

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE



Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Institut National Polytechnique

Félix HOUPHOUËT-BOIGNY



UMRI-58 Sciences des Procédés Chimiques, Alimentaires et Environnementaux

Thèse de Doctorat Unique

Pour l'obtention du grade de Docteur délivré par
l'Institut National Polytechnique Felix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro
Numéro d'ordre : **085/2021**

Mention : Sciences et Procédés des aliments

Option : Biochimie et Technologies des Aliments

CONSERVATION ET VALORISATION DE LA PRUNE NOIRE (*VITEX DONIANA*) DE COTE D'IVOIRE EN BIOPRODUIT

Présentée et soutenue publiquement le **21 Mai 2021** par :

TRAORE Koba Fatou

JURY

- **Président de jury** : YAO Kouassi Benjamin (Professeur Titulaire, INPH-B)
- **Co-Directeur de thèse** : ASSIDJO Nogbou Emmanuel (Professeur Titulaire, INPH-B)
- **Co-Directeur de thèse** : AHI Amédée Pascal (Maître de Conférences, UNA)
- **Rapporteur** : DOSSOU-YOVO Pierre (Professeur Titulaire, UAC)
- **Rapporteur** : KOUAME Kan Benjamin (Maître de Conférences, ULoG)
- **Examineur** : KOFFI Kouadio Ernest (Professeur Titulaire, UFHB)

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

A mon père **LADJI TRAORE** et à ma mère **NEMA KONE**,

A ma sœur jumelle **TRAORE Bintou**,

A mes frères et sœurs

A mon époux **TOURE Karamoko** :

A tous mes amis et tous les étudiants de ma promotion depuis l'Université Nangui Abrogoua (UNA) jusqu'à l'Institut National Polytechnique Houphouët Boigny (INPHB).

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
TABLE DES MATIERES	ii
REMERCIEMENTS.....	ix
LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES TABLEAUX	xiv
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	xvi
RESUME.....	xix
ABSTRACT	xx
INTRODUCTION.....	1
1 ^{ère} PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	5
I. PRUNIER DES SAVANES (<i>VITEX DONIANA</i>).....	6
1.1. DESCRIPTION BOTANIQUE	6
1.1.1. Arbres	6
1.1.2. Feuilles	7
1.1.3. Inflorescences et fruits.....	7
1.2. POSITION SYSTEMATIQUE.....	9
1.3. HABITAT ET PRODUCTION	10
1.4. MULTIPLICATION ET PLANTATION	11
1.5. COMPOSITION BIOCHIMIQUE DES FRUITS (PULPE) DU PRUNIER DES SAVANES.....	11
1.5.1. Composition biochimique de la pulpe	11
1.5.1.1. Eau.....	11
1.5.1.2. Glucides.....	12
1.5.1.3. Protéines	12
1.5.1.4. Lipides	13
1.5.1.5. Eléments minéraux	14
1.5.1.6. Fibres	14
1.5.1.7. Vitamines.....	15
1.5.2. Composés phénoliques	16
1.6. COMPOSITION BIOCHIMIQUE DE LA GRAINE DU DE LA PRUNE NOIRE	18
1.6.1. Acides gras	18

1.6.2. Composés phénoliques	18
II. CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES.....	19
2.1. FACTEURS D'ALTERATION DES FRUITS ET LEGUMES	19
2.1.1. Facteurs intrinsèques	19
2.1.1.1. pH.....	19
2.1.1.2. Activité de l'eau	19
2.1.1.3. Potentiel d'oxydoréduction	20
2.1.1.4. Structure physique de l'aliment.....	20
2.1.1.5. Présence d'agents antimicrobiens naturels	20
2.1.2. Facteurs extrinsèques.....	20
2.1.2.1. Température.....	21
2.1.2.2. Humidité relative	21
2.1.2.3. Présence des gaz.....	22
2.2. CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES.....	22
2.2.1. Méthodes traditionnelles de conservation des fruits et légumes	23
2.2.1.1. Séchage solaire à ciel ouvert	23
2.3.1.2. Séchoirs directs.....	24
2.3.1.3. Séchoirs indirects.....	25
2.3.1.4. Séchoirs mixtes.....	26
2.2.2. Transformation des fruits et légumes en poudre	26
III. TECHNOLOGIES DE TRANSFORMATION DE LA PRUNE NOIRE (<i>Vitex doniana</i>).....	28
3.1. TRANSFORMATION DE LA PULPE DE LA PRUNE NOIRE	28
3.1.1. Confiserie à base de la pulpe de prune noire (<i>V. doniana</i>).....	28
3.1.1.1. Sirop de la prune noire	28
3.1.1.2. Confiture de la prune noire.....	28
3.1.2. Boissons à base de pulpe de la pulpe noire (<i>V. doniana</i>)	28
3.1.2.1. Jus de la pulpe de la prune noire	28
3.1.2.2. Vin de la pulpe de la prune noire.....	29
3.1.3. Edulcorant à base de la pulpe de la prune noire	29
3.2. TRANSFORMATION DE LA GRAINE DE LA PRUNE NOIRE EN HUILE ET RESUME DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES (PULPE ET GRAINE).....	29
IV. FORMULATION D'UN PRODUIT DE BOULANGERIE ET RHEOLOGIE DES PÂTES BOULANGERES.	32
4.1. FORMULATION DE GATEAUX (CAKE).....	32

4.1.1. Mélange ou battage.....	33
4.1.2. Cuisson	33
4.1.3. Ingrédients et leur rôle.....	34
4.1.3.1. Farine de blé	34
4.1.3.2. Matière grasse.....	34
4.1.3.3. Œufs et lait.....	35
4.1.3.4. Sucre.....	35
4.1.3.5. Sel.....	36
4.2. RHEOLOGIE DES PATES BOULANGERES	36
V. GENERALITES SUR LES PROPRIETES FONCTIONNELLES D'UNE FARINE ET L'EVALUATION SENSORIELLE.....	42
5.1. PROPRIETES FONCTIONNELLES.....	42
5.1.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE) et Indice de solubilité dans l'eau (ISE)	42
5.1.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH).....	42
5.1.3. Capacité émulsifiante et stabilité de l'émulsion	43
5.1.4. Rapport hydrophile-lipophile (RHL).....	43
5.2. GENERALITES SUR L'EVALUATION SENSORIELLE.....	43
5.2.1. Définition.....	43
5.2.2. Epreuves sensorielles.....	44
5.2.2.1. Epreuves discriminatives.....	44
5.2.2.2. Epreuves descriptives	44
5.2.2.3. Epreuves hédoniques	45
2^{ème} PARTIE : MATERIEL ET METHODES	46
I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	47
II. MATERIEL	48
2.1. MATERIEL VEGETAL	48
2.2. MATERIEL TECHNIQUE	49
III. METHODES	49
3.1. REALISATION DE L'ENQUETE SUR LA PRUNE NOIRE	49
3.2. ECHANTILLONNAGE.....	50
3.3. DETERMINATION DE LA COLORATION, CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE ET SECHAGE SOLAIRE DE LA PRUNE NOIRE	51
3.3.1. Détermination de la coloration de la prune noire	51
3.3.2. Caractérisation morphologique	52

3.3.3. Séchage solaire de la prune noire	54
3.3.3.1. Dispositif expérimental	54
2.3.3.2. Pertes en eau et activité de l'eau des fruits séchés.....	56
3.4. CARACTERISATION PHYSICOCHIMIQUE DE LA PULPE ET DE LA PELURE DE LA PRUNE NOIRE	57
3.4.1. Détermination de la teneur en eau initiale, du pH, de l'acidité totale, des extraits secs solubles de la prune noire et la vitamine C.....	57
3.4.1.1. Détermination de l'humidité et de la matière sèche de la pulpe et de la pelure de la prune noire.....	57
2.4.1.2. Détermination du pH et l'acidité totale de la prune noire	58
2.4.1.3. Détermination de l'extrait sec réfractométrique(ESR) de la pulpe de la prune noire...	59
2.4.1.4. Rapport extrait sec réfractométrique / acidité totale (ESR/AT)	59
2.4.1.5. Détermination de la teneur en vitamine C de la prune noire	60
3.4.2. Analyse physicochimique des poudres de pulpes et de pelures de prunes noires	61
3.4.2.1. Production de poudres de pulpe et de pelure de la prune noire	61
3.4.2.2. Composition physicochimique des poudres	63
3.4.2.3. Détermination de la teneur en cendres totales de la pulpe et de la pelure de la prune noire.....	63
3.4.2.3. Détermination de la teneur en protéine de la pulpe et de la pelure de la prune noire...	63
3.4.2.4. Détermination des acides aminés dans la pulpe et la pelure de la prune noire	64
3.4.2.5. Détermination de la teneur en fibres de la pulpe et de la pelure de la prune noire.....	66
3.4.2.6. Détermination de la teneur en lipides de la pulpe et de la pelure de la prune noire	68
3.4.2.7. Détermination de la teneur en glucides totaux de la pulpe et de la pelure de la prune noire.....	70
3.4.2.8. Détermination de la teneur en glucides totaux de la prune noire	71
3.4.2.9. Détermination des minéraux dans la pulpe et la pelure de la prune noire	73
3.4.2.10. Détermination des composés phytochimiques et activités antioxydantes de la pulpe et de la pelure de la prune noire	73
3.5. TRANSFORMATION DES POUDRES DE PULPES ET PELURES DE PRUNE NOIRE EN PATISSERIE	77
3.5.1. Détermination des propriétés fonctionnelles des poudres de pulpes et de pelures de prunes noires	77
3.5.1.1. Capacité d'absorption d'eau et indice de solubilité dans l'eau des poudres	77
3.5.1.2. Densité apparente (DA) des poudres	78
3.5.1.3. Pouvoir gonflant des poudres	78
3.5.1.4. Capacité d'absorption d'huile des poudres.....	78

3.5.1.5. Rapport hydrophile – lipophile.....	79
3.5.1.5. Capacité émulsifiante (CE) et stabilité des émulsions (SE)	79
3.5.2. Formulation et caractérisation des pâtes et des gâteaux issus de la pulpe et de la pelure de la prune noire.....	80
3.5.2.1. Formulation et caractérisation rhéologique des pâtes de gâteaux	80
3.5.2.2. Caractérisation physicochimique des gâteaux.....	83
2.5.3.2. Composition physicochimique des gâteaux	86
2.5.3.3. Caractérisation sensorielle.....	86
3.6. ANALYSES STATISTIQUES	86
3^{ème} PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION.....	88
I. ENQUETES SUR LA CONSOMMATION ET LES TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE CONSERVATION ET TRANSFORMATION DE LA PRUNE NOIRE.....	89
1.1. RESULTATS	89
1.1.1. PROFILS DES CONSOMMATEURS ENQUETES.....	89
1.1.1.1. Etat de connaissance des consommateurs de la prune noire.....	90
1.1.1.2. Relation entre les caractères socio-démographiques des consommateurs et la consommation de la prune noire.....	91
1.2. DISCUSSION.....	94
II. CINETIQUE DE SECHAGE DE LA PRUNE NOIRE.....	96
2.1.RESULTATS.....	96
2.1.1. Evolution de la teneur en eau et de la vitesse de séchage de la prune noire en fonction du temps	96
2.1.2. Evolution de la vitesse de séchage en fonction de la teneur en eau	97
2.1.3. Evolution de l'activité de l'eau en fonction du temps de séchage.....	98
2.2. DISCUSSION	99
III. CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DE LA PRUNE NOIRE ET DE SA GRAINE.....	101
3.1. RESULTATS	101
3.1.1. Caractéristiques morphologiques et coloration de la prune noire et de sa graine.....	101
3.1.1.1. Caractéristiques morphologiques de la prune noire et de sa graine.....	101
3.1.1.2. Coloration de la prune noire.....	103
3.1.2.Composition chimique de la prune noire : pulpe et pelure.....	104
3.1.2.1. Teneur en eau, pH, Acidité totale et extrait sec refractométrique, de la pulpe de la prune noire.....	104
3.1.2.2. Composition nutritive de la pulpe et de la pelure de la prune noire	105

3.1.2.3. Composition phytochimique et teneur en acides ascorbiques de la pulpe et de la pelure de la prune noire	113
3.2.DISCUSION	125
3.2.1. Caractéristiques morphologiques de la prune noire et de sa graine	125
3.2.2. Caractéristiques chimiques de la prune noire : pulpe et pelure	126
3.2.2.1. Teneur en eau, acidité totale, extrait secs réfractométrique (ESR) et pH de la prune noire	126
3.2.2.2. Caractéristiques nutritives de la pulpe et de la pelure de la prune noire	127
3.1.2.1. Composition phytochimique et teneur en acides ascorbiques de la pulpe et de la pelure de la prune noire issue de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro	134
IV. VALORISATION DE LA PRUNE NOIRE EN BIOPRODUIT : CAKE	142
4.1.RESULTATS	142
4.1.1. Propriétés fonctionnelles des poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire	142
4.1.2. Caractéristiques physiques et rhéologiques des gâteaux réalisés par la farine composée blé-prune noire (pulpe et pelure)	143
4.1.2.1. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur les caractéristiques physiques des cakes	143
4.1.2.2. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la température de gélification et les propriétés rhéologiques des pâtes.....	146
4.1.2.3. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la coloration et la texture des gâteaux.	154
4.1.3. Caractéristiques chimiques des échantillons de gâteaux formulés	158
4.1.4. Caractéristiques organoleptiques des gâteaux formulés	160
4.2.DISCUSION	162
4.2.1. PROPRIETES FONCTIONNELLES DE LA PULPE ET DE LA PELURE DE LA PRUNE NOIRE	162
4.2.2. CARACTERISTIQUES DES PATES ET DES GATEAUX PARTIELLEMENT SUBSTITUES AVEC DIFFERENTS NIVEAUX DE Poudre DE PELURE (FVPE) ET DE Poudre DE PULPE DE LA PRUNE NOIRE	167
4.2.2.1. Effet de des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur les caractéristiques physiques des pâtes et des gâteaux	167
4.2.2.2. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la température de gélification et les propriétés rhéologiques des pâtes.....	170
4.2.2.3. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la coloration et la texture des gâteaux	175
4.2.2.4. Caractéristiques chimiques des échantillons de gâteaux formulés	177
4.2.2.5. Caractéristiques organoleptiques des gâteaux formulés	178
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	182

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	187
ANNEXES	224

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé au Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN) du Département de Formation et de Recherche Génie Chimique et AgroAlimentaire (DFR-GCAA) de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët – Boigny (INPH-B). Il a bénéficié de la collaboration des laboratoires de Qualité et de Sécurité des Produits Agroalimentaires (QSPA), de Chimie Organique et des Sciences des Aliments et Formulation (SAF) à l'Université de Liège – Gembloux AgroBioTech. Qu'il me soit permis d'exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à toutes ces institutions. Par ailleurs, cette étude n'aurait pas pu être menée sans le concours et le soutien tant moral que financier ainsi que les encouragements de nombreuses personnes à qui j'exprime ma profonde gratitude et mes remerciements.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Directeur de l'Ecole Doctorale Polytechnique de Yamoussoukro, Monsieur **YAO Kouassi Benjamin**, Professeur Titulaire de Génie Chimique pour son efficacité et sa disponibilité. Au-delà de ses compétences scientifiques, ses qualités d'administrateur ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie très sincèrement Monsieur **ASSIDJO Nogbou Emmanuel**, Professeur Titulaire de Chimie Analytique et Chimiométrie qui m'a accepté au sein de l'équipe de Modélisation et de Technologies Alimentaires, Co-Directeur de cette thèse et Responsable du Laboratoire de Nutrition et de Technologies Alimentaires (LANTA). Ces charges administratives et académiques n'ont empêché ni amoindri son implication aussi bien dans la conception, le suivi et la correction de ce travail. Son aide gratuite est pour moi le signe de sa générosité et de sa grandeur d'âme.

J'exprime toute ma reconnaissance à Monsieur **AHI Amédée Pascal**, Maîtres de Conférences de Biochimie et Technologies des Aliments, qui a accepté de codiriger ce travail en le réorientant. Son amour du travail bien fait, son efficacité, son accessibilité et sa rigueur dans le travail ont été des qualités qui ont contribué largement à donner à ce mémoire son ossature actuelle. En dépit de ces nombreuses charges, il n'a ménagé aucun effort pour affiner ce travail ; qu'il en soit remercié.

Mes remerciements s'adressent également à :

- la Directrice du Laboratoire de Qualité et de Sécurité des Produits Agroalimentaires (QSPA), Madame **SINDIC Marianne**, Professeur Titulaire, pour m’avoir accueilli dans son Laboratoire. Ses conseils, sa disponibilité et surtout sa promptitude à résoudre les problèmes ont été un atout pour moi ;
- la Directrice du Laboratoire de Chimie Organique, Madame **FAUCONNIER Marie-Laure**, Professeur Titulaire de Chimie organique pour m’avoir également accueilli dans son Laboratoire pour la réalisation de certains travaux.

le Directeur du Laboratoire de Science des Aliments et Formulation, Monsieur **Christophe BLECKER**, Professeur Titulaire de Sciences des aliments et formulation, à qui je voudrais lui témoigner toute ma reconnaissance pour m’avoir accueilli dans son Laboratoire. Je tiens à remercier Messieurs **KONE Kisselmina Youssouf**, Maître de Conférences de Génie des Procédés et **SORO Doudjo**, Maître de conférences de Génie des procédés, pour leur implication effective dans la réalisation de ce travail.

