5.com/review-history/124907>

PUBLICATION 2



(RESEARCH ARTICLE)



Evaluation of phytochemical compounds in the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* in three localities in Côte d'Ivoire

Zioh Nonhondé Horline Degrâce ^{1,*}, Zouzou Souné Carole ¹, Traoré Fakana Drissa ¹, Kouamé Kan Benjamin ¹ and Bolou Sahi Rosly ²

¹ Agro-valorization Laboratory, Jean Lorougnon Guédé University, UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

² Laboratory of Nutrition and Food Technology, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

GSC Biological and Pharmaceutical Sciences, 2025, 31(01), 268-279

Publication history: Received on 09 March 2025; revised on 20 April 2025; accepted on 22 April 2025

Article DOI: <https://doi.org/10.30574/gscbps.2025.31.1.0160>

Abstract

Alchornea cordifolia is a plant of the *Euphorbiaceae* family used for its therapeutic properties in Africa. The objective is to enhance the value of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* by studying phytochemical parameters. The plant material consists of fruits and leaves of *Alchornea cordifolia* for phytochemical screening by the Evans method, followed by the determination of total polyphenols, total flavonoids, total tannins, condensed tannins and anthocyanins by the spectrophotometric method. The results showed the presence of flavonoids, polyphenols, tannins, saponins, alkaloids. The highest total polyphenol content was found in mature leaves (3.34 mg EAG/g). At the total flavonoid level, the most concentrated mature leaves contained 0.85 mg EQ/g. For condensed and total tannins, the highest levels were 0.99 mg EC/g and 1.94 mg EAT/g respectively in fruit. Finally, in terms of anthocyanin content, mature leaves had the highest content (5.53 C3GE/g). The presence of secondary metabolisms in the *Alchornea cordifolia* plant justifies its use from a therapeutic point of view.

Keywords: *Alchornea cordifolia*; Therapeutic properties; Leaves and Fruits; Phytochemical parameters

1. Introduction

Wild plants, also known as spontaneous plants, are an important part of everyday life in rural households and play an important role in the subsistence of a large proportion of the world's population [1]. In tropical countries, a great deal of attention is paid to the role of wild plants in the diet and health of rural populations [2,3]. Wild plants also make significant contributions to food security and health by providing a wide range of essential nutrients for humans. As a result, they are one of the mainstays of diets and healthcare treatments in developing countries and an important source of income for rural populations [2,3].

Alchornea cordifolia (Schumach. & Thonn.) Müell. Arg. is a climbing plant or shrub of the *Euphorbiaceae* family, which is generally distributed in forest scrub, in secondary thickets, in forest galleries in savannahs, in fallow land, on relatively wet soils and forms part of the coastal vegetation made up of isolated shrubs in Côte d'Ivoire [4,5]. *Alchornea cordifolia* leaves contain bioactive compounds such as tannins, alkaloids and saponins, which have been shown to have antimicrobial properties, including inhibition of the growth of *Salmonella typhi*, *Escherichia coli* and *Shigella*. [6]. Consequently, the choice of the nutritional and technological valorisation of the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* Schum in order to show its nutritional particularity lies in the fact that little work has been done on this in Côte d'Ivoire. The aim of this study is to assess the phytochemical compounds in the leaves and fruits of *Alchornea cordifolia* harvested in three regions in order to enhance the value of natural resources and understand their therapeutic potential

* Corresponding author: Zioh Nonhondé Horline Degrâce

2. Material and methods

2.1. Biological material

The biological material used in this study consisted of leaves (young, mature and dried) and fruits of *Alchornea cordifolia* collected in Daloa, Seguela and Yamoussoukro (Figure 1).



Figure 1 Leaves and fruit of *Alchornea cordifolia* a. young leaves b. mature leaves c. fruit d. dried leaves

2.2. Sampling

Leaf-by-leaf sampling of *Alchornea cordifolia* was carried out from 7 a.m. in the period February to March and September to October. Leaves (young, mature and dried) and fruit were collected and placed in plastic bags on which the stage of maturity and sampling location were indicated. They were then transported to the Agro-valorization Laboratory at the Jean Lorougnon Guédé University in Daloa.

2.3. Production of *Alchornea cordifolia* leaf and fruit powder

The samples were washed with tap water and dried in the shade at room temperature (25-30°C) for a fortnight. 350 g of each leaf (young, mature, dried) and fruit were taken, ground using a grinder and sieved through a 200 micron sieve to give a fine powder. This fine powder was packaged in labelled bags and stored at room temperature for the various analyses.

2.4. Phytochemical screening of *Alchornea cordifolia* leaves

Phytochemical screening was used to identify the various compounds present in *Alchornea cordifolia* powder. Phytochemical compounds were determined using the method developed by Evans [7]. The results were classified according to the reaction obtained (positive or negative).

2.4.1. Identification of tannins

Reaction with 1% ferric chloride

A volume of 1 mL of the plant powder contained in a test tube was added to a volume of 2 mL of distilled water. The resulting mixture was stirred until a homogeneous solution was obtained. The presence of tannins in the plant powder

extracts was determined directly after the addition of one or two drops of 1% (w/v) ferric chloride. The appearance of a blue or blue-black colour indicates the presence of tannins.

2.4.2. Alkaloid research

Mayer test

The Mayer test was used to determine the presence of alkaloids in the leaves and fruit of *Alchornea cordifolia*. To do this, a few drops of Mayer's reagent were added to a 2 mL volume of the plant powder solution. The formation of a white or white-yellow precipitate indicates the presence of alkaloids.

2.4.3. Research into saponins

Saponins from *Alchornea cordifolia* leaves were determined by the presence of persistent foam. A volume of 3 mL of distilled water was added to a volume of 2 mL of crushed dry plant material in a test tube. The persistent formation of foam after manual shaking of the test tube indicates the presence of saponins.

2.4.4. Identification of polyphenols

Polyphenols were identified in the presence of a 2% (w/v) alcoholic or ferric chloride solution. One drop of alcoholic or aqueous 2% (w/v) ferric chloride solution was added to a 2 mL volume of the plant powder. The positive reaction was shown by the appearance of a blue-black or green or dark coloration compared with a phenol solution (control).