Je remercie également Messieurs **KOFFI Kouadio Ernest**, Professeur Titulaire de Biochimie et Sciences des Aliments, **KOUAME Kan Benjamin**, Maître de conférences de Biochimie et Technologies des Aliments et **DOSSOU-YOVO Pierre**, Professeur Titulaire de Chimie et Procédés des Aliments, pour leur disponibilité et leur apport en vue d’améliorer ce travail.

Je n’oublie pas Madame **ESSAN Bla Zita** épouse Aw, Maitres de Conférences de Microbiologie Alimentaire pour son soutien indéfectible, son aide dans divers domaines et son encouragement. Que Dieu bénisse sa famille.

Je ne saurai oublier les Enseignants-Chercheurs du Département de Formation et de Recherche Génie Chimique et AgroAlimentaire (DFR-GCAA), tous en leurs rangs, grades et qualités.

Mes remerciements vont également à toute l’équipe du Laboratoire de Qualité et Sécurité des Produits Agroalimentaires (QSPA), **Eyenga Manga**, El-Hajjaji **Soundous**, **Thomas Bertrand**, **Florence Lefèvre**, **Emilie**, **Amaury** et **Bérénice**, mais également **Danny Trisman** du laboratoire de Chimie Organique pour leur aide et leur sympathie.

Aussi, je veux exprimer mes sincères remerciements à tous les Enseignants-Chercheurs et doctorants du Groupe Nutrition et Technologies Alimentaires (GNTA), pour leur apport lors des différentes présentations de mes travaux de thèse.

Je n'oublie pas Madame **N'TAKPE Claudine**, Monsieur **DIARRASSOUBA Mamy** et **TOURE Yetioman, Maître Assistant** en Qualité et sécurité des Produits Agroalimentaires) pour leur aide dans divers domaines. Que DIEU tout puissant vous comble de sa grâce infinie.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Arbre du prunier des savanes (<i>Vitex doniana</i> Sweet).....	6
Figure 2 : Feuilles du prunier des savanes (<i>Vitex doniana</i> Sweet).....	7
Figure 3 : Inflorescence du prunier des savane (<i>Vitex doniana</i> sweet).....	8
Figure 4 : Photographies de fruits du prunier noir non mûrs (A) et mûrs (B).....	8
Figure 5 : Photographie de la graine du fruit du prunier noir.....	9
Figure 6 : Schéma du séchoir solaire direct.....	24
Figure 7 : Schéma de séchoir solaire indirect.....	25
Figure 8 : Schéma du séchoir solaire mixte	26
Figure 9 : Diagramme des différentes technologies de la prune noire	31
Figure 10 : Vue d'ensemble des différentes épreuves de l'analyse sensorielle en fonction de l'objectif	44
Figure 11 : Localités de Ferkéssédougou, Bondoukou, Tiébissou et Yamoussoukro présentées par la carte administrative de la Côte d'Ivoire	48
Figure 12 : Prunes noires mûres (<i>Vitex doniana</i> Sweet)	49
Figure 13 : Schéma du séchoir solaire.....	55
Figure 14 : Vue de l'avant du séchoir solaire de type serre	56
Figure 15 : Vue de l'arrière du séchoir solaire de type serre.....	56
Figure 16 : Claie à l'intérieur du séchoir	56
Figure 17 : Schéma de production de la poudre de la pulpe et de la pelure de la prune noire .	63
Figure 18 : Répartition des consommateurs par rapport aux caractères socio-démographiques	90
Figure 19 : Evolution de la teneur en eau en fonction du temps de séchage de la prune noire	96
Figure 20 : Evolution de la vitesse de séchage en fonction du temps de séchage de la prune noire.....	97
Figure 21 : Evolution de la vitesse de séchage en fonction de la teneur en eau de la prune noire.....	97
Figure 22 : Evolution de l'activité de l'eau en fonction du temps de séchage de la prune noire	98
Figure 23 : Etude comparative de certains composants nutritionnels de la pulpe et de la pelure de la prune noire issu de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro	107
Figure 24 : Etude comparative de la teneur en macro-minéraux de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro.	112
Figure 25 : Etude comparative de la teneur en micro-minéraux de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro	113
Figure 26 : Activité antioxydante des extraits de pulpes de la prune noire issu de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro par DPPH.....	121
Figure 27 : Activité antioxydante des extraits de pelures de la prune noire issu de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro par DPPH.....	122
Figure 28 : Activité antioxydante des extraits de pulpes et de pelures de la prune noire issu de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro par la méthode FRAP.	124

Figure 29: Thermogramme typiques de DSC des échantillons de farine de blé (control) et de farines de blé avec la farine de pulpe et pelure de la prune noire incorporées à différents pourcentages.....	147
Figure 30: Température de pointe (Tp) et enthalpies (ΔH) des mélanges de farine de blé et de farine de pulpe et de pelure de la prune noire de 0 – 7%	148
Figure 31: Courbe d'écoulement montrant la relation entre le taux de cisaillement et la contrainte de cisaillement des pâtes à gâteau.	149
Figure 32: Courbe d'écoulement montrant la relation entre le taux de cisaillement et la viscosité apparente des pâtes à gâteau.....	150
Figure 33: Comportement viscoélastique des pâtes à gâteau.	153
Figure 34: Gâteaux avec différents niveaux d'incorporation de la farine de la pulpe (A) et de la pelure (B) de la prune noire.....	155
Figure 35: Notes d'évaluation sensorielle des gâteaux préparés avec différents niveaux de supplément de farine de la pulpe et de la pelure de la prune noire	161

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Production de la prune noire	10
Tableau 2: Phénologie du prunier noir	11
Tableau 3: Composition en acides aminés du fruit de la prune noire (V. doniana) (en g pour 16 g N) en comparaison à la protéine de référence selon la FAO (1970).	13
Tableau 4: Composition minérale de la prune noire (V. doniana)	14
Tableau 5: Composition vitaminique de la pulpe de la prune noire.	16
Tableau 6: Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des méthodes rhéologiques empiriques	38
Tableau 7: Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des tests rhéologiques fondamentaux généralement utilisés pour les produits céréaliers	41
Tableau 8: Formule pour le gâteau (Unité : g/100 g).....	81
Tableau 9: Tableau récapitulatif de la disponibilité, l'accessibilité, le mode d'obtention, la forme de consommation, la transformation et la conservation de la prune noire et de sa graine	91
Tableau 10: Influence des caractères socio-démographiques sur l'état de la consommation de la prune noire.....	93
Tableau 11: Caractéristiques morphologiques de la prune noire.	102
Tableau 12: Valeurs massique de la prune noire entière et de ses différentes parties	103
Tableau 13: Chromaticité et luminosité (CIE, Lab) de la prune noire	104
Tableau 14: Caractéristiques physicochimiques de la prune noire issus de trois localités de la Côte d'Ivoire.	105
Tableau 15: Teneur en acides aminés (mg/100g de MS) de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro.....	109
Tableau 16: : Teneur en acides aminés essentiels de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro comparées à celle de la protéine « Idéal » selon l'OMS	110
Tableau 17: Teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes, anthocyanes et acides ascorbiques de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro.....	115
Tableau 18: Analyse des composés phénoliques dans la pulpe et la pelure de la prune noire issus de trois (3) localités de la Côte d'Ivoire	118
Tableau 19: Activités antioxydantes des extraits de pulpes et de pelures de la prune noire exprimés en IC ₅₀ (mg/mL) et de mgAAE/g extrait sec.	122
Tableau 20: Coefficient de corrélation entre les activités antioxydantes et les composés phytochimiques des extraits de pulpes et de pelures de la prune noire.	124
Tableau 21: Propriétés fonctionnelles des farines de la pulpe et de la pelure de la prune noire	143
Tableau 22: Caractérisation physique des pâtes et des cakes issus de l'incorporation des farines de la pelure et de la pulpe de la prune noire dans la farine de blé.....	145

Tableau 23: Propriétés thermiques (DSC) de la farine de blé et de la farine de blé avec la farine de la pulpe et de la pelure de la prune noire incorporées à différents pourcentages....	147
Tableau 24: Constantes du modèle de Herschel Bulkley décrivant les courbes d'écoulement de la pâte à gâteau à différents taux d'incorporation de la farine de la pulpe et de la pelure de la prune noire.....	151
Tableau 25: Les valeurs moyennes de mesures de la couleur des croûtes et des mies de gâteaux partiellement substituées par différents niveaux de farines de la pulpe et de la pelure de la prune noire.....	156
Tableau 26: Les valeurs moyennes des mesures de la texture des mies de gâteaux partiellement substituées par différents niveaux de farines de la pulpe et de la pelure de la prune noire.....	157
Tableau 27: Composition des gâteaux avec des niveaux variés de farines de pulpe et de pelure de la prune noire.....	159

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AOAC	: Association of Official Analytical Chemists
2,6-DCPIP	: 2,6-Dichlorophénolindophénol
AFSSA	: Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
CLHP	: Chromatographie Liquide à Haute Performance
DAD	: Détection à barrette de Diodes
DPPH	: 2,2-Diphényl-1-Picrylhydrazyle
DSC	: Calorimétrie Différentielle à balayage
FAO	: Food Agriculture Organization
FRAP	: Capacité de réduction ferrique du plasma
G'	: Module de stockage
G''	: Module de perte
IC₅₀	: Concentration d'inhibition à 50%
INPHB	: Institut National Polytechnique Félix Houphouët- Boigny
K₃Fe (CN) ₆	: Ferricyanure de potassium
MeOH	: Méthanol
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
OPA	: O-Ophthaldialdéhyde
Tan δ	: Tangente de perte
TPA	: Analyse de Profil de texture
P	: Masse volumique
AE	: Activité émulsifiante
AT	: Acidité Totale
Aw	: Activité de l'eau
CAE	: Capacité d'Absorption d'Eau
CAH	: Capacité d'Absorption d'Huile
CIE	: Commission Internationale de l'Eclairage

DA	: Densité Apparente
ESS	: Extraits Secs Solubles
FPE	: Farine de la Pelure de la Prune noire
FPU	: Farine de la Pulpe de la prune noire
GAE	: équivalent d'acide gallique
GNTA	: Laboratoire du Groupe Nutrition et Technologies Alimentaire
GT	: Teneur en glucides totaux
I_c	: Indice de calibre
I_s	: Indice de sphéricité
ISE	: Indice de Solubilité dans l'Eau
LAPISEN	: Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles
MCE	: 2-mercaptoéthanol
M_{Fr}	: Masse de la prune noire
MG	: Matières grasses
MGr	: Masse de la graine
MPe	: Masse de la pelure
MPu	: Masse de la pulpe
MS	: Matière sèche
P_{Gr}	: Proportion en graine
Ppe	: Proportions en pelure
PPu	: Proportions en pulpe
QE	: Equivalent quercétine
QSPA	: Laboratoire de Qualité et Sécurité des Produits Agroalimentaires
R_a	: Aspect ration
RHL	: Rapport hydrophile - Lipophile

SAF	: Laboratoire de Sciences des Aliments et des Formulations
SE	: Stabilité de l'émulsion
TAC	: Teneur en anthocyanes totales
TC	: Teneur en cendre
V_{Fr}	: Volume de la prune noire

RESUME

Certaines plantes sauvages à valeurs nutritionnelles importantes et à production alimentaire qualitativement et quantitativement intéressante, ne font pas objet d'exploitation, à cause de leur conservation difficile notamment le prunier des savanes (*Vitex doniana*). Dans ce contexte, l'étude réalisée s'intéresse à contribuer à la valorisation de la prune noire, par la conservation et la préservation de la qualité nutritionnelle des fruits, en vue d'une participation à l'accroissement des revenus des populations rurales. Dans ce cadre, une enquête de consommation dans une zone de l'Est de la Côte d'Ivoire (Bondoukou) et un essai de séchage solaire sous serre des fruits mûrs issus de cette localité ont été effectués. Par ailleurs, la pulpe et la pelure des fruits séchés provenant de trois localités de la Côte d'Ivoire (Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro) ont été transformées en poudres suivi de la caractérisation physico-chimique et de l'incorporation de ces dernières dans la préparation de gâteaux, en vue d'un enrichissement en fibres. Les résultats de l'enquête ont montré que, la pulpe et la graine de ce fruit ne font l'objet respectivement d'aucune conservation et transformation. La caractérisation physicochimique a révélé que, la pulpe et la pelure de la prune noire contiennent des quantités élevées de fibres ($34,79 \pm 0,07 - 39,83 \pm 1,85$ %), de cendres ($4,91 \pm 0,81 - 5,91 \pm 0,41$ %), de potassium ($1863,00 \pm 1,4 - 2584,55$ mg/100 g MS), de phosphore ($105,50 \pm 2,12 - 179,00 \pm 2,89$ mg/100 g MS), de calcium ($355,30 \pm 2,52 - 389,52 \pm 3,54$ mg/100 g MS) et de polyphénols ($202,51 \pm 4,19 - 463,45 \pm 6,85$ mg GAE/100 g MS) notamment les flavonoïdes ($75,71 \pm 1,03 - 145,55 \pm 1,03$ mg QE/100 g MS). Toutefois, la pelure reste, la partie la plus riche en fibres, calcium et polyphénols. De plus, l'identification et la quantification des composés phénoliques contenus dans la pulpe et la pelure de la prune noire, révèlent les présences majeures respectivement de l'acide cinnamique et de l'acide gallique ; à l'exception des pelures des fruits issus de Ferkéssédougou dont le phénol majoritaire est l'acide cinnamique. Les extraits de pulpes et de pelures ont montré des capacités élevées à piéger le ,2-Diphényl-1-Picrylhydrazyle (DPPH) et à réduire le fer. Par ailleurs, l'enrichissement du gâteau en fibres via les farines de la prune noire, a entraîné une diminution de la densité de la pâte à gâteau et du volume des gâteaux, une modification significative ($P < 0,05$) de la température de pointe (T_p) et celle de l'enthalpie de gélification (ΔH) de la farine de blé. En outre, les pâtes à farine composée ont montré un comportement pseudoplastique (amincissement par cisaillement) et solide – élastique. Et, aucun effet significatif ($P > 0,05$) n'a été observé sur l'écoulement et la viscoélasticité de la pâte à gâteau. Cependant, la couleur de la croûte et de celle de la mie ont été significativement ($P < 0,05$) affecté par l'incorporation des farines de prunes noires. Les différents gâteaux enrichis ont présenté dans l'ensemble des propriétés organoleptiques intéressantes car jugés acceptables par les panélistes. Au final, l'intérêt de la conservation et de la transformation de la prune noire est donc vérifié en terme de qualité nutritionnelle et organoleptique.

Mots clés : Prune noire (*Vitex doniana*), valorisation, propriétés nutritionnelles, farines composées, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

Some species of wild plants with important nutritional values and with qualitatively and quantitatively interesting food production are not exploited, because of their difficult conservation, especially the savanna plum (*Vitex doniana*). In this context, the study carried out interested to contribute to the valorization of black plum, through the conservation and preservation of the nutritional quality of the fruit, with a view to contributing to the increase of the incomes of rural populations. Within this framework, a consumption survey in an area of eastern Côte d'Ivoire (Bondoukou) and a trial of solar drying in greenhouse of ripe fruit from this locality were carried out. In addition, the pulp and peel of dried fruits from three localities in Côte d'Ivoire (Ferkéssédougou, Tiébissou and Yamoussoukro) were processed into powders followed by physico-chemical characterization and incorporation of the latter in the preparation of cakes, with a view to enriching them with fiber. Survey results showed that black plum pulp and seed are not preserved or processed respectively. Physicochemical characterization revealed that black plum pulp and peel contain high amounts of fiber ($34,79 \pm 0,07 - 39,83 \pm 1,85$ %), ash cendres ($4,91 \pm 0,81 - 5,91 \pm 0,41$ %), potassium ($1863,00 \pm 1,4 - 2584,55$ mg/100 g MS), phosphorus ($105,50 \pm 2,12 - 179,00 \pm 2,89$ mg/100 g MS), calcium ($355,30 \pm 2,52 - 389,52 \pm 3,54$ mg/100 g MS) and polyphenols ($202,51 \pm 4,19 - 463,45 \pm 6,85$ mg GAE/100 g MS) in particular flavonoids ($355,30 \pm 2,52 - 389,52 \pm 3,54$ mg/100 g MS). However, the peel was part richest in fiber, calcium and polyphenols. In addition, the major phenolic compounds in these fruit are cinnamic acid and gallic acid respectively; with the exception of Ferkéssédougou fruit peels whose major phenol is cinnamic acid. Pulp and peel extracts showed high capacities to scavenge DPPH and to reduce iron. The cake enrichment resulted in a decrease in cake dough density and cake volume, a significant change ($P < 0,05$) in the peak temperature (T_p) and the enthalpy of gelatinization (ΔH) of wheat flour. Compound flour doughs showed pseudoplastic (shear thinning) and solid-elastic behaviour. And, no significant effect ($P > 0,05$) was observed on the flow and viscoelasticity of the dough. However, crust and crumb color were significantly ($P < 0,05$) affected by the incorporation of black plum flours. The various cakes enriched and incorporated with black plum flour showed on the whole interesting organoleptic properties as they were considered acceptable by the panellists. The interest of the conservation and processing of black plum was verified in terms of nutritional and sensorial quality.