2.4.5. Flavonoid research

Sodium hydroxide test

0.1N sodium hydroxide (NaOH) was used to test for the presence of flavonoids. Three drops of the 0.1N sodium hydroxide solution were added to 3 mL of crushed dry plant material in a test tube. The appearance of a yellow-orange colour indicates the presence of flavonoids.

2.5. Quantification of phenolic compounds

2.5.1. Determination of total polyphenols

The total polyphenol content of *Alchornea cordifolia* samples was determined using the method described by Wood and al [8]. The extract solution was obtained after maceration of 1 g of each sample in 50 mL of distilled water for 10 min. A volume of 2.5 mL of Folin-Ciocalteu reagent diluted to one tenth was added to 30 μ L of extract. The mixture was kept for 2 minutes in the dark at room temperature (25°C), then 2 mL of sodium carbonate (75 g/L) was added. The mixture was then placed in a water bath at 50°C for 15 minutes and rapidly cooled. Absorbance was measured at 760 nm using a spectrophotometer, with distilled water as the blank. A calibration line was constructed with gallic acid at concentrations ranging from 0 to 0.200 mg/mL. Analyses were carried out in three replicates and the total polyphenol content was expressed in grams of gallic acid equivalent per litre (g GAE/L) of extract. The results obtained by the spectrophotometer can be converted into gram equivalents of gallic acid per gram of sample (mg GAE/g) by multiplying by the dilution factor. The total polyphenol content was estimated using the following formula :

$$\text{Content polyphenols (mg EAG /g)} = \text{C.ext} \times \text{fd}$$

With :

EAG = gallic acid equivalent;

C.ext = concentration of the extract in mg/mL obtained using a spectrophotometer at 510 nm ;

fd = dilution factor

2.5.2. Determination of total flavonoids

The determination of total flavonoids was carried out according to the method described by Marinova and al. [9]. The extract solution was obtained after maceration of 1 g of each *Alchornea cordifolia* sample in 50 mL of distilled water for 10 min. To a 25 mL flask was added 2.5 mL of extract, 0.75 mL of 5% (w/v) sodium nitrite (NaNO₂). To the mixture, 0.75 mL of 10% (w/v) aluminium chloride (AlCl₃) was added. The mixture was incubated for 6 minutes in the dark. After 6 minutes, 5 mL of sodium hydroxide (1N NaOH) was added and the volume was made up to 25 mL with distilled

water. The preparation was vigorously shaken using a magnetic stirrer (C-MAG HS10 IKA, France) before the total flavonoids were determined at 510 nm using a spectrophotometer. The total flavonoid content was expressed in grams of quercetin equivalent per litre of extract (g EQ/L). Trials were carried out in three replicates on fresh or dried pepper samples. The results were converted to gram quercetin equivalent per gram of sample (mg EQ/g) by multiplying by a dilution factor. The total flavonoid content was assessed using the following formula :

$$\text{Content flavonoids (mg EQ /g)} = C.\text{ext} \times \text{fd}$$

EQ : quercetin equivalent;

C.ext : concentration of extract in mg/mL obtained using a spectrophotometer at 510 nm ;

fd : dilution factor

2.5.3. Anthocyanin determination

The anthocyanin content was determined using the method described by Lee and al [10]. 1 mL of each sample was diluted in 1.5 mL of pH 1.0 buffer and 1.5 mL of pH 4.5 buffer respectively. The absorbance (A) of these two solutions was read at 520 nanometres and 700 nanometres respectively using a spectrophotometer (JASCO V-530, Japan). The concentration of total anthocyanins (CAT) expressed in mg/mL of cyanidin-3-glycoside equivalent is given by the formula :

$$\text{CAT} = A \times \text{PM} \times 10^3 / \epsilon \times L$$

with:

A : (A_{520 nm} - A_{700 nm}) pH 1.0 - (A_{520 nm} - A_{700 nm}) pH 4.5

PM : Molecular weight of cyanidin-3-glucoside (cyd-3-glu) = 449.2 g / mol

F : Dilution factor = 1.5

L : Length of cell = 1cm

ϵ : Molar extinction coefficient = 26 900 L. mol⁻¹.cm

103: conversion factor from g to mg.

2.5.4. Determination of condensed tannin content

Condensed tannin content was modified by Heimler and al [11]. The method is based on the ability of vanillin to react with the terminal flavonoid group of condensed tannins to form red coloured complexes [12]. In a test tube containing 50 μ L of extract solution (5 mg/mL), 3 mL of a 4% methanolic vanillin solution was added. Then 1.5 mL of 37% concentrated hydrochloric acid (HCl) was added. The mixture was incubated in the dark for 15 min at laboratory temperature (25-30°C). The absorbance was then read using a UV/visible spectrophotometer at 500 nm against a MeOH blank. Catechin was used as the standard. The condensed tannin content of the extracts was determined using the catechin calibration curve established from different concentrations (0 ; 1.95; 3.91; 7.81; 15.625; 31.25; 62.5; 125 ; 250 ; 500 and 1000 μ g/mL). Levels are expressed in milligrams of catechin equivalent per gram of dry matter (mg CE/g). They were calculated on the basis of the relationship below:

$$Q_{tan} (\text{mg EC/g de MS}) = \frac{\text{Conc}_{spect} \times \text{FD} \times R}{\text{Conc}_{ext} \times 100}$$

With :

Conc_{spect}: concentration measured by the spectrophotometer.

FD: dilution factor.

R: extract yield.

Conc_{ext}: concentration of extract used for analysis

2.5.5. Determination of total tannin content

The determination of total tannins was carried out using the colorimetric method with Folin Ciocalteu reagent as described by Ci and Indira [13] 100µL of extract solution (5mg/mL) was added to a test tube containing 7.5mL of distilled water and 0.5mL of Folin Ciocalteu reagent. Next, 1mL of 35% Na₂CO₃ was added. The volume was made up to 10mL by adding 900µL of distilled water. The reaction mixture was stirred and left to react for 30 minutes at laboratory temperature (25-30°C). The absorbances were read with a UV/visible spectrophotometer at 700 nm against distilled water used as a blank. A calibration line was drawn from a range of tannic acid concentrations (0 ; 1.95; 3.9; 7.81; 15.62; 31.25; 62.5; 125 ; 250 ; 500 and 1000 µg/mL) used as a standard. Levels are expressed in milligrams of tannic acid equivalent per gram of dry extract (mg EAT/g). They were calculated from the relationship below:

$$Q_{tan} \text{ (mg EAT/g de MS)} = \frac{Conc_{spect} \times FD \times R}{Conc_{ext} \times 100}$$

With :

Conc_{spect}: concentration measured by the spectrophotometer.

FD: dilution factor.

R: extract yield.

Conc_{ext}: concentration of extract used for analysis.

2.6. Statistical analysis

Statistical analysis was carried out using Statistica 7.1 software and when a difference was observed a HSD tuckey test was performed to mark this difference at the threshold of (p <0.05) and the excel software is used to make the different graphs.

3. Results

3.1. Phytochemical screening

The phytochemical study of the different types of *Alchornea cordifolia* leaves and fruit revealed the presence of several families of molecules: polyphenols, flavonoids, tannins, alkaloids and saponins (Table 1). Polyphenols are more pronounced in the different types of *Alchornea cordifolia* leaves and fruit in all localities. In the towns, flavonoids were more pronounced in young leaves, mature leaves and fruit than in dried leaves. For tannins, Table I shows abundant presence in young, mature and fruit leaves of *Alchornea cordifolia* in all localities and little presence in dried leaves. As for saponins, their presence was low in the different types of leaves and fruit in all towns. As for alkaloids, their presence is low in the leaves and fruit of all localities.

Table 1 Phytochemical screening of *Alchornea cordifolia* leaves and fruit

Compositions	Localities	Different parts			
		young leaves	Mature leaves	Dried leaves	Fruits
Polyphenols	Yamoussoukro	++	++	++	++
	Daloa	++	++	++	++
	Seguela	++	++	++	++
Flavonoids	Yamoussoukro	++	++	+	++
	Daloa	++	++	+	++
	Seguela	++	++	+	++
Tannins	Yamoussoukro	++	++	+	++
	Daloa	++	++	+	++
	Seguela	++	++	+	++
Alkaloids	Yamoussoukro	+	+	+	+

	Daloa	+	+	+	+
	Seguela	+	+	+	+
Saponins	Yamoussoukro	+	+	+	+
	Daloa	+	+	+	+
	Seguela	+	+	+	+

++ more present ; + less present

3.2. Total polyphenol content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaves analysed

The total polyphenol content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaf samples obtained from this study is shown in Figure 2 below. For each of the samples analysed (fruit, young leaves, mature leaves and dried leaves), Yamoussoukro is the locality whose young leaves, mature leaves, dried leaves and fruit have the highest proportions of polyphenols, respectively 3.12 mg EAG/g, 3.34 mg EAG/g, 1.61 mg EAG/g and 2.32 mg EAG/g. These values are followed by Daloa (2.01 mg EAG/g, 1.96 mg EAG/g, 1.33 mg EAG/g and 2.52 mg EAG/g) and Seguela (2.09 mg EAG/g, 2.03 mg EAG/g, 1.33 mg EAG/g and 1.1 mg EAG/g).

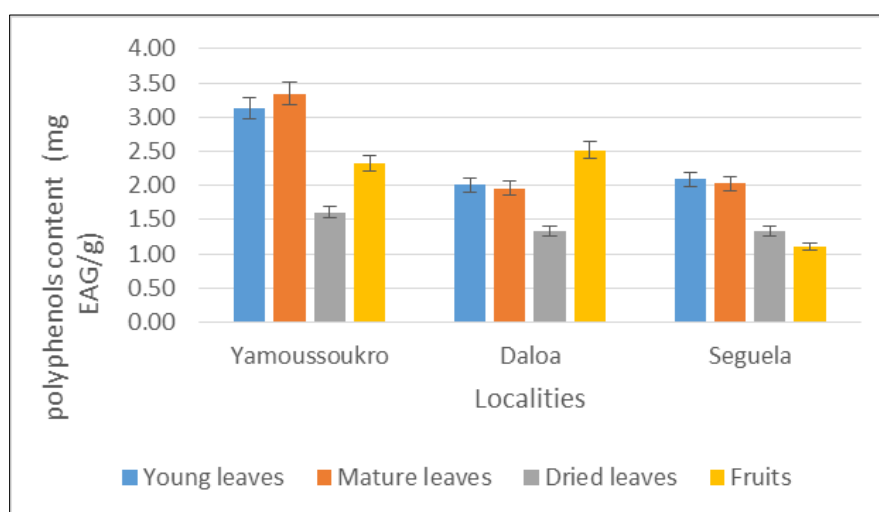


Figure 2 Total polyphenol content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaf stages by sampling localities

3.3. Flavonoid composition of *Alchornea cordifolia* fruit and leaves analysed

Figure 3 below shows the flavonoid composition of the different matrices studied. The proportions obtained vary between 0.43 mg EQ/g and 0.69 mg EQ/g for the Yamoussoukro samples, between 0.65 mg EQ/g and 0.76 mg EQ/g for Daloa and between 0.47 mg EQ/g and 0.85 mg EQ/g for the Seguela locality. Overall, the Daloa samples had higher average proportions, regardless of the type of sample considered.

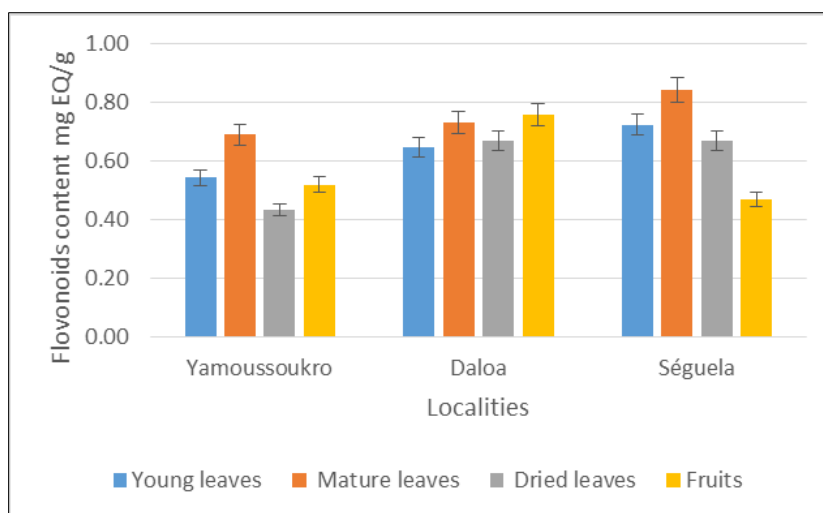


Figure 3 Flavonoid composition of *Alchornea cordifolia* fruit and leaf stages according to sampling localities

3.4. Condensed tannin content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaves analysed

The analysis carried out shows that the leaves and fruit from the town of Daloa contain more condensed tannins (0.09 mg EC/g to 0.99 mg EC/g) than the other localities. As for the elements from Seguela, they contain a low level of condensed tannins, regardless of the part considered (0.09 mg EC/g to 0.15 mg EC/g). However, overall, the fruit and young leaves are the richest parts (Figure 4).