Keywords : Black plum (*Vitex doniana*), valorization, nutritional properties, compound flour, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Les ressources végétales forment une part importante de la diversité biologique de nombreux états africains. On distingue les plantes cultivées et améliorées génétiquement et les plantes naturelles (**Gautier-Béguin, 1992**). Dans les pays tropicaux notamment au Bénin et au Nigéria, l'intérêt de ces plantes sauvages dans l'alimentation des populations rurales est largement reconnu. Ces espèces produisent des fruits, des feuilles et des graines, véritables sources de compléments nutritionnels et de ressources financières en milieu rural (**Gautier-Béguin, 1992**). Elles sont utilisées pour leur rôle dans la prévention et le traitement des maladies. Toutefois, certaines de ces espèces à valeurs nutritionnelles importantes et à production alimentaire quantitativement intéressante ne font pas objet d'exploitation, à cause de leur conservation difficile. Dans la plupart des pays tropicaux, la production de nombreuses denrées alimentaires périssables et saisonnière ne sont disponibles que pendant une courte période de l'année (**Touzi et Merzaia, 2008**). Au cours de cette brève période, la production excède la capacité d'absorption des populations, d'où la nécessité de transformer et de conserver l'excédent, pour éviter les gaspillages et le manque à gagner pour les paysans (**Ali et al., 1983**).

Ainsi, dans les pays en voie de développement, la conservation et la transformation de ces produits alimentaires ont une importance considérable, en raison du rôle économique et social qu'ils revêtent en milieu rural et urbain. Ces activités constituent une source de revenus non négligeables pour les populations et jouent un rôle essentiel, aux plans nutritionnel et sanitaire, dans la stratégie nationale d'autosuffisance alimentaire (**Rabeniarifeno, 2010**). Au nombre de ces plantes, on peut citer la prune noire (*Vitex doniana*).

La prune noire ou *Vitex doniana* (de son nom scientifique) est une espèce de plante spontanée, de la famille des Lamiaceae, répandue dans la plupart des pays tropicaux notamment la Côte d'Ivoire (**Verdcourt, 1992; Ambé, 2000 ; Oumorou et al., 2010; Shaban, 2011 ; Dadjo et al., 2012; Djakalia et al., 2016**). En Côte d'Ivoire, elle est beaucoup prisée pour ses feuilles et ses fruits comestibles, dans certaines zones notamment au Centre (dans le V – Baoulé, à Pakobo, Ahiérou et Zougoussi) (**Gautier – béguin, 1992**), au Nord – Ouest (à Séguéla) (**Ambé, 2000**), au Nord (à Korhogo et Tingrela) (**Tiébré et al., 2016**) et dans la zone Nord-Est (à Bondoukou) (**Ouattara et al., 2016**). Du point de vue nutritionnel, ses fruits, consommés

crus constituent une source de vitamines A, B et C, de glucides, de flavonoïdes et d'autres micronutriments tels que le calcium (30,27 mg / 100 g de MS), le magnésium (20,10 mg / 100 g de MS) et le phosphore (16,50 mg / 100 g de MS) (Agbede et Ibitoye, 2007; Ajenifujah-Solebo, 2011; Vunchi *et al.*, 2011 ; Soro *et al.*, 2018). Par ailleurs, la casticine (3',5-dihydroxy-3,4',6,7-tetramethoxyflavone) aussi appelée Vitexicarpine est le composé des fruits du genre *Vitex* avec le plus grand nombre d'activités biologiques démontrées comme un agent oestrogénique, opioïde, antitumoral, antioxydant et anti-inflammatoire (Lee *et al.*, 2012 ; Xu *et al.*, 2012). En outre, la graine de la prune noire constitue une bonne source de composés phénoliques notamment l'acide hydroxybenzoïque (Salih et Yahia, 2015). En effet, les polyphénols sont connus pour leur pouvoir antioxydant et leur vertu biologique. Ils contribuent donc à la prévention des maladies dégénératives et cardiovasculaires (Déprez *et al.*, 2000). Ils sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par l'organisme ou formés en réponse à des agressions causées par l'environnement (cigarette, polluants, infection etc.) qui favorisent le vieillissement cellulaire (Scalbert et Williamson, 2000).

En Côte d'Ivoire, la prune noire (*V. doniana*) est disponible et le prunier peut porter environ une tonne de fruits. Cependant, il est consommé sous des formes traditionnelles et de plus, très peu d'informations sont actuellement disponibles sur l'utilisation de la prune noire dans les aliments de grande consommation et de grande distribution. Aussi, faut-il observer que la durée de conservation des fruits du prunier est limitée dans le temps comme toutes les denrées alimentaires ; car ces fruits s'altèrent trois jours après la récolte. Il se pose donc un problème de conservation de la prune noire eu égard à toutes ses vertus. Par ailleurs, les prunes noires sont peu consommées par les populations productrices. La grande partie est donc abandonnée dans les plantations. Ce qui représente une énorme perte et un manque à gagner pour les paysans. Le choix de la valorisation de la prune noire en bioproduit en vue de son utilisation dans le domaine alimentaire, réside dans le fait que peu de travaux y ont été consacrés en Côte d'Ivoire. Dans ces conditions, le niveau de connaissance et le séchage en vue de sa conservation, sa caractérisation nutritionnelle et sa possibilité de transformation devraient offrir un potentiel important pour une meilleure valorisation de la prune noire.

Ce travail de recherche tire dès lors, son intérêt et son originalité du fait de manque de base de données conséquentes sur la prune noire. De ce qui suit, cette étude va s'orienter autour des préoccupations incluant la question principale de recherche suivante : l'inexploitation de la prune noire est-elle imputable à la méconnaissance de son potentiel nutritionnel et

technologique par les populations ? Autour de cette question principale de recherche gravitent trois questions secondaires :

- quel est le potentiel nutritionnel de la prune noire ?
- la composition nutritionnelle de la prune noire est-elle favorable à sa conservation ?
- comment pourrait-on valoriser la prune noire ?

A partir de ces interrogations plusieurs objectifs sont assignés à cette étude. Ainsi, l'objectif général est de contribuer à la valorisation de la prune noire à travers l'étude du niveau de connaissance sur sa consommation, sa conservation et sa caractérisation nutritionnelle ainsi que sa transformation en bioproduit. Il se décline en quatre objectifs spécifiques :

- **Objectif spécifique 1** : identifier le profil des consommateurs et les méthodes traditionnelles de conservation et de transformation de la prune noire à travers une enquête auprès de la population ;
- **Objectif spécifique 2** : caractériser la cinétique de séchage en vue de la conservation de la prune noire et déterminer les caractéristiques et la coloration de la prune après la récolte;
- **Objectif spécifique 3** : apprécier les valeurs nutritives et fonctionnelles des poudres issues des prunes noires ;
- **Objectif spécifique 4** : faire un bioproduit apprécié des consommateurs à partir de la reconstitution de la farine de blé avec la poudre de la prune noire en vue de la valorisation du fruit de prunier noir.

A l'issue de ces objectifs, plusieurs hypothèses autour de cette principale question de recherche sont énoncées :

- **Hypothèse 1** : le schéma de consommation, de conservation et de technologie traditionnelle de transformation de la prune noire est connu et est hautement thérapeutique du point de vue nutritionnelle ;
- **Hypothèse 2** : les fruits du prunier noir ont des caractéristiques morphologiques, physicochimiques et fonctionnelles identiques ;
- **Hypothèse 3** : la substitution de la farine de blé avec les poudres de la prune noire influence significativement les pâtisseries produites.

:

Pour apporter des réponses aux interrogations posées dans la problématique, ce manuscrit est constitué de quatre (4) grandes parties. Il débute par une introduction suivie d'une revue bibliographique qui rassemble plusieurs données sur les modes de conservation, les différents facteurs d'altération des fruits, les caractéristiques et la technologies de conservation de la prune noire en Côte d'Ivoire. Dans une approche visant la compréhension globale de ce travail, la deuxième partie décrit le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation des objectifs. Ensuite, la troisième partie donne les résultats qui sont discutés. Ce travail s'achève par une conclusion générale qui permettra de tirer quelques perspectives et recommandations pour la suite de ce travail.

**1^{ère} PARTIE : REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

I. PRUNIER DES SAVANES (*VITEX DONIANA*)

1.1. DESCRIPTION BOTANIQUE

Le fruit du prunier des savanes (*Vitex doniana* Sweet), dénommé prune noire, est connu sous différents noms vernaculaires en Côte d'Ivoire et en Angola. Il s'agit de :

- **Ngbli** en Baoulé (Gautier – Béguin, 1992) ;
- **Koto** en Dioula (Ambé, 2000) ;
- **Fiolongo ou mfiolongo** en Kikongo (langue parlée en Angola) (Ky, 2008).

La description botanique de cette plante concernera l'arbre, les feuilles, les inflorescences et le fruit.

1.1.1. Arbres

La prunier des savanes (*Vitex doniana*) est un arbre atteignant environ 10 m de haut. Il comprend environ 150 espèces et est pantropical avec quelques espèces dans les régions tempérées. Environ 60 espèces sont présentes en Afrique tropicale, dont la prune noire est la plus répandue (Verdcourt, 1992). La **figure 1** présente un arbre de prune noire.

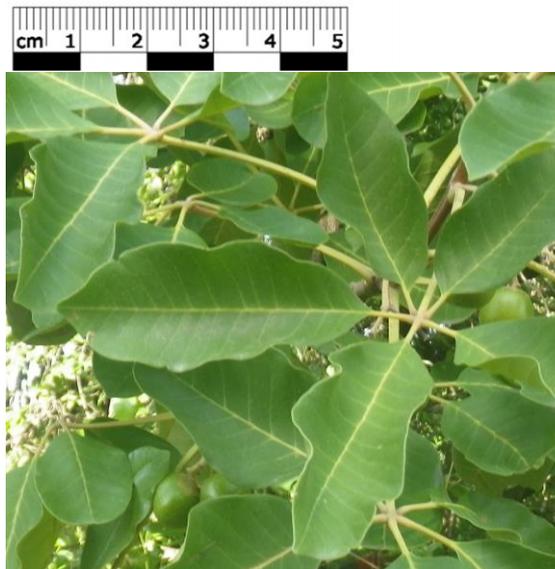


Echelle : 1/166,67 cm

Figure 1 : Arbre du prunier des savanes (*Vitex doniana* Sweet)
Source : Ky (2008).

1.1.2. Feuilles

Les feuilles sont opposées, composées – digitées avec généralement 5 folioles et glabres. Ses pétioles de 5 à 15 cm de long sont élargis et aplatis à la base de la face supérieure. Les limbes des folioles sont longs de 4 à 20 cm et large de 2 à 13 cm de large. Elles sont obovales ou obovales elliptiques et coriaces avec une nervure médiane très proéminente sur la face inférieure. Les jeunes feuilles présentent des points glanduleux visibles sur la face inférieure et ceux-ci disparaissent avec l'âge (Gautier – Béguin, 1992). La **figure 2** montre des feuilles du prunier des savanes (*Vitex doniana* Sweet).



Echelle : 1/2,57 cm

Figure 2 : Feuilles du prunier des savanes (*Vitex doniana* Sweet)

Source : **Traoré et al. (2018)**

1.1.3. Inflorescences et fruits

Les cymes auxiliaires de 7 à 25 cm de long sont tomenteuses. Quant aux fleurs, elles sont longues de 1,5 à 1,8 cm, hermaphrodites, odorantes (odeurs agréables) et subsessiles. Les calices tubulaires sont brunâtres d'environ 0,6 cm de haut avec 5 dents et à pubescence feutrée. La corolle blanche lavée de rose est irrégulière au tube incurvé de 1,3 cm de long. Les étamines d'environ 1 cm de long sont insérées dans la moitié inférieure du tube de la corolle et se prolonge légèrement au-delà de celui-ci (**Figure 3**) (**Ngwamashi, 2009**).



Echelle : 1/2 cm

Figure 3 : Inflorescence du prunier des savane (*Vitex doniana* sweet)
Source : **Ky (2008)**.

Les fruits du prunier des savanes (prune noire) sont des drupes ellipsoïdes de 2,5 cm à 3 cm de haut et de 2 à 2,5 cm de diamètre. Les fruits matures ont une coloration verte qui évolue au bruns-noires lorsqu'ils sont mûrs (**Figure 4**). Chaque fruit contient une graine dure et conique (**Traoré et al., 2018**) (**Figure 5**).

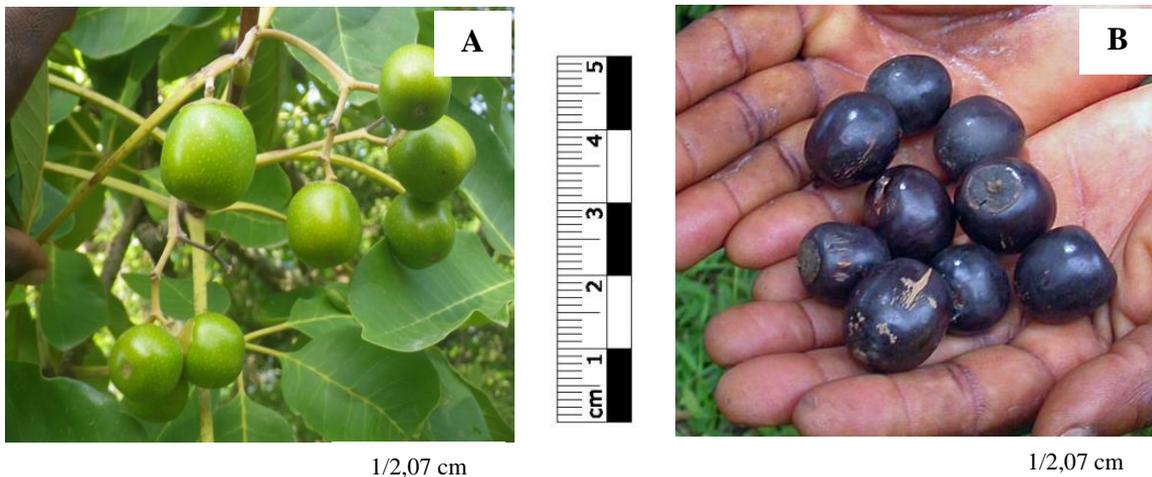


Figure 4 : Photographies de fruits du prunier noir non mûrs (**A**) et mûrs (**B**)
Source: **Ky (2008)** ; **Traoré et al. (2018)**



1/1 cm

Figure 5: Photographie de la graine du fruit du prunier noir

Source : **Traoré *et al.* (2018)**

1.2. POSITION SYSTEMATIQUE

La position systématique de l'espèce se présente de la manière ci-après (**Ngwamashi, 2009**). Cette espèce est de l'ordre des Lamiales, appartient à la famille des Lamiaceae et du genre *Vitex*.

Règne : végétale

Embranchement : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Lamiales

Famille : Lamiaceae

Genre : *Vitex*

Espèce : *Vitex doniana*

1.3. HABITAT ET PRODUCTION

Le prunier des savanes (*V. doniana*) se développe dans une variété d'habitats, de la forêt à la savane, souvent dans les endroits humides, le long des rivières et sur les termitières, jusqu'à 2000 m d'altitude. Il se développe dans les régions où la pluviométrie annuelle moyenne varie entre 750-2000 mm. Les sols alluviaux sont les plus adaptés à la culture du prunier noir. En Afrique Centrale, l'espèce *Vitex doniana* est souvent la première à s'établir quand les forêts galeries évoluent dans les zones de faible altitude de savane (Ambé, 2000).

La prune noire est extrêmement répandu en Afrique tropicale notamment au Sénégal, en Somalie, au Sud de l'Afrique etc... Outre l'Afrique, cette plante évolue aussi aux îles Maurice (Oumarou et al., 2010).

En côte d'ivoire, il est rencontré par exemple au centre, dans le V – Baoulé à Pakobo, Ahiéremou et Zougoussi (Gautier – Béguin, 1992), au Nord – ouest à Séguéla (Ambé, 2000), au Nord à Korhogo et Tingrela (Tiébré et al., 2016) et dans la zone Nord-est à Bondoukou (Ouattara et al., 2016).

Selon Gautier – Béguin (1992), le poids de la partie comestible de la prune noire équivaut à la moitié du poids total de ce dernier. Par ailleurs, sa productivité est de forte classe (Tableau 1).

Tableau 1: Production de la prune noire

Poids par fruit		Matière comestible	Productivité
Total (g)	Partie comestible (g)	% / fruits	Classe
10,4	5,1	48,9	Forte

Source: Gautier – Béguin (1992).

La prune noire est disponible du mois de Juillet au mois de Novembre, avec une durée moyenne de disponibilité des fruits sur un arbre de 39 jours (Tableau 2).

Tableau 2: Phénologie du prunier noir

Disponibilité des produits		
Période	Durée moyenne (jours)	Fréquence annuelle de production
Juillet - Novembre	39	0,6

Source: Gautier – Béguin (1992).