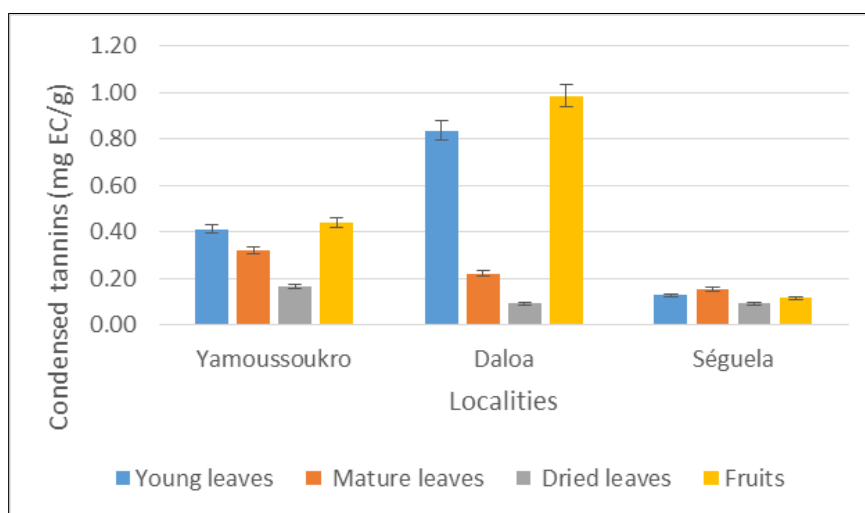


Figure 4 Condensed tannin content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaf stages by sampling localities

3.5. Total tannin content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaves analysed

Figure 5 shows the total tannin content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaf stages by sampling location. Young and mature leaves from the three sampling sites contained between 1.15 mg EAT/g and 1.50 mg EAT/g of tannins. The total tannin content of fruit and dried leaves in Yamoussoukro and Seguela did not exceed 1 mg EAT/g. As in Daloa, only the fruit contained 1.94 mg EAT/g of total tannins.

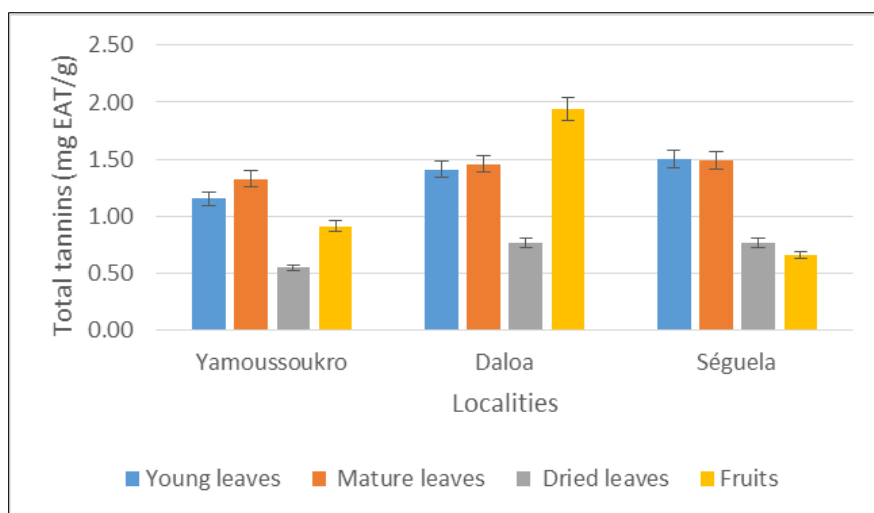


Figure 5 Total tannin content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaf stages by sampling localities

3.6. Anthocyanin content of *Alchornea cordifolia* fruit and leaves analysed

The histogram in Figure 6 shows the anthocyanin content of fruit and leaves. These anthocyanins are more present in mature leaves (4.39 C3GE/g to 5.53 C3GE/g) than in other leaves and fruit. However, samples from the town of Daloa had higher levels than those from other localities.

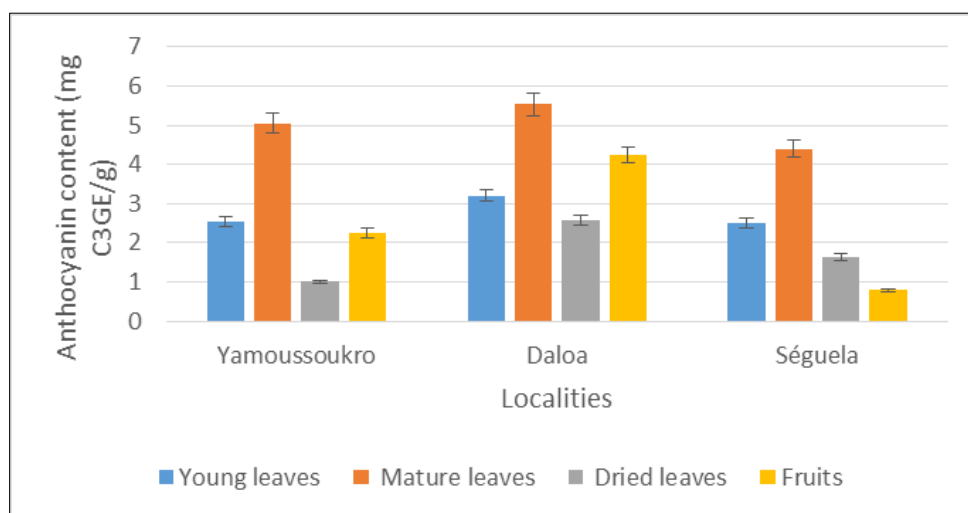


Figure 6 Anthocyanin contents of fruits and different stages of leaves of *Alchornea cordifolia* according to sampling localities

4. Discussion

According to Hagerman and al [14], polyphenols are a class of secondary metabolites common in the plant kingdom. In Daloa, Yamoussoukro and Seguela, phytochemical screening revealed the presence of polyphenols, flavonoids, tannins, alkaloids and saponins in the leaves and fruit of *Alchornea cordifolia*. The presence of phytonutrients in the leaves and fruit confirms the traditional use of this plant as a therapeutic herb. These findings are in agreement with those of Tona and al [15] and Kasali [16], who identified the same compounds in *Alchornea cordifolia* leaf extracts.

Among the phytonutrients present in *Alchornea cordifolia* leaves and fruit, total polyphenols, total flavonoids, total tannins, condensed tannins and anthocyanins were also quantified. In general, the results of the study revealed that mature leaves contain more phenolic compounds than young leaves, dried leaves and fruit, with a content of between 1.33 and 3.34 mg EAG/g. These results are much higher than those obtained by Diomandé and al [17] during their work on the aqueous extract of *Albertyia cordifolia* leaves (0.0164 ± 0.16 mg EAG/g) and identical to those of Dieng and al [18]

who obtained 3.12 ± 0.08 mg EAT/g of dry extract for the mature leaves of *Piliostigma thonningii* acclimatised in Senegal. Moreover, the total polyphenol content of young leaves is 61.11 times lower than that obtained by Kouame and al [19] in young unopened leaves of *Piliostigma thonningii* (146.67 ± 4.24 mg EAG/g dry extract) in Côte d'Ivoire. In general, the total polyphenol content of the leaf and fruit categories in our study is higher than that of *Alchornea cordifolia* leaves (0.035 ± 0.001 mg EAG) in the aqueous extract and in the methanolic extract (0.055 ± 0.002 mg EAG/g) obtained by Effo, [20]. The difference in polyphenol content in fruit and leaves at different stages of ripening could be explained by variations in growth that may be linked to climatic and environmental conditions (drought, hot temperatures, intense sun exposure, salinity), which favour the production of secondary metabolites [21]. Polyphenols also play a role in the antioxidant activity of plants, fruit, cereals and other plant-based products [22]. We can therefore deduce that the mature leaves of *Alchornea cordifolia*, which are richer in total polyphenols, are more suitable for therapeutic use [23].

The total flavonoid content of the leaf and fruit categories is higher than that of *Alchornea cordifolia* leaves, 0.048 ± 0.001 mg EQ in the aqueous extract and in the methanolic extract 0.054 ± 0.002 mg EQ/g obtained by Effo [20]. The flavonoid content of young leaves (0.54 to 0.72 mg EQ/g dry extract) is much lower than that of Kouame and al [19] in unopened leaves of *Piliostigma thonningii* (68.33 ± 0.94 mg EQ/g dry extract) in Côte d'Ivoire. Leaf contents (0.43 to 0.85 mg EQ/g dry extract) are lower than those of Sombie and al [24] in mature leaves of *Piliostigma thonningii* (2.17 ± 0.13 mg EQ/g dry extract) obtained in Burkina Faso. The results of the flavonoid contents in the fractions show that they depend on the maturity of the leaves and their stages of development (young or mature leaves), but also on the polarity of the solvents used, as reported by Hami and al [25]. The high average concentration of flavonoids in mature leaves could be justified by the fact that plants synthesise flavonoids using solar radiation to protect themselves from oxidation; as exposure to the sun increases, so do flavonoid contents, particularly in the most exposed parts [26]. These flavonoids could therefore be mainly in the form of free genins [27]. In addition to their antioxidant properties, flavonoids are also known for their anti-inflammatory and diuretic properties, according to Becker and al [28]. According to Bruneton [29], they are an important source of antioxidants in the human diet. The condensed tannin content of young leaves is much lower than that of the hydroalcoholic extract of young unopened leaves of *Piliostigma thonningii* (38.33 ± 0.47 mg EAT/g dry extract) according to Kouame and al [19]. The contents of mature leaves are also lower than those of mature leaves of *Piliostigma thonningii* acclimatised from Burkina Faso (12.62 ± 0.02 mg EAT/g dry extract) obtained by Sombie and al.[24]. These results show that the tannins are concentrated in the young mature leaves. According to Ksouri and al [30], tannins have anti-diarrhoeal properties which they confer on plants possessing them. These plants therefore have the ability to inhibit the activities of digestive enzymes by forming insoluble complexes with proteins, which reduces their digestibility and makes them inaccessible to the body [31;32]. Finally, tannins also promote wound healing, which explains their use in post-partum treatment for women [33].

The lowest anthocyanin content was recorded in dried leaves (1 mg C3GE/g) and the highest in mature leaves (5.53 mg C3GE/g). These results are higher than those obtained by Kabran and al [34] who found 0.491 mg/g in *Mallotus oppositifolius* leaves in Côte d'Ivoire and Janat Akhanovna, [35] in *Alchornea cordifolia* leaves (0.03 mg/g). The difference in content between different plant species and different leaf stages could be explained by the environmental and physiological conditions of the plant. Leaf age, temperature and light intensity play a crucial role in anthocyanin biosynthesis [35]. Anthocyanins are obvious vital colour pigments, present in all plant tissues throughout the plant kingdom [36]. These pigments are widespread in nature and are responsible for the colours in the various plant organs such as stem, leaf, flower, fruit, root and tuber (orange, red, violet and blue) [37,38]. Anthocyanins are also of dietary importance for human health, with Lo and al [39] reporting encouraging results in the treatment of various syndromes such as cancer and other heart diseases [40].