1.4. MULTIPLICATION ET PLANTATION

La prune noire est multipliée par graines ou drageons. La masse d'environ 1000 noyaux de fruits est de 1 kg. Les noyaux sans pulpe sont trempés dans l'eau froide ou tiède pendant 24 heures et semés frais. En Côte d'Ivoire, les noyaux sont trempés successivement dans de l'acide sulfurique à 95 % pendant 60 minutes et dans de l'eau froide pendant 72 heures. Ces noyaux germent après 26 jours avec un taux de germination de 34 %. Un noyau peut contenir plusieurs graines, par conséquent, plusieurs plants peuvent donc y germer. Les noyaux peuvent être stockés pendant 1 an entre 3-5 °C afin de ralentir leur germination. Outre, la multiplication à partir des graines, des études ont montré qu'une multiplication de la plante par bouturage est possible, avec un grand succès au Cameroun (**Mapongmetsem et al., 2012**). Les sauvageons sont parfois utilisés pour les plantations et les taux de survie dans ces plantations sont très intéressantes, environ 80-90 % après 3 ans. Cependant, la croissance du prunier des savanes est très lente (75 cm de hauteur en 31 mois à Korhogo, Côte d'Ivoire) (**Gautier et al., 2002**).

1.5. COMPOSITION BIOCHIMIQUE DES FRUITS (PULPE) DU PRUNIER DES SAVANES

1.5.1. Composition biochimique de la pulpe

1.5.1.1. Eau

La teneur en eau des fruits d'une plante est fonction, du climat, de la variété et du stade de maturation (**Chibane et al., 2007**). Elle est déterminante pour la conservation d'un aliment. La teneur en eau de la pulpe de la prune noire varie entre 16, 66 et 48, 77 % du poids frais avec une moyenne de 31, 63 % (**Agbede et Ibitoye, 2007 ; Ochieng et Nandwa, 2010 ; Vunchi et al., 2011 ; Ajenifujah-Solebo So et Aina, 2011**).

1.5.1.2. Glucides

La plupart des fruits ont une teneur élevée en glucides (**Dréon et al., 1990**). Cependant, la prune noire a une teneur en glucides en générale, faiblement élevée. Elle varie entre 28, 40 et 66, 40 % de poids sec (**Agbede et Ibitoye, 2007 ; Ochieng et Nandwa, 2010 ; Vunchi et al., 2011 ; Ajenifujah-Solebo So et Aina, 2011**).

1.5.1.3. Protéines

Les protéines sont les composantes structurales et fonctionnelles principales des cellules de l'organisme (**Bohé et al., 2003**). Ce sont des molécules très variées et chacune possède une forme tridimensionnelle et des propriétés chimiques qui lui sont propres (**Drummond et al., 2008**).

Les protéines remplissent de nombreux rôles dans la cellule comme par exemple constituer des enzymes et des hormones comme, l'insuline et l'hormone de croissance. De plus, plusieurs protéines servent de transport de substances dans le sang. Par exemple, l'hémoglobine transporte l'oxygène dans le sang alors que d'autres qui transportent des substances à travers la membrane des cellules. Elles jouent aussi un rôle structural (comme dans la structure d'un muscle, constituant le tissu musculaire, les tendons, et les ligaments) et fonctionnel (comme les protéines musculaires impliquées dans la contraction) (**Joëlle Perreault, 2014**). La teneur en protéines de la prune noire, comme la plupart des fruits est faible. Elle varie de 1,40 à 8,24 % de poids sec (**Agbede et Ibitoye, 2007 ; Ochieng et Nandwa, 2010 ; Vunchi et al., 2011 ; Ajenifujah-Solebo So et Aina, 2011**). Les acides aminés de la prune noire ont été favorablement comparé à ceux des acides aminés de références **FAO (1970) (Tableau 3)**.

Tableau 3: Composition en acides aminés du fruit de la prune noire (*V. doniana*) (en g pour 16 g N) en comparaison à la protéine de référence selon la FAO (1970).

Acides aminés	Fruit de la prune noire (g/16 g N)	Protéine de référence FAO (1970) (g/16 g N)
Isoleucine	3, 80 ± 0,01	4,2
Leucine	7, 80 ± 0,21	4,2
Lysine	4, 60 ± 0,01	4,2
Méthionine	0, 27 ± 0,01	2,2
Thréonine	5, 60 ± 0,35	2,8
Phénylalanine	6, 50 ± 0,20	4,2
Valine	3, 80 ± 0,25	2,8
Tyrosine	1, 70 ± 0,15	1,4
Tryptophane	1, 40 ± 0,10	2,0
Cystéine	2, 20 ± 0,20	-
Arginine	2, 60 ± 0,20	-
Histidine	3, 20 ± 0,05	-
Alanine	6, 50 ± 0,45	-
Sérine	5, 80 ± 0,20	-
Proline	4, 80 ± 0,10	-
Glycine	6, 20 ± 0,20	-
Acide glutamique	9, 60 ± 0,40	-
Acide aspartique	10, 60 ± 0,45	-

Source : Ladeji et Okoye (1993), - : nd (non déterminé)

1.5.1.4. Lipides

Les lipides sont des molécules organiques insolubles dans l'eau (lipos) et solubles dans les solvants organiques apolaires comme benzène, chloroforme, éther, ... Ils sont caractérisés par la présence dans la molécule d'au moins un acide gras ou chaîne grasse (Nzikou *et al.*, 2007). Ils constituent un ensemble hétérogène de composés dont les structures chimiques et les propriétés physico-chimiques sont très différentes, contrairement aux autres familles de composés biogènes comme les protéines ou les sucres, relativement homogènes d'un point de vue chimique. Les lipides représentent environ 20 % du poids du corps (Curie, 2006). Ils sont utilisés par l'organisme comme source ou réserve de carbone et d'énergie, soit 1g de lipide équivaut à 9 Kcal, ou comme composant essentiel des membranes cellulaires. Ils ont également un rôle de précurseurs : stéroïdes, vitamines, prostaglandines (Sargent *et al.*, 1989).

La prune noire renferme en général une faible quantité de lipides variant entre 3 et 4,02 % de poids sec (Ogbede et Ibitoye, 2007 ; Ochieng et Nandwa, 2010 ; Ajenifujah-Solebo So et

Aina, 2011). Cependant, au Nigeria sa teneur en lipide est de 64, 62 % de poids sec (**Vunchi et al., 2011**).

1.5.1.5. *Eléments minéraux*

Les minéraux sont des substances inorganiques, présentes dans tous les tissus et les fluides du corps. Leur présence est nécessaire pour le maintien de certains processus physico-chimiques essentiels à la vie (**Soetan et al., 2010**). Bien qu'ils ne fournissent pas d'énergie, ils jouent des rôles importants dans les activités du corps (**Malhotra, 1998 ; Eruvbetine, 2003**). Chaque forme de matière vivante nécessite des éléments minéraux pour leurs processus de vie normaux (**Ozcan, 2003**).

La prune noire a un taux de cendres compris entre 3, 41 et 11, 50 %. C'est l'un des fruits, le plus riche en éléments minéraux essentiellement le potassium, le magnésium, le phosphore et le calcium (**Tableau 4**).

Tableau 4: Composition minérale de la prune noire (*V. doniana*)

Eléments minéraux	Teneur (mg pour 100 g de poids sec)
<i>Sodium (Na)</i>	3,53
<i>Potassium (K)</i>	6,24
<i>Calcium (Ca)</i>	320
<i>Phosphore (P)</i>	47,93
<i>Fer (Fe)</i>	5,20
<i>Cuivre (Cu)</i>	2,70
<i>Magnésium (Mg)</i>	46,05

Sources : Agbede et Ibitoye, 2007 ; Ochieng et Nandwa, 2010 ; Ajenifujah-Solebo So et Aina, 2011.

1.5.1.6. *Fibres*

Les fibres ont pour particularité de n'être ni digérées, ni absorbées dans l'intestin grêle. De ce fait, elles provoquent l'augmentation de la production des selles, la stimulation de la fermentation colique, la diminution de la cholestérolémie à jeun et la diminution de la glycémie et/ou de l'insulinémie postprandiale(s) (**AFSSA, 2002**).

Du fait de leur pouvoir hydrophile, les fibres facilitent le transit intestinal et exercent un rôle préventif des cancers colorectaux, des appendicites, de la diverticulose, des varices et des hémorroïdes (**Hayet et Salem, 2008**). La teneur en fibre du *V. doniana* varie entre 0, 58 et 18, 95 % de poids sec (**Ogbede et Ibitoye, 2007 ; Ochieng et Nandwa, 2010 ; Ajenifujah-Solebo So et Aina, 2011**).

1.5.1.7. Vitamines

Les vitamines sont des substances organiques indispensables à l'organisme, sans valeur énergétique propre (**Sperte, 2016**). Certaines peuvent être synthétisées par l'homme, c'est le cas des vitamines D, K et B3. Cependant, dans la majorité des cas, l'apport alimentaire est indispensable pour fournir des quantités suffisantes de vitamines à l'organisme (**Le Moël et al., 1998**). Selon leur solubilité, les vitamines sont classées en deux groupes : les vitamines hydrosolubles (B1, B2, B3, B5, B6, B8 B9, B12 et C) et les vitamines liposolubles (A, D, E, et K) (**Riaz et al., 2009 ; Soayfane, 2011**).

Les vitamines hydrosolubles se dissolvent dans l'eau et ne sont pas stockés. Elles sont éliminées par les urines (**Katsumi et al., 2014**). Ainsi, un approvisionnement régulier en ces vitamines à travers l'alimentation est nécessaire. En revanche, les vitamines liposolubles se dissolvent dans les lipides avant d'être absorbées dans la circulation sanguine pour s'acquitter de leur fonction. Les surplus de ces vitamines sont stockés dans le foie. Il n'est donc pas nécessaire de s'en approvisionner chaque jour à travers l'alimentation (**Riaz et al., 2009 ; Soayfane, 2011**).

Par ailleurs, les différents rôles joués par les vitamines au sein de l'organisme sont variés. Elles ont des fonctions spécifiques et leurs déficits peuvent entraîner des perturbations cliniques et biologiques. Elles peuvent avoir une fonction co-enzymatique, c'est-à-dire que ce sont des molécules organiques essentielles pour que certaines enzymes puissent catalyser leurs réactions. Elles peuvent aussi jouer un rôle dans des réactions d'hydroxylation ou d'oxydoréduction. Elles présentent également une action anti-oxydante ou même une fonction de type hormonale (**Sies et al., 1992 ; Le Moël et al., 1998 ; DeLuca, 2004; Figueroa-Méndez et Rivas-Arancibia, 2015**).

La pulpe de la prune noire contient un certain nombre de vitamines dont les plus prépondérants sont la vitamine C et les vitamines B1 et B6 (**Tableau 5**).

Tableau 5: Composition vitaminique de la pulpe de la prune noire.

Vitamines	Teneur (mg / 100 g de poids sec)
A	0, 15
B1	18,14
B2	2, 41
B6	10, 47
C	72, 39
E	0, 032

Sources : Hergoz, 1994 ; Agbede et Ibitoye, 2007 ; Vunchi *et al.*, 2011.

1.5.2. Composés phénoliques

Les composés phénoliques encore appelés polyphénols sont des molécules spécifiques du règne végétal qui contiennent dans leur structure au moins un cycle aromatique, le benzène, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles (**Muanda, 2010**). Ils peuvent être regroupés en de nombreuses classes suivant la complexité du squelette de base (noyau C6), le degré de modification de ce squelette (oxydation, hydroxylation...) et enfin suivant les molécules auxquelles ils sont associés (glucides, lipides, protéines, autres métabolites). Les formes les plus simples sont représentées par deux principaux groupes dont dérivent de nombreux composés : les acides hydroxy-cinnamiques et les flavonoïdes. Les formes complexes quant à elles, sont pour la plupart issues de la condensation de certaines formes simples et renferment, entre autres, les tannins et les lignines (**Bénard, 2009**). A l'échelle de la cellule, les composés phénoliques sont principalement répartis dans deux compartiments : les vacuoles et la paroi. Dans les vacuoles, les polyphénols sont conjugués, avec des sucres ou des acides organiques, ce qui permet d'augmenter leur solubilité et de limiter leur toxicité pour la cellule. Au niveau de la paroi, on trouve surtout de la lignine et des flavonoïdes liés aux structures pariétales (**Macheix *et al.*, 2006**).

Par ailleurs, les composés phénoliques jouent des rôles importants tant chez les végétaux que chez les humains. Chez les végétaux, ils peuvent intervenir dans :

- certains aspects de la physiologie de la plante (lignification, régulation de la croissance, interactions moléculaires avec certains microorganismes symbiotiques ou parasites...) ;
- les interactions des plantes avec leur environnement biologique et physique (relations avec les bactéries, les champignons, les insectes, résistance aux UV);

- la nature directement ou lors de la conservation après récolte de certains végétaux;
- les critères de qualité (couleur, astringence, amertume, qualités nutritionnelles...) qui orientent les choix de l'homme dans la consommation des organes végétaux (fruits, légumes, tubercules...) et des produits qui en dérivent par la transformation. En outre, ils peuvent également intervenir dans les variations de certaines caractéristiques des végétaux lors des traitements technologiques (préparation des jus de fruits, des boissons fermentées...) pendant lesquels apparaissent fréquemment des brunissements enzymatiques qui modifient la qualité du produit fini (**Van der Meer *et al.*, 1992 ; Iiyama *et al.*, 1994 ; Medhy *et al.*, 1994 ; Gross et Parthier, 1994 ; Dixon *et al.*, 1995 ; Macheix, 1996**).

Chez les humains, le rôle des composés phénoliques est largement montré dans la protection contre certaines maladies en raison de leur interaction possible avec de nombreuses enzymes et de leurs propriétés antioxydantes. Ils sont également connus pour moduler l'activité de plusieurs enzymes ou de récepteurs cellulaires. Spécifiquement, les flavonoïdes sont doués de propriétés veinotonique, antitumorale, anti-radicalaire, anti-inflammatoire, analgésique, antiallergique, antispasmodique, antibactérienne, hépatoprotectrice, ostrogénique et/ ou anti-ostrogénique. Ils favorisent aussi la relaxation vasculaire et empêchent l'agglutinement des plaquettes sanguines. Cependant, ils réduisent la coagulation du sang et le rendent plus fluide. Ils limitent l'oxydation des lipides sanguins et contribuent à la lutte contre les plaques d'athérome. Ils sont aussi anxiolytiques et protèges nos artères contre l'athérosclérose et réduit la thrombose (caillots dans les artères) (**Muanda, 2010**).

Les fruits du genre *Vitex* sont une bonne source de nouveaux composés. Les principaux sont : les terpénoïdes, en particulier les diterpènes et les flavonoïdes. Par ailleurs, la casticine aussi appelée vitexicarpine, est le composé du fruit du genre *Vitex* avec le plus grand nombre d'activités biologique démontrées notamment les agents ostrogéniques, opioïdes, antitumoraux, antioxydants et anti-inflammatoires (**Lee *et al.*, 2011 ; Xu *et al.*, 2012**).

La prune noire est cependant riche en flavonoïdes (**Soro *et al.*, 2018**). Ce qui confère à ces fruits la capacité à traiter la diarrhée. Ils contiennent également des stérols et des triterpènes (**Kini *et al.*, 2008**).

1.6. COMPOSITION BIOCHIMIQUE DE LA GRAINE DE LA PRUNE NOIRE

1.6.1. Acides gras

La graine de la prune noire est riche en gras saturés. Les acides gras saturés représentent 62,32 % des lipides contenus dans la graine de la prune noire dont 50,37 % d'acides stéariques et l'acide palmitique (11,35 %). (**Salih *et al.*, 2015**).

Les acides gras insaturés constituent 37,68% des lipides contenus dans la graine de la prune noire. Ces acides gras insaturés sont représentés par les acides gras monoinsaturés : acide oléique. La graine de la prune noire ne contient pas d'acides gras polyinsaturés notamment l'acide linoléique et l'acide alpha linoléique (**Salih et Yahia, 2015**).

1.6.2. Composés phénoliques

La graine de la prune noire est riche en composés phénoliques notamment les acides hydroxybenzoïques : l'acide protocatéchique (102,19 mg / 100 g de MS) connu comme étant une substance bioactive douées de propriétés chimioprotectrices du cancer et d'une activité antioxydante 10 fois plus élevée que celle de l' α -tocophérol (**Ueda *et al.*, 1996 ; Salih et Yahia, 2015**). Outre les acides hydroxybenzoïques, elle contient également des acides hydroxycinnamiques. Ce sont entre autres : l'acide caféique (2,71 mg / 100 g MS), l'acide p-coumarique (8,75 mg / 100 g MS), l'acide férulique (5,40 mg / 100 g MS), l'acide 2-hydroxycinnamique (3,18 mg / 100 g MS) et l'acide sinapique (1,89 mg / 100 g MS). Sa teneur en phénols totales solubles est de 641,69 mg GAE / 100 MS) (**Salih et Yahia, 2015**).