Determination of total tannins in our *Alchornea cordifolia* leaves (young, mature and dried) and fruit shows that these parts of the plant contain levels of between 0.55 and 1.50 mg EC/g and 0.66 and 1.94 mg EC/g respectively. The total tannin content of *Alchornea cordifolia* leaves is lower than that obtained by Diomandé and al [17] when total tannins were determined in the aqueous extract (0.00469 mg EC/g), ethyl acetate extract (0.7254 mg EC/g) and ethanolic extract (0.99 mg EC/g) of *Albortisia cordifolia* leaves. The differences observed in the results could be due to the diversity of extraction solvents. The concentration of total tannins in plant extracts depends on polarity and affinity with the extraction solvent, as demonstrated by Diomandé and al [17]. In addition, tannins, which give leaves and fruit a very bitter taste, could be the basis of anti-diarrhoeal and antiseptic activities due to their ability to bind and precipitate water-soluble proteins [28]. Hence the justification for using the fruits of *Alchornea cordifolia* due to their high tannin content.

Phytochemical screening also revealed the presence of saponins and alkaloids. Saponins are known for their anti-hyperlipidemic, hypotensive and cardiodepressant properties. They are also known to inhibit intestinal absorption of cholesterol, leading to a reduction in blood cholesterol levels [41]. As for alkaloids, in addition to their antimicrobial action, they also play a role in detoxification and lowering blood pressure, as Awoyinka and al [42] point out.

5. Conclusion

This study has shown that, from a phytochemical point of view, the leaves (young, mature and dried leaves) and fruits of *Alchornea cordifolia* contain total polyphenols, flavonoids, anthocyanins, total and condensed tannins, saponins and alkaloids. Dosage of these bioactive compounds revealed considerable levels, giving the plant good antioxidant power, which would justify its recurrent use in traditional therapy against a number of pathologies. Quantitative analysis also showed that the mature leaves had the highest levels, unlike the other samples. This should justify the preference for mature leaves over other leaves and fruits for therapeutic uses. However, further research is needed to identify the plant's nutritional parameters.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

No conflict of interest to be disclosed.

References

- [1] Koduru S, Grierson D. S, Afolayan A. J. (2007). Ethnobotanical information on medicinal plants used for cancer treatment in the Eastern Cape Province, South Africa. *Current Science*, 92(7), 906-908.
- [2] Yao K. (2010). Most used medicinal and food plants in Côte d'Ivoire: Ethnobotanical surveys, research on antioxidant activities. Master's thesis in botanical studies, Specialization: Biology, Morphology, and Plant Taxonomy. U.F.R. Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny.
- [3] Ambé G. A. (2001). Edible wild fruits of the Guinean savannas of Côte d'Ivoire : Knowledge status among a local population, the Malinké. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 5(1), 43-58.
- [4] Aké-Assi L. (2002). *Flora of Côte d'Ivoire : Systematic catalogue, biogeography, and ecology*. Geneva, Conservatory and Botanical Garden, Boissera, 58, 441p.
- [5] Irondi E, Anokam K, Chukwuma P, Akintunde J, Nurain I. (2013). Variation in nutrient composition of *Tetrapleura tetraptera* fruit at two maturity stages. *International Journal of Biosciences*, 3, 304-312. <https://doi.org/10.12692/ijb/3.9.304-312>
- [6] Ferrari J. (2002). Contribution to the understanding of secondary metabolism in *Thymelaeaceae* and phytochemical investigation of one species: *Gnidia involucrata* Steud. ex A. Rich. University of Lausanne, Faculty of Science, 249p.
- [7] Evans W. (2002). *Trease and Evans Pharmacognosy*, 15th Edn., Elsevier, India, pp. 27, 46, 183-184.
- [8] Wood B. E., Müller H.-R., Zank, G. P. & Linsky J. L. (2002). Measured mass-loss rates of solar-like stars as a function of age and activity. *The Astrophysical Journal*, 574, 412-425.
- [9] Marinova D, Ribarova F, Atanassova M. (2005). Total Phenolics and Total Flavonoids in Bulgarian Fruits and Vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40, 255-260.
- [10] Lee J, Durst RW, Wrolstad RE, Collaborators. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content in fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 88(5), 1278. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- [11] Heimler D, Vignolini P, Dini MG, Vincieri FF, Romani A. Antiradical activity and polyphenol composition of local *Brassicaceae* edible varieties. *Food Chemistry*, 99, 3 (2006), 464-469. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.057>
- [12] Schofield P, Mbugua DM, Pell AN. Analysis of condensed tannins : A review. *Animal Feed Science and Technology*, 91, 1 (2001), 21-40. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00228-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00228-0)
- [13] Ci KC, Indira G. Quantitative estimation of total phenolic, flavonoids, tannin and chlorophyll content of leaves of *Strobilanthes Kunthiana* (Neelakurinji). *Journal of Medicinal Plants Studies*, 4, 4 (2016), 282-286.
- [14] Hagerman A.E., Riedl K.M., Jones G.A., Sovik K.N. (1998). High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (5), 1887-1892.

- [15] Tona L, Kambu K, Ngimbi N, Mesia K, Penge O, Lusakibanza M, Cimanga K, De Bruyne T, Apers S, Totte J, Pieters L, Vlietinck AJ. Antimoebic and spasmolytic activities of extracts of some traditional antidiarrheal preparations used in Kinshasa, Congo. *Phytomedicine*. 7,1 (2000) ,31-8
- [16] Kasali F. Phytochemical screening and antibacterial properties from extract of *Alchornea cordifolia* (Schumach. &Thonn.) Müll. Arg. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 4, (2015),176 180.
- [17] Diomande A, Yao K, Sylla Y, Honora T, Bakayoko A, Koné M. (2018). Antioxidant power and phenolic compound contents of two species of the genus *Albertisia*: *Albertisia cordifolia* (Mangenot & J. Miège) Forman and *Albertisia scandens* (Mangenot & J. Miège) Forman (Menispermaceae). *European Scientific Journal*, 14. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p128>
- [18] Dieng SIM, Fall AD, Diatta-Badji K, Sarr A, Sene M, Sene M, Mbaye A, Diatta W, Bassene E., Evaluation of the antioxidant activity of hydroethanolic extracts of the leaves and bark of *Piliostigma thonningii* Schumach. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11, 2 (2017), 768-776. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.19>
- [19] Kouamé TK, Siaka S, Kassi ABB, Soro Y. Determination of total polyphenol, total flavonoid and tannin contents of young unopened leaves of *Piliostigma thonningii* (*Caesalpiniaceae*). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 15, 1(2021), 97-105. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.9>
- [20] EFFO KE. (2018). Hepatoprotective activity of *Alchornea cordifolia* (*Euphorbiaceae*) in an animal model of antituberculosis drug-induced hepatotoxicity. THESIS unique Spécialité : pharmacologie, Université Félix Houphouët-Boigny, UFR sciences pharmaceutiques et biologiques, 176 p.
- [21] Lengbiye E, Wa Mbembo B, Bongo GN, Kapepula P, Ngombe N, Ambassa LM, Ngo Mbing J, Pegnyemb D, Mpiana, PT, Ngbolua KTN. Selenium Content, Anthelmintic, Antioxidant and Antibacterial Activities of *Artocarpus Heterophyllus Lam.* From Ubangi Ecoregion in Democratic Republic of the Congo. *American Journal of Biomedical Science & Research*, 6, (2019), 2019-2025. <https://doi.org/10.34297/AJBSR.2019.06.001013>
- [22] Tachakittirungrod S, Ikegami F, Okonogi S. Antioxidant Active Principles Isolated from *Psidium guajava* Grown in Thailand. *Scientia Pharmaceutica*, 75, 4 (2007), Article 4. <https://doi.org/10.3797/scipharm.2007.75.179>
- [23] Rubió L, Motilva MJ, Romero MP. Recent advances in biologically active compounds in herbs and spices: A review of the most effective antioxidant and anti-inflammatory active principles. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 9 (2013), 943-953. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.574802>
- [24] Sombie E. N., Tibiri A., N'do JY-P., Traoré T.K., Ouedroaogo N., Hilou A., Guissou P.I., Nacoulma O. G. 2018. Ethnobotanical study and antioxidant activity of antihepatitis plants extracts of the COMOE province, Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(3) : 1308-1319. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i3.19>
- [25] Hamia C, Guergab A, Rennane NE, Birache M, Haddad M, Saidi M, Yousfi M. 2014. Influence of solvents on phenolic compound content and antioxidant activity of *Rhanterium adpressum* *Annales des Sciences et Technolog* 6(1), 33-39. <https://doi.org/10.12816/0010624>.
- [26] N'gaman KCC, 2013. Phytochemical study and effect of extracts of *Gmelina arborea Roxb.* (*Verbenaceae*) from Ivory Coast on the osmotic stability of erythrocytes. PhD thesis, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 152 p.
- [27] Muyonga JH, Andabati B, Ssepuyya G. Effect of heat treatment on amaranth grains physicochemical properties. *Food science and nutrition*, 2, 1 (2014),9-16. *Annals of Science and Technology*,6(1): 33-39. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.75>.
- [28] Becker H, Scher JM, Speakman JB, Zapp J. Bioactivity guided isolation of antimicrobial compounds from *Lythrum salicaria*. *Fitoterapia* 76, (2005), 580-584.
- [29] Bruneton J. (2016). Pharmacognosie. *Phytochemistry: Medicinal plants*. 3rd edition, Paris : Editions TEC & DOC, Cachan : Editions Médicales Internationales, 239-249, 309-327, 369-388, 1070-1079.
- [30] Ksouri R, Megdiche W, Debez A, Falleh H, Grignon C, Abdelly C. (2007). Effects of salinity on polyphenol content and antioxidant activity in the leaves of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45, 244-249. DOI : 10.1016/j.plaphy.02.001.
- [31] Lola A. (2009). The effect of boiling on the nutrients and anti-nutrients in two non-conventional vegetables. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9), 1430-1433.
- [32] Gogoi R, Niyogi UK, Tyagi AK. (2014). Reduction in trypsin inhibitor activity in *Jatropha* cake by chemical, thermal, and radiation treatment. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 4(1), 17-19.

- [33] Yao KE. (2013). Traditional therapeutic uses of *Alchornea cordifolia* (SCHUM. & THONN.) MÜLL. ARG. (*Euphorbiaceae*) and phytochemical screening of the total aqueous extract of its leaves. UFR des Sciences de la Nature, thesis, 61p.
- [34] Kabran GRM, Chtistelle AN, Janat Akhanovna MB, Bekro YA. (2012). Total phenols and flavonoids in organic extracts of ten plants used in traditional therapy for breast cancer in Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 68, 182-190.
- [35] Janat Akhanovna MB. (2011). Phenolic compound contents in ten medicinal plants used in the traditional therapy of hypertension, an emerging pathology in Côte d'Ivoire. *Industrial Engineering Review*, 6, 55-61.
- [36] Kong JM, Chia LS, Goh NK, Chia TF, Brouillard R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64, 923-930.
- [37] Holton TA & Cornish EC. (1995). Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis. *The Plant Cell*, 7, 1071.
- [38] Grotewold E. (2006). The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 761-780.
- [39] Lo Piero AR, Puglisi I, Rapisarda P, Petrone G. (2005). Anthocyanin accumulation and related gene expression in red-orange fruit induced by low-temperature storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 9083-9088.
- [40] Cao G, Muccitelli HU, Sánchez-Moreno C, Prior RL. (2001). Anthocyanins are absorbed in glycosylated forms in elderly women: A pharmacokinetic study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73, 920-926.
- [41] Ogboru RO, Okolie PL, Agboje I. (2015). Phytochemical screening and medicinal potential of the bark of *Dacryodes edulis* (G. Don) HJ Lam. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2, 158. DOI : 10.4172/2380-2391.1000158.
- [42] Awoyinka OA, Balogun IO, Ogunnowo AA. (2007). Phytochemical screening and in vitro bioactivity of *Cnidocolus aconitifolius* (*Euphorbiaceae*). *Journal of Medicinal Plants Research*, 1(3), 063-065.