II. CONSERVATION DES FRUITS

2.1. FACTEURS D'ALTERATION DES FRUITS

Avant la récolte, la qualité des fruits et légumes reste stable. Cependant, lorsqu'ils sont séparés de leur source naturelle de substances nutritives, leur qualité se met à baisser. On parle alors d'une altération ou détérioration, qu'on peut définir comme étant une modification que subit cet aliment par rapport à sa constitution spécifique. Il existe en effet différents types d'altérations alimentaires :

- l'altération physique qui englobe les chocs, les blessures, les changements d'états, les changements de couleur etc... ;
- l'altération chimique et biochimique : oxydation (rancissement) par les enzymes etc ;
- et l'altération microbienne : fermentation.

Cependant, ces altérations sont dues à des facteurs qui peuvent être classés selon leur caractères intrinsèques ou extrinsèques (**Bacila, 2009 ; Laurent *et al.*, 2015**).

2.1.1. Facteurs intrinsèques

Les facteurs intrinsèques sont ceux relatifs à l'aliment. Il s'agit notamment du pH, de l'activité de l'eau, de la composition en nutriments, du potentiel d'oxydoréduction, de la structure physique de l'aliment, et de la présence d'agents antimicrobiens naturels.

2.1.1.1. pH

Le pH est une fonction de la concentration d'ions hydrogènes dans les aliments. Le pH est un facteur important pour la conservation de la qualité d'un aliment. En effet, le comportement des microorganismes varie avec le pH. A pH élevé ou neutre, l'aliment est plus exposé à l'action des bactéries qu'à celle des levures et moisissures. Alors qu'à pH faible, l'aliment est favorable au développement des levures et moisissures (**Hassam, 2011**).

2.1.1.2. Activité de l'eau

L'activité de l'eau mesure la disponibilité en eau du milieu dans lequel se trouve la microflore. En d'autres termes, elle mesure la quantité d'eau non liées ou libres du milieu. Plus l' A_w du milieu est élevée, c'est-à-dire, proche de 1, plus le développement de la microflore est

intense (**Salifou et al., 2013**). Les microorganismes ne peuvent pas se multiplier en absence d'eau. Cela est dû au fait qu'une partie de l'eau contenue dans le produit alimentaire n'est pas disponible pour les réactions. Ainsi, en abaissant l'Aw dans l'aliment et ce à travers la réduction de la teneur en eau, la stabilité microbienne de ce dernier est améliorée (**Nout et al., 2003**).

2.1.1.3. Potentiel d'oxydoréduction

Le potentiel d'oxydoréduction est un paramètre physicochimique qui permet de mesurer le pouvoir oxydant ou réducteur d'un système (**Pansu et Gautheyrou, 2006**). C'est un paramètre important qui joue un rôle capital sur les qualités organoleptiques (favorablement ou défavorablement) et le développement des flores d'intérêt. Il joue également un rôle essentiel sur la flore d'altération ou pathogènes des aliments notamment leur croissance, métabolisme, structure ou encore dans l'expression de leur gènes (**Roussel, 2015**).

2.1.1.4. Structure physique de l'aliment

En général, la présence de structures biologiques telle que la testa de graines, la peau des fruits et légumes, la coque de noix, la cuticule d'œuf, la coquille, et les membranes n'empêche pas la pénétration des microorganismes dans l'aliment, elle rend plutôt difficile la survenue d'infections profondes lorsque l'aliment est complètement intact (**Hamad, 2012**). Toutefois, cette situation change lorsque ces structures (peau, tégument, coquille, etc ...) subissent des dommages lors des récoltes, transports, stockages ou transformation. La maturité des aliments végétaux influence également l'efficacité de la protection barrières (**Hamad, 2012**).

2.1.1.5. Présence d'agents antimicrobiens naturels

Les aliments peuvent contenir des composés naturels ou produits chimiques qui affectent la croissance des microorganismes.

Certains inhibiteurs de croissance microbienne naturels sont rencontrés dans l'œuf, le lait et le clou de girofle. Ce sont respectivement le lysozyme, l'agglutinine et l'eugénol (**Hassam, 2011**).

2.1.2. Facteurs extrinsèques

Les facteurs extrinsèques sont les facteurs externes à l'aliment. En d'autre terme, ce sont des facteurs liés à l'environnement qui l'entoure. Ils peuvent affecter les propriétés de l'aliment

ainsi que le potentiel de croissance des microorganismes. Ces facteurs sont (**Jorgensen *et al.*, 2002 ; Kader, 2004**) :

- La température ;
- L'humidité relative ;
- La présence de gaz et
- les microorganismes ajoutés

2.1.2.1. Température

Tout comme dans les réactions enzymatiques, la température joue un rôle important dans la prévention de la croissance microbienne. Elle représente l'un des facteurs principaux ayant un impact dramatique sur l'activité des microorganismes.

Les microorganismes poussent en général, sur une large gamme de température, s'étendant de moins de 0 °C à plus de 100 °C. Toutefois, la gamme pour chaque microorganisme individuel est étroite. Chacun d'eux a ses températures de croissance cardinales définies : le maximum, le minimum et l'optimum.

A température optimale, le taux de réactions chimiques augmente et, la croissance microbienne devient plus rapide. Lorsque la température dépasse l'optimum, les réactions métaboliques commencent à ralentir. A température minimale la croissance microbienne cesse, et à température maximale le micro-organisme meurt à cause de dommages irréversibles aux enzymes et aux membranes. (**Jorgensen *et al.*, 2002 ; Kader, 2004 ; Hamad, 2012**).

2.1.2.2. Humidité relative

L'humidité relative (HR) est la quantité d'humidité contenu dans l'atmosphère entourant un aliment emballé ou non. Cette humidité relative peut avoir une influence sur l'activité de l'eau de l'aliment et la croissance des microorganismes à la surface de ce dernier. Généralement, il y a un échange d'humidité entre un produit alimentaire et l'atmosphère environnante qui continue jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. L'HR est étroitement liée à l'activité de l'eau (A_w) et peut réellement modifier l'aliment. Il est donc important de s'assurer que l'aliment est stocké dans un environnement où l'HR empêche les variations de l' A_w (**Jorgensen *et al.*, 2002**).

Par exemple, si l' A_w d'un aliment est fixée à 0,60, pour assurer sa stabilité, il est important que la valeur de cette A_w reste inchangée pendant le stockage en établissant des conditions d'HR adéquates afin que l'aliment n'absorbe pas l'humidité de l'air ambiant. Lorsque

des aliments à faible humidité sont placés dans un environnement de haute HR, ils absorbent l'humidité jusqu'à ce que l'équilibre soit établi. Également, les aliments à haute humidité perdent de l'humidité lorsqu'ils sont placés dans un milieu de faible HR (**Kader, 2004**).

2.1.2.3. Présence des gaz

Les gaz inhibent les microorganismes par deux mécanismes : un mécanisme lors duquel ils peuvent avoir un effet toxique direct sur la croissance et la prolifération des microorganismes et un autre dont l'effet inhibiteur est réalisé en modifiant la composition du gaz. Ce qui inhibe de façon indirecte les microorganismes par modification de l'écologie de l'environnement microbien. Le dioxyde de carbone (CO₂), l'ozone (O₃) et l'oxygène (O₂) sont des gaz directement toxiques pour certains microorganismes. Ce mécanisme inhibiteur direct dépend des propriétés chimiques et physiques du gaz et de son interaction avec le milieu aqueux et les phases lipidiques de l'aliment. En effet, les radicaux oxydants générés par O₃ et O₂ sont hautement toxiques pour les bactéries anaérobies et peuvent avoir un effet inhibiteur sur les aérobies en fonction de leur concentration. Par ailleurs, le dioxyde de carbone est efficace contre les aérobies strictes et, à des niveaux élevés, peut inhiber d'autres microorganismes. Quand l'atmosphère est altérée, l'environnement concurrentiel est également modifié. Cette atmosphère peut ainsi avoir un effet négatif sur la croissance de certains microorganismes (**Loss and Hotchkiss, 2002 ; Hassam, 2011**).

2.2. CONSERVATION DES FRUITS

L'Afrique en général et les pays en voie de développement en particulier, produisent des quantités importantes de fruits et légumes, généralement consommés frais. Cependant, ils sont très périssables et ne peuvent être conservés à l'état frais que pendant quelques jours. Et ce, pour leur forte teneur en eau favorable au développement de certains microorganismes et à la réalisation de réactions chimiques d'altérations. Il est donc nécessaire de mettre les produits alimentaires sous une forme qui permettra une longue durée de conservation. Ainsi, les fruits et légumes sont conservés et/ou transformés. Les méthodes de conservation des fruits et légumes sont de deux ordres : les méthodes de conservation traditionnelles et les méthodes de conservation modernes (**Nout *et al.*, 2003; Ife et Bas, 2003; Kalaivani *et al.*, 2015; Afam *et al.*, 2017; Singh, 2018**). Toutefois, les méthodes de conservation les plus utilisées pour la

conservation des fruits et légumes par les populations dans les pays en voie de développement sont les méthodes traditionnelles qui sont souvent suivies de la transformation en poudre.

2.2.1. Méthodes traditionnelles de conservation des fruits et légumes

2.2.1.1. Séchage solaire à ciel ouvert

Le séchage solaire traditionnel à ciel ouvert constitue l'un des principaux moyens de conservation des denrées alimentaires périssables. Il est largement utilisé par les agriculteurs ruraux (**Ekechukwu et Norton, 1999**). Le séchage solaire à ciel ouvert est une opération qui consiste à éliminer par évaporation d'un corps la totalité ou une partie d'un solvant y étant contenu, ce solvant étant bien généralement de l'eau (**Akbulut et Durmus, 2010**).

Dans les pays tropicaux, il existe deux approches de séchage solaire traditionnel des cultures :

- Le séchage solaire à ciel ouvert « in situ » qui consiste à induire la mort de la plante soit au contact de celle-ci avec le sol c'est-à-dire arrachée et laissée sur le sol, soit la plante est coupée mais non arrachée du sol, ainsi, la plante est laissée séchée « in situ ».
- Le séchage solaire à ciel ouvert qui consiste à exposer le produit à sécher directement au soleil, en l'étalant au sol sur des nattes ou des claies (**Boulemtafes, 2011**).

L'objectif donc de ce séchage est de réduire la teneur en humidité du produit à un niveau permettant d'empêcher sa détérioration au cours d'une certaine période de temps, normalement considérée comme la « période de stockage sécurisée » (**Ekechukwu et Norton, 1999**). Toutefois, il présente des limites inhérentes: un séchage inadéquat, des attaques fongiques, des insectes, des oiseaux et des rongeurs, des pluies inattendues et d'autres effets des conditions atmosphériques entraînent de lourdes pertes de récolte. Des pertes considérables et une réduction de la qualité du produit sont les caractéristiques de ce processus de séchage, en particulier dans les régions tropicales humides. Dans ces conditions, l'utilisation des énergies solaires ou de méthodes de séchages solaires améliorées semble être d'un grand intérêt (**Ekechukwu et Norton, 1999; Esper et Mihlbauer, 2000; Varaschim et Tribuzi, 2017**). Ainsi, trois groupes de séchoirs solaires améliorés sont distingués :

- Les séchoirs directs
- Les séchoirs indirects
- Les séchoirs mixtes

2.3.1.2. Séchoirs directs

Dans ce type de séchoir solaire, un couvercle transparent est utilisé pour réduire les pertes de chaleur. Ainsi, les rayons solaires frappent directement les produits. Ce sont des appareils simples et rustiques d'un châssis vitré, sous lequel les produits à sécher sont des clayettes. Une circulation d'air se fait à travers le séchoir, par tirage naturel dû au réchauffement (effet cheminée) ou par action du vent sur les ouvertures. Ce type de séchage a pour avantages de :

- protéger simultanément les produits de la pluie, de la poussière et de l'attaque des rongeurs, mouches et autres insectes,
- de réduire le temps de séchage des produits.

Par contre, il a pour inconvénients de détruire certaines vitamines et d'induire la photo oxydation du produit dues aux rayons ultra-violetts transmis par la couverture et à une élévation maximale de la température à l'intérieur du séchoir. Cette augmentation de la température est le plus souvent due à la mauvaise circulation de l'air à l'intérieur du séchoir (**Basunia et Abe, 2001; Jairaj et al., 2009; Mustayen et al., 2014; Kumar et al., 2016**).

La **figure 6** illustre le principe de séchage des séchoirs solaires directs.

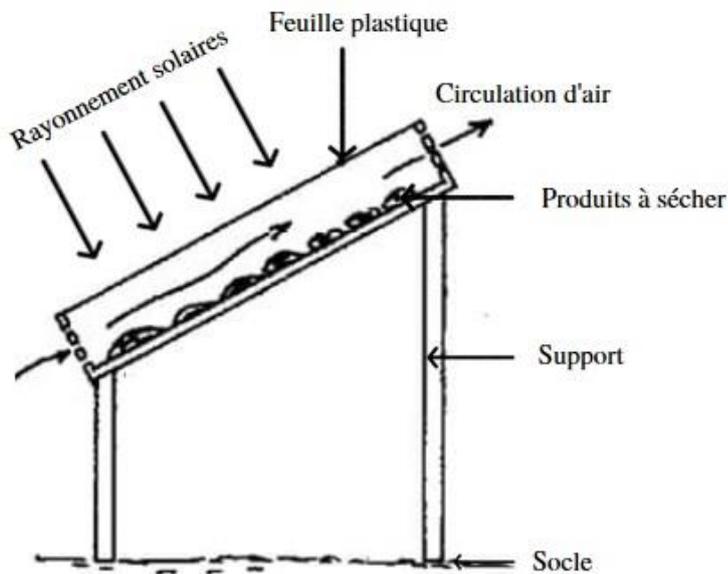


Figure 6: Schéma du séchoir solaire direct

2.3.1.3. Séchoirs indirects

Le séchoir indirect se compose de deux parties: un collecteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur et une chambre de séchage qui contient le produit (**Figure 7**). Ainsi, l'air chaud monte par convection naturelle jusqu'à la chambre de séchage, sèche les produits et ressort par l'ouverture qui lui est destinée (**Boubeghal et al., 2007; Dadda et Serir, 2008; Dissa et al., 2011; Varun et al., 2012**). Le séchoir solaire indirect présente les avantages suivants :

- protège les produits de l'action néfaste des rayons solaires. Les produits ne sont pas en contact direct avec les rayons solaires, préservant ainsi ses qualités organoleptiques et nutritionnelles ;
- réduit le temps de séchage et ;
- protège également les produits de la poussière, des insectes, des rongeurs etc ...

L'inconvénient de ce type de séchoir est la variation du temps de séchage selon les conditions climatiques (**Dadda et Serir, 2008**).

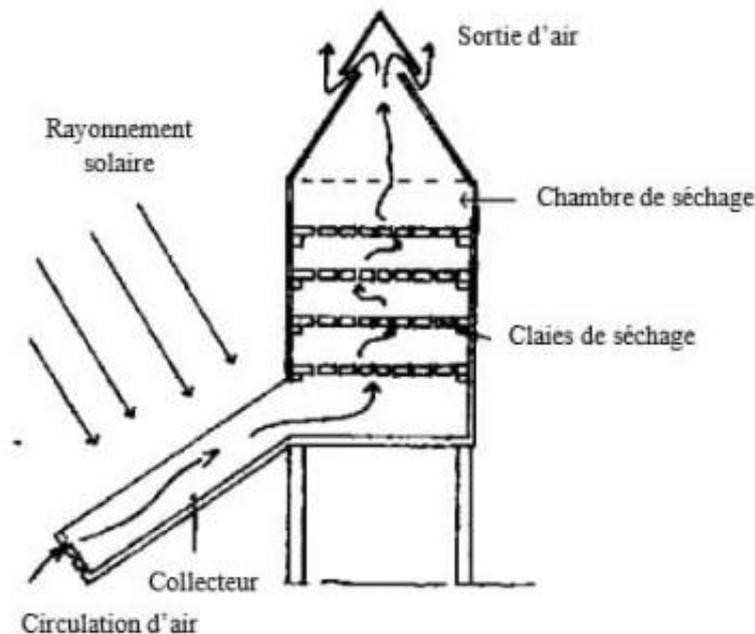


Figure 7: Schéma de séchoir solaire indirect

2.3.1.4. Séchoirs mixtes

Un séchoir solaire mixte combine des aspects de types direct et indirect. Dans ce séchoir, il existe deux sources de production de chaleur : un collecteur solaire séparé qui préchauffe le flux d'air entrant, puis les rayons solaires qui ajoute de la chaleur au flux d'air et au produit à travers les murs transparents ou le toit de la chambre de séchage (**Figure 8**).

Ainsi, l'air chauffé provenant du capteur solaire et l'énergie solaire produite par les parois ou le toit de la chambre sèchent simultanément les produits. Il a pour avantage de sécher plus rapidement les produits que les séchoirs direct et indirect (**Bolaji et Olalusi, 2008; Foster, 2013; Lawrence et al., 2013; Ikem et al., 2016**).

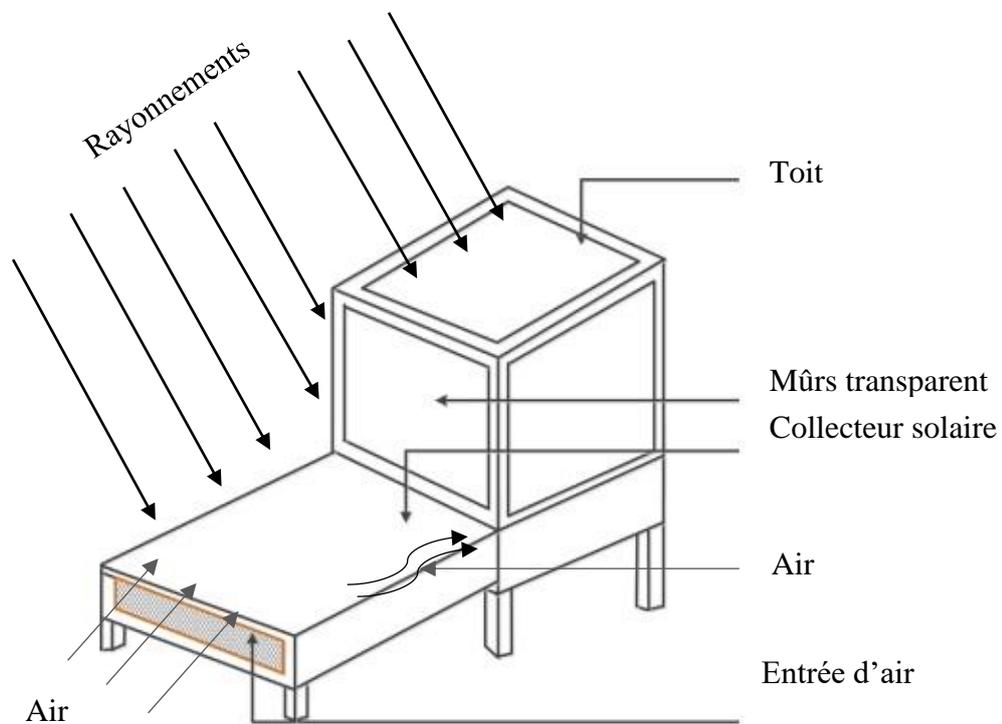


Figure 8 : Schéma du séchoir solaire mixte

2.2.2. Transformation des fruits et légumes en poudre

En Afrique, les fruits et légumes, notamment la mangue, la tomate, l'oignon, le piment, le gombo etc ... sont parfois transformés en jus, en confiture, en marmelade, en purée, en poudre etc... pour une meilleure conservation. Outre la conservation, la transformation des fruits et légumes en sous-produits, a pour objectif de donner de la valeur ajoutée au produit. Les technologies utilisées pour la préparation des sous-produits sont de nature chimique (sucrage

pour les marmelades et les sirops concentrés) ou thermique (dessiccation pour les poudres et les pulpes séchées et l'appertisation pour les jus de fruits et les conserves en boîtes) (**Reardon *et al.*, 2015**). En Afrique, les fruits et légumes sont généralement conservés sous forme de poudre après séchage. Ces poudres rentrent ainsi dans la préparation de sauce et de boissons. De plus en plus, les études sont menées sur l'incorporation des poudres issues des résidus et/ou des parties comestibles des fruits et légumes séchés dans les formulations alimentaires notamment les farines infantiles, les yaourts, les confiseries, les gâteaux, les biscuits, le pain etc (**Kohajdová *et al.*, 2011; Černiauskiene *et al.*, 2014; Khapre *et al.*, 2015; Andrade et Gonçalves, 2015; Singh, 2016; Thivani *et al.*, 2016; Thiago *et al.*, 2018**). Ces études ont ainsi pour objectifs de non seulement améliorer l'utilisation des fruits et légumes mais encore, d'augmenter le statut nutritionnel des populations (**Parkouda *et al.*, 2016**).

III. TECHNOLOGIES DE TRANSFORMATION DE LA PRUNE NOIRE (*Vitex doniana*)

3.1. TRANSFORMATION DE LA PULPE DE LA PRUNE NOIRE

La pâte noirâtre douce à base des fruits mûrs de la prune noire est comestible et consommée crue. Elle est souvent utilisée en confiserie, dans l'industrie des boissons et pour la fabrication d'édulcorant.

3.1.1. Confiserie à base de la pulpe de prune noire (*V. doniana*)

3.1.1.1. Sirop de la prune noire

Pour la production de sirop à base de la pulpe de la prune noire, les fruits frais sont triés puis lavés. La pulpe est ensuite séparée de l'endocarpe (la graine). Dans un volume de 0,5 L d'eau, l'on mélange 0,5 Kg de pulpe. Ce mélange est ensuite dilué dans 2,5 L d'eau contenant 0,05 % de métabisulfite et 10 g de charbon actif. Ce dernier mélange est filtré et le jus obtenu est concentré à 30 ° Brix à l'aide d'un évaporateur. Après évaporation, du sucre y est ajouté jusqu'à l'obtention d'un sirop de couleur brun foncé concentré à 67 °Brix. Le sirop ainsi obtenu est filtré puis emballé dans des bouteilles stérilisées à 85 °C (**Egbekun *et al.*, 1996**).

3.1.1.2. Confiture de la prune noire

La purée de la pulpe de la prune noire est portée à ébullition en présence de sucre. Cette purée en ébullition est acidifiée avec le jus de citron. Après un séjour au feu, le degré brix de la purée est mesuré et conditionnée à chaud lorsque la concentration de sucre souhaité est atteinte (**Ajenifujah-Solebo et Aina, 2011**).

3.1.2. Boissons à base de pulpe de la pulpe noire (*V. doniana*)

3.1.2.1. Jus de la pulpe de la prune noire

Pour l'obtention du jus, les fruits sains de la prune noire sont lavés soigneusement puis la pulpe est séparée de la graine à l'aide de couteaux stériles. A cette pulpe, il est ajouté une petite quantité d'eau pour faciliter la macération dans le broyeur. Après broyage, la purée obtenue est pressée. Le jus ainsi obtenu est conservé dans des pots rincés au préalable avec 2 % de métabisulfite de potassium (**Okigbo, 2003**).

3.1.2.2. Vin de la pulpe de la prune noire

Quatre types de fermentation peuvent être utilisés pour la fabrication de vin à base de jus de pulpe de la prune noire : deux fermentations spontanées et deux fermentations contrôlées. En ce qui concerne le premier type de fermentation spontanée, le jus est laissé reposer dans un aspirateur stérile pendant 36 h. Après ce temps de repos, la bouteille est fermée hermétiquement et le jus est laissé au repos à la température ambiante pendant 10 jours. Le produit ainsi obtenu est le vin de la prune noire. A la différence du premier type de fermentation, le deuxième type nécessite l'ajout de saccharose au jus avant fermentation. Pour la première fermentation contrôlée, le jus de pulpe de la prune noire est pasteurisé à 60°C pendant 30 minutes. Après pasteurisation, du saccharose et des additifs (sulfate de sodium, métabisulfite de potassium comme stabilisant et antioxydants) y sont ajoutés suivi de l'addition de l'inoculum (levure). Après observation d'un temps de repos de 24 h, les bouteilles sont fermées hermétiquement, pour laisser la fermentation se dérouler. Cependant, cette fermentation diffère du deuxième type de fermentation par la dilution. Dans ce premier type de fermentation contrôlée, le jus n'est pas dilué tandis que dans le deuxième, le jus est dilué (**Okigbo, 2003**).

3.1.3. Edulcorant à base de la pulpe de la prune noire

La production d'édulcorant consiste dans un premier temps, à trier les fruits frais et mûrs puis à les laver avec de l'eau potable. La peau (mince épicarpe) des fruits est ensuite éliminée et l'endocarpe (pulpe) pâteuse est retirée à l'aide d'un couteau. La pâte est mixée pendant quelques secondes et mélangée avec de l'eau chaude. Pour l'ajout de l'eau chaude, une première quantité est versée et ensuite une seconde. Après cette étape, le mélange est agité en continu pendant 5 minutes à l'aide d'une spatule en bois. Le jus obtenu est filtré à travers un tissu en mousseline d'environ 200 nm de mailles, puis concentré dans un évaporateur à 74 °Brix. Le sirop de couleur noire obtenu est blanchi avec du peroxyde d'hydrogène (0,01 %) à 70 °C pendant 10 à 15 minutes puis placé dans des bouteilles (**Abu, 2002**).

3.2. TRANSFORMATION DE LA GRAINE DE LA PRUNE NOIRE EN HUILE ET RESUME DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES (PULPE ET GRAINE).

La prune noire est lavée puis séchée au soleil pendant 4 à 5 jours. Après séchage, le fruit est dépulvé et la graine obtenue est réduite en poudre au moyen d'un pilon et d'un mortier en porcelaine. De la poudre, de l'huile est extraite par Soxhlet.

Le diagramme suivant résume les différentes technologies de la pulpe et de la graine de la prune noire (**Figure 9**)

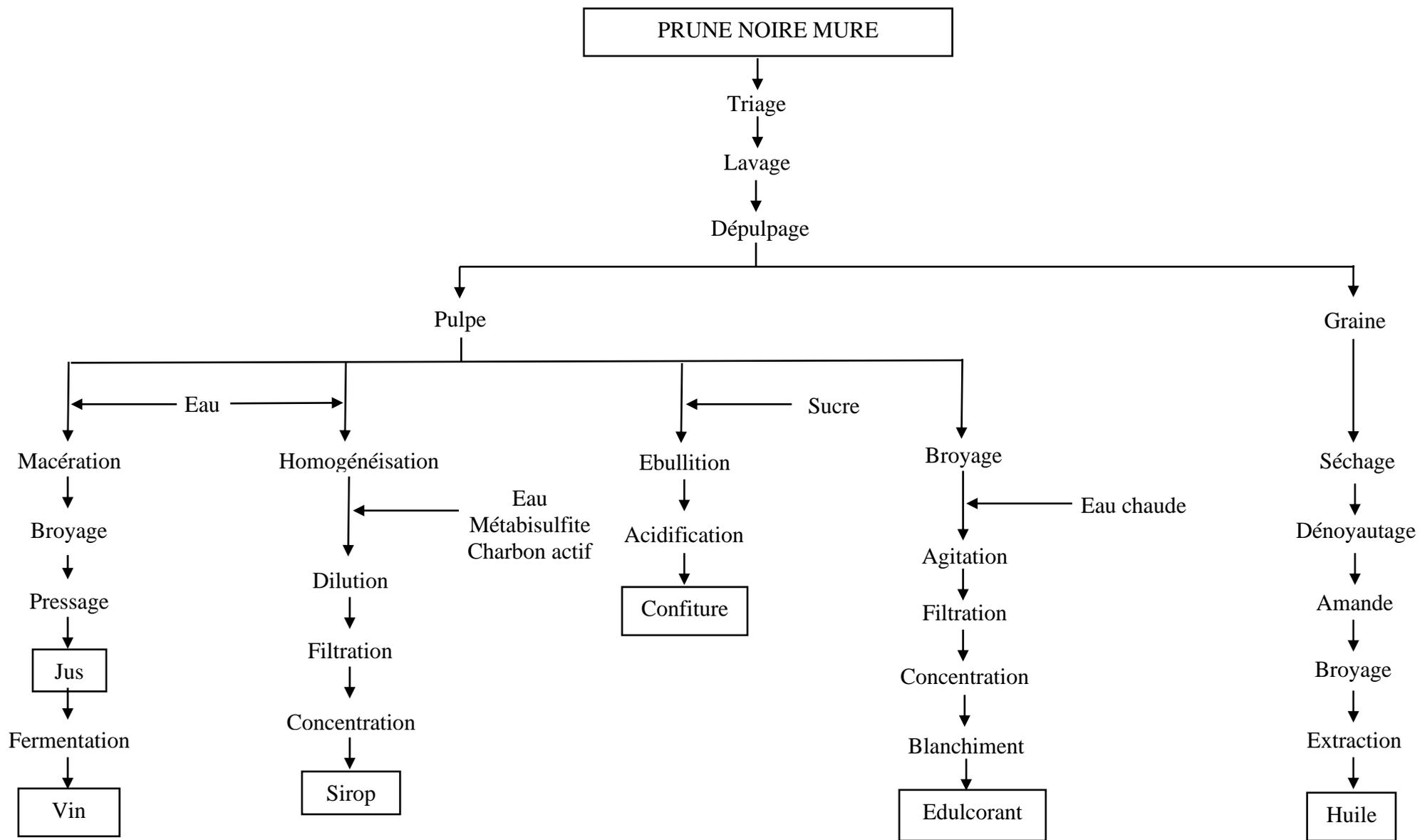


Figure 9: Diagramme des différentes technologies de transformation de la prune noire

IV. FORMULATION D'UN PRODUIT DE BOULANGERIE ET RHEOLOGIE DES PÂTES BOULANGERES.

Les produits de boulangerie notamment, les gâteaux (cake), les biscuits, le pain etc ... sont fabriqués à partir de pâtes ou de pâtes à frire. Ces pâtes, résultante d'un mélange de farines et d'eau, sont obtenu suivant plusieurs étapes notamment, le mélange, le battage, le pétrissage ou le pliage. Toutefois, le processus de fabrication de ces produits de boulangerie dépend du produit fabriqué et des ingrédients utilisés (FAO, 1992).

La farine est une poudre issue de la mouture ou du broyage de céréales (blé, riz, maïs, seigle etc...), de légumineuses (pois chiches, lentilles, fèves etc...) et de graines oléagineuses (moutarde) (Malki, 2016).

A la sortie de divers congrès pour la répression de fraudes, la farine a été définie comme suit :

« La dénomination de farine sans autre terme qualitatif désigne exclusivement le produit de la mouture de l'amande du grain de blé nettoyé et industriellement pur. Les produits de la mouture des autres graines, céréales, légumineuses, nettoyés et industriellement purs, seront désignés par le mot farine suivi du qualitatif indiquant l'espèce de graines, de céréales ou légumineuses entrant dans la composition soit à l'état isolé, soit à l'état de mélange » (Godon et Willm, 1998).

4.1. FORMULATION DE GATEAUX (CAKE)

Le gâteau défini selon les régions du monde, se caractérise par des recettes à base de farine de blé, de sucre, d'œufs, de matières grasses (beurre ou huile) et du lait ou de l'eau (Chaiya et Pongsawatmanit, 2011; Hafez, 2012; Moiraghi *et al.*, 2013; Rodríguez-garcía *et al.*, 2014; Goranova *et al.*, 2016; Ataei et Hojjatoleslami, 2017). La structure particulière d'un gâteau dépend donc dans une large mesure du rapport entre les principaux ingrédients utilisés dans la recette et de la manière dont les différents ingrédients interagissent entre eux pour la formation de la pâte initiale et l'apport de chaleur pendant la cuisson. Ainsi, le principe de base de fabrication de gâteaux est dans un premier temps, la formation d'émulsion et dans un second temps, celle de mousse qui est ensuite traitée par le chauffage au four (Sahi et Alava, 2003; BakeTran, 2012). Il s'agit d'une émulsion huile dans eau dans laquelle, la phase aqueuse est le plus souvent apporté par le lait et les œufs liquide. Ainsi, la qualité d'un gâteau est définie

par le volume et la texture de la mie liée aux bulles de gaz incorporées dans la pâte lors du mélange mécanique (Oliete et Rosell, 2008; Lu *et al.*, 2010; BakeTran, 2012; Hwan *et al.*, 2012). Les pâtisseries cherchent généralement à créer un gâteau léger et plumeux avec une mie tendre (Al-dmoor, 2013).

Il existe une variété de méthodes de fabrication de gâteaux. L'exigence commune à toutes ces méthodes est la dispersion des ingrédients, l'incorporation et la rétention de l'air.

Les gâteaux sont fabriqués en deux grandes étapes : le mélange ou le battage et la cuisson.

4.1.1. Mélange ou battage

L'étape du mélange a pour objectifs de :

(1) Disperser efficacement possible tous les ingrédients

(2) Incorporer de l'air dans le mélange.

Les gâteaux sont généralement préparés soit par la méthode de crémage, soit par la méthode « tout en un » (Zhou, 2014).

Dans la méthode de crémage ou multistage, la graisse est battue avec le sucre jusqu'à ce qu'elle devienne légère, duveteuse et de couleur pâle (Ureta *et al.*, 2014). Pendant ce processus, de l'air est incorporé dans la pâte et le volume augmente (Wilderjans *et al.*, 2013). Cette étape dure 8 à 10 minutes. Ensuite vient l'étape de l'incorporation des œufs qui dure 5 à 6 minutes tout en continuant le crémage. Pour finir, le mélange est complété avec l'addition de lait et de la farine en de petites portions alternées. L'addition du lait et de la farine dure également 5 à 6 minutes (Zhou, 2014).

Par contre, pour les gâteaux préparés selon la méthode tout-en-un, tous les ingrédients liquides généralement mélangés dans un bol et tous les ingrédients secs, y compris la levure dans un autre bol. Les deux sont ensuite combinés ensemble avant la cuisson (Rodríguez-garcía *et al.*, 2014). À l'aide d'un batteur plat, les ingrédients sont mélangés pour former un mélange homogène à basse vitesse pendant 1 à 3 minutes, puis mélangés à vitesse moyenne pendant 3 à 5 minutes et enfin à nouveau à faible vitesse pendant 2 minutes, pour un temps de mélange total de 8 à 10 minutes (Zhou, 2014).