Résumé

La valorisation des ressources végétales locales représente un enjeu majeur pour la sécurité alimentaire, la nutrition et la santé publique en Afrique subsaharienne. En Côte d'Ivoire, *Alchornea cordifolia*, plante largement répandue dans la pharmacopée traditionnelle, demeure encore peu exploitée sur le plan nutritionnel et agroalimentaire, malgré ses usages médicinaux et ses potentialités bioactives reconnues. La présente étude s'inscrit dans cette dynamique et vise à valoriser *Alchornea cordifolia* à travers son utilisation sous forme de thé et de tisane, en tant que solution naturelle contribuant à la lutte contre l'insécurité alimentaire. D'abord, la composition chimique, nutritionnelle et phytochimique des feuilles à différents stades de développement (jeune, mature et morte) et des fruits d'*Alchornea cordifolia* collectés dans trois régions agroécologiques de Côte d'Ivoire (Yamoussoukro, Séguéla et Daloa) a été caractérisée, notamment par l'analyse des macronutriments, micronutriments et minéraux à l'aide des méthodes conventionnelles et la méthode ICP (Inductively Coupled Plasma) pour la détermination des éléments minéraux. Ensuite, la composition biochimique ainsi que les propriétés sensorielles des infusions obtenues à partir des feuilles (tisane et thé vert) ont été évaluées, afin d'identifier les différences de profils organoleptiques, d'acceptabilité et de qualité nutritionnelle. Enfin, un volet d'optimisation du procédé de transformation des feuilles en thé vert a été mené, dans l'objectif d'améliorer la rétention des composés bioactifs, la valeur nutritive. Les analyses ont révélé que les feuilles jeunes se distinguent par une forte teneur en polyphénols (2,01–3,12 mg EAG/g), flavonoïdes (0,54–0,72 mg EQ/g) et tanins (1,15–1,50 mg EAT/g), tandis que les feuilles matures présentent des teneurs particulièrement intéressantes en protéines (26,34 %) et en fibres (25,92 %), et que les fruits sont caractérisés par une prédominance en glucides (15,04 %). Par ailleurs, la plante s'est révélée riche en minéraux essentiels, notamment en calcium (jusqu'à 3940 mg/kg), potassium (1220 mg/kg), fer (0,45–0,48 mg/kg) et zinc (0,71–0,77 mg/kg), avec des variations selon les stades foliaires et les localités étudiées. L'évaluation des infusions a montré que les tisanes se distinguent par leur richesse en minéraux et polyphénols tandis que les thés verts sont riches en protéines (8,66–7,44 %), lipides et vitamines C (18,33 mg/100g), avec une capacité antioxydante supérieure. Les infusions de feuilles mortes et thés verts ont été globalement mieux appréciés, avec des scores sensoriels moyens respectifs de 7,10, 7,01 et 6,08. Enfin, l'optimisation du procédé de transformation des feuilles en thé vert a permis d'identifier des conditions opératoires favorables (flétrissage à 38 °C pendant 13 h, roulage de 25 min et dessiccation à 94 °C), aboutissant à un produit final pauvre en sucres (0,37 %) mais particulièrement riche en protéines (6,94 %), polyphénols totaux (145 mg EAG/g), flavonoïdes (260 mg EQ/g) et minéraux tels que le potassium (1107 mg/kg), le calcium (270 mg/kg) et le magnésium (150 mg/kg). Ces résultats apportent des données scientifiques nouvelles sur *Alchornea cordifolia*, confirmant son intérêt en tant que ressource alimentaire et fonctionnelle, et ouvrent des perspectives pour sa valorisation durable dans l'industrie agroalimentaire.

Mots-clés : *Alchornea cordifolia*, Tisane, Thé vert, Optimisation, Feuilles, Fruits

Summary

The valorization of local plant resources is a major challenge for food security, nutrition, and public health in sub-Saharan Africa. In Côte d'Ivoire, *Alchornea cordifolia*, a plant widely used in traditional pharmacopoeia, is still underutilized in terms of nutrition and food production, despite its recognized medicinal uses and bioactive potential. This study is part of this dynamic and aims to valorize *Alchornea cordifolia* through its use in the form of tea and herbal infusions as a natural solution contributing to the fight against food insecurity. First, the chemical, nutritional, and phytochemical composition of the leaves at different stages of development (young, mature, and dead) and the fruits of *Alchornea cordifolia* collected from three agroecological regions of Côte d'Ivoire (Yamoussoukro, Séguéla, and Daloa) was characterized, particularly through the analysis of macronutrients, micronutrients, and minerals using conventional methods and the ICP (Inductively Coupled Plasma) method for the determination of mineral elements. Then, the biochemical composition as well as the sensory properties of the infusions obtained from the leaves (herbal tea and green tea) were evaluated in order to identify differences in organoleptic profiles, acceptability, and nutritional quality. Finally, an aspect of optimizing the process of transforming the leaves into green tea was conducted, with the aim of improving the retention of bioactive compounds, nutritional value. The analyses revealed that young leaves are distinguished by a high content of polyphenols (2.01–3.12 mg EAG/g), flavonoids (0.54–0.72 mg EQ/g), and tannins (1.15–1.50 mg EAT/g), while mature leaves show particularly interesting contents of proteins (26.34%) and fibers (25.92%), and the fruits are characterized by a predominance of carbohydrates (15.04%). Furthermore, the plant was found to be rich in essential minerals, notably calcium (up to 3940 mg/kg), potassium (1220 mg/kg), iron (0.45–0.48 mg/kg), and zinc (0.71–0.77 mg/kg), with variations depending on the leaf stages and the studied locations. The evaluation of infusions showed that herbal teas stand out for their richness in minerals and polyphenols, whereas green teas are rich in proteins (8.66–7.44%), lipids, and vitamin C (18.33 mg/100g), with a higher antioxidant capacity. Infusions of fallen leaves and green teas were generally better appreciated, with average sensory scores of 7.10, 7.01, and 6.08, respectively. Finally, the optimization of the process of transforming leaves into green tea helped to identify favorable operational conditions (withering at 38 °C for 13 hours, rolling for 25 minutes, and drying at 94 °C), resulting in a final product low in sugars (0.37%) but particularly rich in proteins (6.94%), total polyphenols (145 mg GAE/g), flavonoids (260 mg EQ/g), and minerals such as potassium (1107 mg/kg), calcium (270 mg/kg), and magnesium (150 mg/kg). These results provide new scientific data on *Alchornea cordifolia*, confirming its value as a food and functional resource, and open up prospects for its sustainable valorization in the agri-food industry.

Keywords: *Alchornea cordifolia*, Herbal tea, Green tea, Optimization, Leaves, Fruits