4.1.2. Cuisson

Cette section décrit les phases de cuisson précoce et tardive pour les gâteaux à couches préparés avec des procédures de mélange à plusieurs étapes ou à une étape. Pendant les premiers

stades de la cuisson des gâteaux, l'augmentation de la température entraîne la diminution de la viscosité de la pâte, l'expansion des cellules à gaz et la fonte des cristaux de graisse. En fin de cuisson, la pâte liquide est transformée en une mousse solide et la structure du gâteau se met en place (**Wilderjans et al., 2013; Zhou., 2014**).

4.1.3. Ingrédients et leur rôle

Les principaux ingrédients nécessaires pour la fabrication de gâteau sont les suivants:

- La farine de blé
- La matière grasse (beurre ou huile)
- Les œufs
- Le lait
- Le sucre
- Le sel

4.1.3.1. Farine de blé

La farine de blé de par ses particules a pour rôle d'empêcher, au cours du mélange, dans une certaine mesure la coalescence des graisses par obstruction physique ou par augmentation de la viscosité de la phase aqueuse (**Wilderjans et al., 2013**). La farine est composée principalement d'amidon (environ 65% - 70%), d'eau (environ 14%) et de protéines (environ 8 - 14%) (**Oleson et al., 1994; Saeid, 2017**). Ainsi, de par la capacité d'absorption d'eau de ses composants et de ses particules, la farine de blé influe sur la viscosité de la pâte en augmentant celle-ci. Cette augmentation de la viscosité de la pâte contribue ainsi à la stabilisation de l'émulsion et de la mousse en limitant la migration et la coalescence des particules de graisses et les cellules de gaz (**Al-dmoor, 2013**).

4.1.3.2. Matière grasse

Le rôle de la graisse diffère selon le type de gâteaux préparé. Dans la méthode de crémage ou multistage, la matière grasse joue le rôle d'émulsifiant. L'émulsion obtenue est une émulsion huile dans eau (**Ronda et al., 2011**). Outre l'émulsion, la graisse a donc pour rôles ici de piéger et de retenir l'air ainsi que d'améliorer la texture du gâteau (**Brooker, 1993; Rogers, 2004**).

Dans la méthode tout-en-un, la graisse ne joue pas la fonction d'aération mais elle aidera à retenir les gaz libérés lors de la cuisson. Ce qui donnera une bonne texture au gâteau fini (**Wilderjans *et al.*, 2013; Rodríguez-garcía *et al.*, 2014**).

Par ailleurs, certaines fonctionnalités sont communes à toutes les applications (gâteaux, biscuits et produits de panification croustillants) (**Riou, 2009; Rios *et al.*, 2014**) :

- Amélioration de la sensation en bouche ou le goût des produits
- Amélioration de l'arôme des produits par « encapsulation » des molécules aromatiques par le gras
- Transmission de la chaleur au cours de la cuisson.

4.1.3.3. Œufs et lait

L'œuf joue un rôle capital dans la préparation de gâteaux. De par les protéines contenues dans le blanc notamment la globuline et l'ovomucine, l'œuf contribue respectivement à la formation et à la stabilisation des cellules de gaz, c'est-à-dire la mousse produite au cours du mélange des ingrédients. Ces protéines contribuent à la formation et à la stabilisation de la mousse grâce à un réarrangement conformationnel rapide et à la formation d'un film autour des cellules de gaz (**Alleoni et Antunes, 2004; Yang, 2008; Wilderjans *et al.*, 2013**).

Outre la mousse, l'œuf à travers la livétine et les lipoprotéines contenus dans le jaune contribue également à la formation et à la stabilisation des émulsions. Tout comme les matières grasses, l'œuf améliore aussi le goût, la saveur, l'arôme et la couleur des produits (**Mohamed *et al.*, 1995; Kiosseoglou, 2003**).

Par ailleurs, le lait a les mêmes fonctions que les œufs dans la fabrication des cakes (goût, saveur, arôme, coloration, mousse etc ...). Cependant, le lait est reconnu comme ayant une bonne propriété émulsifiante. Et, cette propriété émulsifiante lui a conférée par les protéines du lactosérum. Les bonnes propriétés émulsifiantes des protéines de lactosérum permettent l'introduction de globules gras dans la structure de gels de protéines de lactosérum induits par la chaleur (**Wit, 1998**).

4.1.3.4. Sucre

Le sucre généralement utilisé dans les préparations de gâteaux est le saccharose qui a :

- un effet abrasif sur les graisses et favorise la décomposition des agrégats de cristaux lors de l'étape de crémage en cristaux de plus petite taille. En effet, au cours de l'étape de

crémage, les cristaux de graisse d'une taille de 1 - 2 μm sont les plus efficaces pour l'incorporation à l'air (**Wilderjans et al., 2013; Davis, 2018**).

- un effet de diminution de la viscosité et de stabilité de la pâte (**Cavalcante, 2015**)
- un effet de réduction du développement du gluten lors du mélange de la pâte (**Bennion et Bamford, 1997**)
- un effet de retardement de la gélification de l'amidon ainsi que la dénaturation des protéines des œufs (**Yang et al., 2004; Raikos et al., 2007**).

4.1.3.5. Sel

Le sel a pour fonction (**Davis, 2018**) de :

- Stabiliser le taux de fermentation de la levure lors de la cuisson,
- Renforcer l'effet du gluten et donc de la pâte
- Améliorer la saveur du produit final,
- Augmenter le temps de mélange de la pâte.
- Retarder la gélification de l'amidon.

4.2. RHEOLOGIE DES PATES BOULANGERES

La rhéologie est l'étude de l'écoulement et de la déformation des matériaux. Les données rhéologiques sont nécessaires pour l'évaluation de la qualité des produits, les calculs d'ingénierie et la conception des processus (**Sudha et al., 2007**). Généralement, pour mesurer le comportement rhéologique, une déformation ou une contrainte contrôlée et bien définie est appliquée à un matériau sur une période donnée et la réponse de force résultante est mesurée (ou inversement) pour donner une indication des paramètres du matériau tels que la rigidité, le module, etc. viscosité, dureté, résistance ou ténacité du matériau (**Dobraszczyk et Morgenstern, 2003**). Les mesures rhéologiques ont pour objectifs de:

- obtenir une description quantitative des propriétés mécaniques des matériaux
- obtenir des informations relatives à la structure moléculaire et à la composition du matériau
- caractériser et simuler les performances du matériau pendant le traitement et pour le contrôle de la qualité (**Dobraszczyk et Morgenstern, 2003**).

Les techniques rhéologiques sont couramment classées en fonction du type de souche imposée notamment compression, extension, cisaillement, torsion, etc., ainsi que l'importance relative

de la déformation imposée : petite ou grande déformation (**Bloksma et Bushuk ; 1988**). Les principales techniques utilisées pour mesurer les propriétés des céréales sont scindées en deux groupes (**Bloksma et Bushuk ; 1988**) :

- les tests empiriques descriptifs
- les tests fondamentaux.

- **Les tests empiriques descriptives**

Dans l'industrie céréalière, pour les mesures descriptives empiriques des propriétés rhéologiques les appareils tels que le pénétromètre, le texturomètre, le consistomètre, l'amylographe, le farinographe, le mixographe, l'extensigraphe, l'alvéographe et les différents viscosimètres à écoulement sont utilisés (**Dobraszczyk et Morgenstern, 2003; Hadna et al., 2013**). Elles ont fourni de nombreuses informations sur la qualité et les performances des produits à base de céréales telles que la consistance, la dureté, la texture, la viscosité, etc..(**Hadna et al., 2013**).

Ces techniques empiriques descriptives présentent plusieurs avantages mais également des inconvénients résumés dans le **tableau 6**.

Tableau 6: Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des méthodes rhéologiques empiriques

Sources : **Cauvin, 2003; Norulfairuz et al., 2010; Hadna et al., 2013.**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Ces tests sont faciles à réaliser et ne nécessitent pas un personnel hautement qualifié ou techniquement formé • Ces tests peuvent être utilisés dans des situations pratiques en usines • Ils fournissent des données utiles pour l'évaluation des performances au cours du traitement et le contrôle de la qualité • Les instruments utilisés dans ces tests sont souvent robustes et résistent aux environnements d'usines exigeants 	<ul style="list-style-type: none"> • Ces tests négligent une grande partie des données enregistrées • Ils ne conviennent que pour l'ensemble des conditions dans lesquelles ces tests ont été effectués. Ils ne sont généralement pas applicables à tout autre condition de déformation • Il existe souvent un écart entre ces tests de type ponctuel et les performances réelles de l'usine • Il est impossible de comparer les résultats entre les différentes machines de test • Une seule force de déformation est utilisée

• **Les tests fondamentaux**

Les types d'essais rhéologiques fondamentaux couramment utilisés dans les essais de céréales sont les suivants (**Dobraszczyk et Morgenstern, 2003; Cauvain, 2003**):

- a) L'oscillation dynamique;
- b) Fluage et relaxation des contraintes ;
- c) Les mesures d'extension ;
- d) La viscosimétrie en écoulement.

a) Oscillation dynamique

Un matériau élastique idéal est un matériau qui répond à une charge appliquée en se déformant finement et qui récupère cette déformation lors du retrait de la charge (**Gunasekaran et Ak, 2000**). Ces matériaux élastiques idéaux obéissent à la loi de Hooke, qui décrit une proportionnalité directe entre la contrainte (σ) Et la déformation (γ) via une constante de

proportionnalité appelée module (G) (**Gunasekaran et Ak, 2000; Deshpande et Kumar, 2010**) :

$$\sigma = G\gamma \quad (1)$$

Par contre, un matériau visqueux est un fluide qui continue à se déformer tant que la charge est appliquée (**Gunasekaran et Ak, 2000**). Ce matériau ne récupère pas sa déformation lorsque la charge est retirée. L'écoulement de matériaux visqueux simples est décrit par la loi de Newton, qui constitue une proportionnalité directe entre la contrainte de cisaillement et le taux de cisaillement ($\dot{\gamma}$) :

$$\sigma(t) = \gamma_0 G'(\omega) \sin(\omega t) + \gamma_0 G''(\omega) \cos(\omega t) \quad (2)$$

Un matériau viscoélastique est un matériau qui combine les deux comportements c'est-à-dire un comportement élastique et un comportement visqueux (**Gunasekaran et Ak, 2000 Deshpande, 2010**).

La mesure dynamique d'oscillation est l'une des techniques rhéologiques fondamentales les plus répandues et les plus largement utilisées pour mesurer les propriétés des pâtes céréalieres. Ces tests mesurent les propriétés rhéologiques (telles que les modules élastiques et visqueux) en appliquant une contrainte ou une déformation sinusoïdale oscillante dans le temps et en mesurant la réponse obtenue. Cette technique a pour avantages (**Dobraszczyk et Morgenstern, 2003; Gunasekaran et Ak, 2000; Deshpande et Kumar, 2010**) d'avoir un contexte théorique bien développé et une instrumentation facilement disponible. Par ailleurs, elle permet de faire la mesure simultanée des modules élastiques et visqueux. La nature non destructive de cette technique permet d'effectuer plusieurs mesures en fonction de la variation de la température, de la déformation ou de la fréquence.

Les inconvénients de la méthode d'oscillation dynamique est que les conditions de déformation sont souvent inappropriées aux situations de traitement pratiques, car elles sont effectuées à des vitesses et conditions très différentes de celles rencontrées par la pâte pendant le traitement ou l'expansion de la cuisson (**Dobraszczyk et Morgenstern, 2003; Gunasekaran et Ak, 2000; Deshpande et Kumar, 2010**).

b) Fluage et relaxation des contraintes

- Fluage

Le fluage est l'une des méthodes expérimentales les plus simples pour caractériser le comportement viscoélastique (**Dobraszczyk et Morgenstern, 2003; Lakes, 2004**). Le test de fluage consiste à mesurer la déformation liée au temps :

$$\epsilon(t) = \delta(t) / L_0 \quad (3)$$

Cette déformation liée au temps qui résulte de l'application d'une contrainte uniaxiale constante σ_0 . La compliance au fluage ($C_{crp}(t)$) est la déformation divisée par la contrainte constante (**Roylance, 2001; Lakes, 2004; Nobile et al., 2007; Figueroa et Rayas-Duarte, 2013**):

$$C_{crp}(t) = \frac{\epsilon(t)}{\sigma_0} \quad (4)$$

- **Relaxation**

Dans les tests de relaxation des stress, une contrainte constante est appliquée et la contrainte requise pour maintenir la déformation est mesurée en fonction du temps. Le temps de relaxation mesuré indique la vitesse à laquelle le matériel dissipe le stress après une déformation soudaine (**Lakes, 2004; Nobile et al., 2007; Figueroa et Rayas-Duarte, 2013**).

Le module de relaxation (E_{rel}) est la contrainte (σ) divisée par la déformation constante (ϵ_0) :

$$E_{rel}(t) = \frac{\sigma(t)}{\epsilon_0} \quad (5)$$

Lorsqu'un test de relaxation de stress ou contrainte est performant, différents comportements sont observés (**Figueroa et Rayas-Duarte, 2013**) :

- Les matériaux élastiques idéaux ne commencent pas immédiatement à se détendre
- Les matériaux visqueux idéaux commencent instantanément à se détendre.

Les solides viscoélastiques se détendent progressivement et atteignent une contrainte d'équilibre supérieure à zéro, alors que la contrainte résiduelle pour les fluides viscoélastiques est nulle (**Figueroa et Rayas-Duarte, 2013**). Les tests de fluage et de relaxation du stress sont pratiques pour étudier la réponse du matériau à des durées longues (minutes à quelques jours), mais moins précis à des durées plus courtes (secondes et moins) (**Roylance, 2001**).

c) **Les mesures d'extension**

De nombreux produits alimentaires subissent de grandes déformations dans la pratique lors du traitement et de la consommation, et beaucoup d'entre eux ont une composante d'extension importante. Par exemple, les écoulements en extension sont importants dans le mélange et le laminage de la pâte, les écoulements convergents et divergents tels que l'extrusion et le

pompage, l'épandage de solides mous comme le beurre, les fromages et les pâtes gâteaux et collations extrudées à la chaleur (**Dobraszczyk et Morgenstern, 2003**).

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour mesurer les propriétés rhéologiques de la pâte en extension: une extension uniaxiale simple, où la pâte est étirée dans une direction; et extension biaxiale, où la pâte est étirée dans deux directions opposées, ce qui peut être obtenu soit par compression entre surfaces lubrifiées, soit par gonflage à bulles (**Zatloukal, 2002; Sliwinski et Kolster, 2004; Charalambides et al., 2006; Huang et Kokini, 2008**).

d) La viscosimétrie en écoulement

Les avantages et les inconvénients des tests fondamentaux sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 7: Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des tests rhéologiques fondamentaux généralement utilisés pour les produits céréaliers

(**Cauvin, 2003; Norulfairuz et al., 2010; Hadna et al., 2013**).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Ces tests peuvent décrire les propriétés physiques d'un matériau sur une large gamme de souches • Ils produisent non seulement une valeur de viscosité en un point mais également une courbe de contrainte – déformation (mesures en plusieurs points) <ul style="list-style-type: none"> • Les mesures issues de ces tests sont précises et définies de la contrainte et de la déformation • Les résultats obtenus à partir de ces tests sont en unités physiques absolues (Pa), ce qui permet une comparaison directe des résultats obtenus par divers instruments et chercheurs • La possibilité d'utiliser un échantillon extrêmement petit et l'utilisation du même instrument pour plusieurs applications. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ces tests présentent une instrumentation complexe et coûteuse nécessitant assez de temps et difficile à entretenir dans un environnement industriel • Ces tests exigent de grandes compétences techniques <ul style="list-style-type: none"> • Les conditions de déformation sont souvent inappropriées • Les résultats issus de ces tests sont difficilement interprétables

V. GENERALITES SUR LES PROPRIETES FONCTIONNELLES D'UNE FARINE ET L'EVALUATION SENSORIELLE

5.1. PROPRIETES FONCTIONNELLES

Les propriétés fonctionnelles sont des caractéristiques physicochimiques intrinsèques d'un aliment donné qui affectent le comportement de celui-ci durant et après la transformation (**Hussain et Choudhry, 2013**). Elles reflètent l'interaction complexe entre la composition, la structure, la conformation moléculaire et les propriétés physico-chimiques des composants alimentaires ainsi que la nature de l'environnement dans laquelle ils sont associés et mesurés (**Kinsella et Melachouris, 2018**). Les propriétés fonctionnelles fournissent des informations sur les applications futures des formulations alimentaires (**Hermansson et Akesson, 1979**). Des exemples de propriétés fonctionnelles peuvent comprendre la solubilité, la capacité d'absorption d'eau, la capacité d'absorption d'huile, la capacité moussante et la stabilité de la mousse, l'élasticité et la capacité d'absorption des corps gras, la mouillabilité, la dispersibilité, capacité émulsifiante et la stabilité de l'émulsion etc... .

5.1.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE) et Indice de solubilité dans l'eau (ISE)

La Capacité d'absorption d'eau est un paramètre technologique indispensable permettant de maîtriser la consistance de la farine. Elle reflète la capacité de la poudre à se lier à l'eau liquide dans les conditions où l'eau est limitante (**Chiado *et al.*, 2017**). Elle reflète la capacité d'hydratation de la farine. Elle dépend surtout de l'humidité, de la structure moléculaire et de la composition chimique de la poudre (**Kaur et Singh, 2005; Shimelis *et al.*, 2006; Chandra et Shamsheer, 2013**).

L'indice de solubilité de la farine correspond à la capacité de cette dernière à se réhydrater dans des conditions prédéterminées. C'est donc un critère essentiel dans le contrôle de la qualité des poudres destinées à être réincorporées dans la phase aqueuse (**Chiado *et al.*, 2017**).

5.1.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH)

La capacité d'absorption d'huile d'une farine détermine l'affinité de cette farine pour une huile. La capacité d'une farine à retenir l'huile ou la matière grasse est une caractéristique

importante dans la formulation des aliments pour conserver leur saveur et améliorer leur sensation en bouche (**Kinshella, 1976**). Aussi, le rapport hydrophile – lipophile permet d'évaluer l'affinité comparée des farines pour l'eau et pour l'huile.

5.1.3. Capacité émulsifiante et stabilité de l'émulsion

Les propriétés émulsifiantes sont des propriétés fonctionnelles importantes et sont appelées propriétés de surface (**Kempka, 2015**).

Une émulsion est définie comme un système colloïdal dans lequel de fines gouttelettes d'un liquide sont dispersées dans un autre liquide où les deux liquides sont par ailleurs non miscibles l'un à l'autre. L'activité émulsifiante (AE) est définie comme la capacité de la farine à émulsionner l'huile (**Kaur et Singh, 2005 ; Sirelkhatim Balla Elharadallou, 2013**).

5.1.4. Rapport hydrophile-lipophile (RHL)

Le rapport hydrophile-lipophile tel que défini par **Njintang et al. (2001)**, a été calculé en faisant le rapport de la capacité d'absorption d'eau sur la capacité d'absorption d'huile. C'est un rapport qui permet d'évaluer l'affinité comparée des farines pour l'eau et pour l'huile.

5.2. GENERALITES SUR L'EVALUATION SENSORIELLE

5.2.1. Définition

L'analyse sensorielle est une science multidisciplinaire qui fait appel à des dégustateurs et à leur sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher et de l'ouïe pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité de produits alimentaires ainsi que de nombreux autres produits. Elle permet de décrire et de quantifier de manière systématique l'ensemble des perceptions humaines (**Side et stone, 1993; Lefebvre et al., 2010**). Elle représente un moyen privilégié de contrôler la qualité d'un produit et constitue surtout une aide précieuse au développement et à la conception de produits nouveaux.

L'évaluation sensorielle d'un produit permet, soit la mesure de ses caractéristiques sensorielles, soit la mesure du plaisir qu'il procure au consommateur.

Le schéma suivant résume l'ensemble des différentes épreuves de l'analyse sensorielle en fonction de l'objectif (**Figure 10**) :

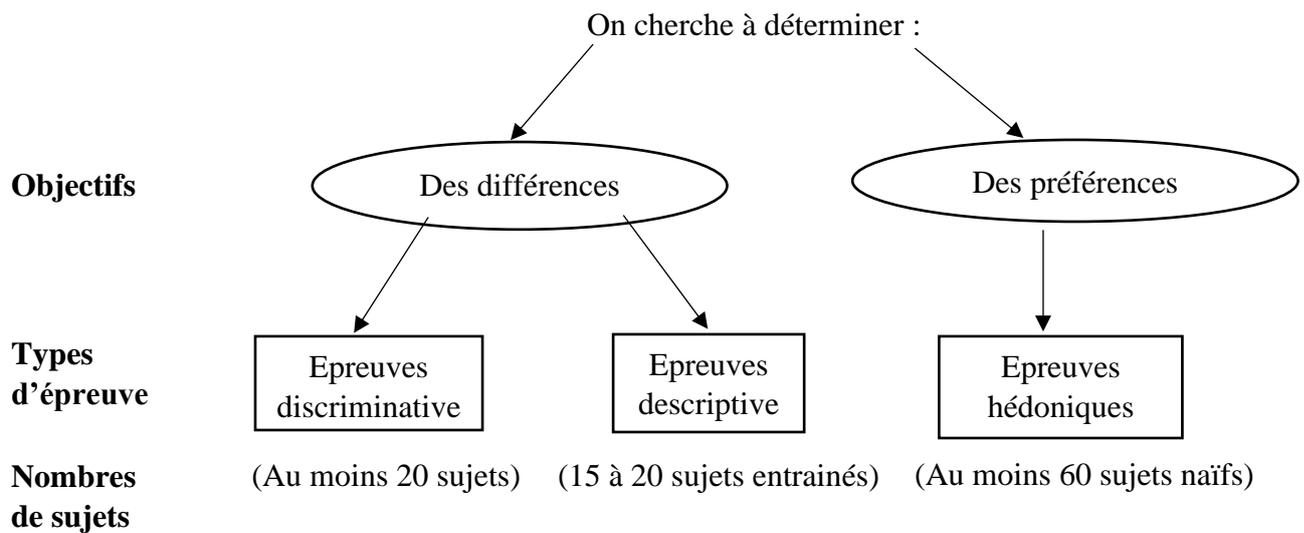


Figure 10: Vue d'ensemble des différentes épreuves de l'analyse sensorielle en fonction de l'objectif

(Lefebvre *et al.*, 2010).

5.2.2. Epreuves sensorielles

5.2.2.1. Epreuves discriminatives

Les méthodes discriminatives sont des méthodes généralement utilisées lorsque les différences des produits à comparer sont peu perceptibles. Souvent appelés tests de différence, ils sont conçus pour mesurer la probabilité que deux ou plusieurs produits soient sensiblement différents (Thomas, 2016). Si la différence entre les échantillons est très large ou visible, ces méthodes ne sont pas nécessaires (Garruti et Virginia, 1999). Plusieurs techniques d'évaluation sensorielle discriminatives existent. Ces techniques sont entre autre : le test triangulaire, l'épreuve duo-trio, le test A/Non-A etc... Avec ces techniques, le principe est que les participants doivent indiquer les échantillons identiques ou bien différents en fonction de la variante utilisée. La technique la plus utilisée parmi ces techniques est le test triangulaire (Garruti et Virginia, 1999; Thomas, 2016).

5.2.2.2. Epreuves descriptives

Les épreuves descriptives sont des méthodes d'analyses sensorielles qui permettent de quantifier les intensités perçues des caractéristiques sensorielles d'un produit. Ces procédures

sont appelées analyses descriptives. Elles impliquent la détection et la description des descripteurs (les attributs sensoriels d'un échantillon) et des aspects sensoriels qualitatifs et quantitatifs d'un produit par des experts formés (**Garruti et Virginia, 1999; Murray et al., 2001; Thomas, 2016**) . Ces méthodes sont donc employées dans le but de qualifier les différences entre produits en établissant un « profil sensoriel » pour chacun d'eux. Les analyses descriptives constituent l'outil d'évaluation sensorielle le plus sophistiqué, le plus complet et le plus informatif (**Murray et al., 2001**).

5.2.2.3. Epreuves hédoniques

Les méthodes hédoniques portent sur les préférences des consommateurs et ont pour but de comparer l'appréciation hédonique globale de différents produits en se focalisant sur les ressentis individuels liés au plaisir ou déplaisir provoqué par l'aliment (**Thomas, 2016**). Par ailleurs, Les épreuves hédoniques ont pour objectifs d'analyser le niveau de satisfaction, à un instant donné, des consommateurs interrogés pour une famille de produits (**Garruti et Virginia, 1999**). Contrairement à l'analyse sensorielle descriptive, ces méthodes font appel à des sujets naïfs n'ayant eu aucune pratique de l'analyse sensorielle.

**2^{ième} PARTIE : MATERIEL ET
METHODES**

I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est composée de quatre localités de la Côte d'Ivoire. Celles-ci comprennent les localités de Bondoukou (région de Gontougo), Ferkéssédougou (région du Tchologo), Tiébissou (région du Bélier) et Yamoussoukro (District des lacs) présentées par la carte administrative de la Côte d'Ivoire (**Figure 11**). Ces localités appartiennent à trois grandes zones agroécologiques de la Côte d'Ivoire qui rassemblent à elles seules l'essentiel de la production de la prune noire.

Bondoukou est une zone située au Nord-Est de la Côte d'Ivoire, entre une alternance de savanes arborées et de forêts galeries avec deux grandes saisons : une saison sèche et une saison pluvieuse. Par ailleurs, la zone de Ferkéssédougou localisée au Nord de la Côte d'Ivoire, est une zone de savane avec également deux grandes saisons : une saison sèche et une autre pluvieuse. Les localités de Tiébissou et Yamoussoukro, situées au Centre du pays, entre la zone forestière et la zone savanicole, sont caractérisées par quatre grandes saisons : deux saisons pluvieuses (grande et petite) et deux saisons sèches (grande et petite). Ces différentes localités de production des prunes noires ont été choisies en tenant compte de plusieurs facteurs notamment la disponibilité et l'accessibilité de ces localités.

Dans ces localités, une enquête a été réalisée et le matériel végétal a été prélevé puis des méthodes (analytiques et de transformation) y ont été appliqués.

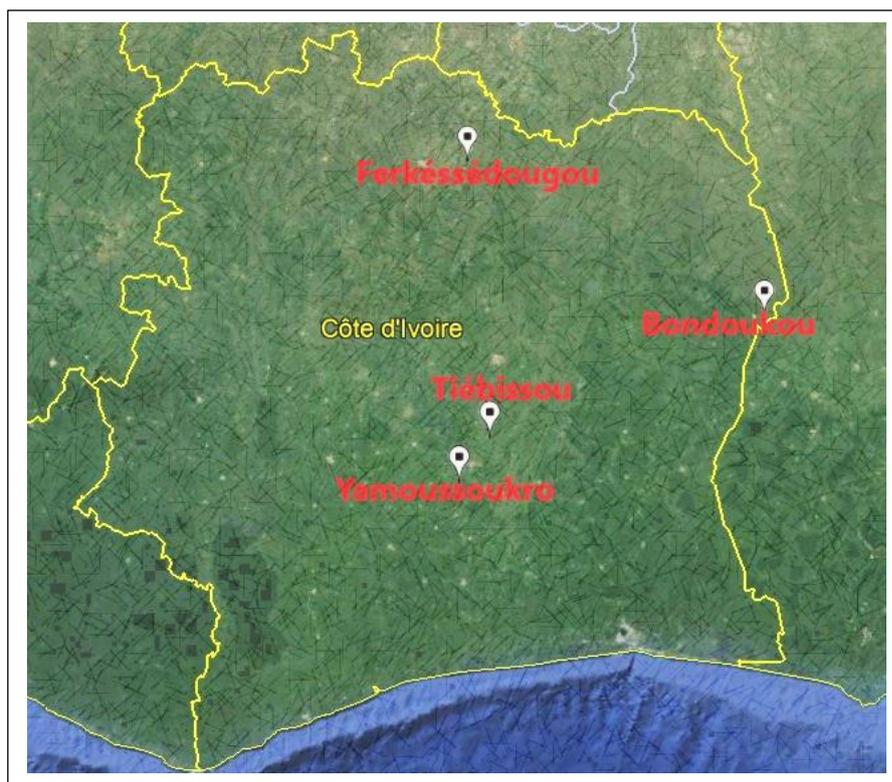


Figure 11: Localités de Ferkéssédougou, Bondoukou, Tiébissou et Yamoussoukro présentées par la carte administrative de la Côte d'Ivoire

II. MATERIEL

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de prunes noires (*Vitex doniana* Sweet) (**Figure 12**). Elles proviennent de quatre localités (Bondoukou, Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro).



1/0,36

Figure 12: Prunes noires mûres (*Vitex doniana* Sweet)

Source : **Traoré *et al.* (2018)**

2.2. Matériel technique

Dans le cadre de la présente étude, le matériel technique qui a servi à réaliser les différents travaux est composée:

- d'une fiche d'enquête renfermant un questionnaire ;
- d'un cahier pour noter les informations complémentaires ne figurant pas sur la fiche d'enquête ;
- d'un appareil photo numérique (DSC-W830 Sony) pour les prises d'images ;
- d'un ordinateur portable pour les saisies ;
- d'une glacière contenant des carboglaces pour assurer la conservation des fruits.

III. METHODES

3.1. Réalisation de l'enquête sur la prune noire

Avant l'enquête, les questions formulées en fonction des objectifs de l'étude ont été testées sur un nombre restreint de consommateurs. Ce test a permis de s'assurer de la bonne formulation des questions. L'enquête a été menée uniquement auprès des consommateurs dans le département de Bondoukou (Côte d'Ivoire). La collecte des informations s'est faite à l'aide

d'un questionnaire (Voir **annexe 1**). Elle a concerné l'état de connaissance, le niveau de consommation, les méthodes de conservation de la prune noire ainsi que les procédés de transformation de la graine. Le questionnaire a également porté sur le sexe, la tranche d'âge, l'activité professionnelle, les motivations pour la consommation et les quantités consommées. Les questions ont été posées en français. Chaque fois que la nécessité l'exigeait, un guide traducteur était associé pour communiquer avec les interlocuteurs ne parlant pas le français. Dans ce Département, l'enquête a été réalisée à la fois en ville et en campagne. Concernant la ville, cent (100) personnes ont été interrogées de façon aléatoire. Quant aux villages, ils ont été choisis essentiellement pour leur accès facile et leur localisation, suivant les quatre points cardinaux du Département, en vue d'une meilleure couverture des environs. Ces villages sont entre autres Sorhobango, Kiendiwalogo et Samporo, dans lesquels, trois cent (300) personnes ont été interrogées.

Les personnes interrogées sont sans distinction d'ethnies et de genres des différentes couches socio-professionnelles dont l'âge minimum requis était de 15 ans.

3.2. Echantillonnage

Les échantillons utilisés pour la conservation, la caractérisation morphologique et la détermination de la coloration ont été collectés dans le département de Bondoukou tandis que ceux utilisés pour la caractérisation physicochimique ont été prélevés dans les localités de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro. Dans les localités de Bondoukou, Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro, des échantillons respectivement de masse 90, 30, 25 et 15 Kg ont été collectés. Après la collecte, ils ont été conditionnés dans des glacières d'environ 20 Kg contenant des carboglaces. Les échantillons ont été transportés directement au laboratoire du Département Génie Chimique et AgroAlimentaire de l'Institut National Polytechnique Houphouët Boigny (GCAA INPH-B).

Un échantillon est constitué d'un (1) Kilogramme. Ce sont au total cent soixante (160) échantillons qui ont fait l'objet de cette étude. Il faut souligner qu'un premier échantillonnage a été réalisé durant la période de Septembre 2018 à Novembre 2018. Pour juger de la stabilité des résultats obtenus, un second échantillonnage a été effectué. Ce dernier s'est déroulé durant la période de Septembre 2019 à Novembre 2019.

Par ailleurs, l'incorporation de poudres de prune noire dans une formulation alimentaire (gâteau), n'a concerné que les poudres de pulpes et de pelures des fruits issus de Yamoussoukro.

3.3. Détermination de la coloration, caractérisation morphologique et séchage solaire de la prune noire

3.3.1. Détermination de la coloration de la prune noire

Les échantillons acheminés au laboratoire ont été observés à la lumière afin de déterminer les indices de coloration de la prune noire. En effet, la couleur est une propriété ondes électromagnétiques. L'ensemble des couleurs est représenté dans un espace ($L^*a^*b^*$), développé par la Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E) en 1976. Il permet de chiffrer la couleur perçue dans les échantillons à l'aide de trois coordonnées :

- l'indice L^* : indique la luminosité, la clarté et le degré de blancheur du fruit. Cet indice part de 0 (noir) à 100 (blanc).
- l'indice a^* indique les sens des couleurs vert – rouge. Il varie de -60 à +60.
- l'indice b^* indique les sens des couleurs jaune – bleu et varie également de -60 à +60.

Les mesures de couleur ($L^*a^*b^*$) ont été faites sur 1 Kg de prunes noires entières (71 fruits) à l'aide d'un chromamètre (USB 4000, Ocean optics) sur deux points opposés le long de l'axe équatorial de chaque fruit.

De ces mesures ($L^*a^*b^*$), ont été déterminés la chroma (C^*) et l'angle de teinte (h^*).

La valeur de la chroma (C^*) indiquait la saturation des couleurs et est donnée par l'expression de la **relation 6**:

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (6)$$

L'angle de la teinte (h^*), définissait la nuance des couleurs et a été évalué par la **relation (7)** suivante:

$$h^* = (\tan)^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (7)$$

Où

0° = rouge-violet, 90° = jaune, 180° = bleu-violet et 270° = bleu.

Les valeurs h^* et C^* positionnent bien la couleur sur le diagramme du système CIE $L^*a^*b^*$ comme un équilibre entre les couleurs vert/rouge (a^*) et bleu/jaune (b^*) (Mashavhathakha *et al.*, 2014).

3.3.2. Caractérisation morphologique

➤ *Dimensions de la prune noire entière et de sa graine*

Les grandeurs géométriques que sont les dimensions de la prune noire entière (longueur a , largeur b , épaisseur e) et de la graine (longueur c et largeur d) ont été déterminées au moyen d'un pied à coulisse (Harrak *et al.*, 2003). L'épaisseur a été définie par la hauteur suivant l'axe vertical au cœur du produit.

L'épaisseur de la pulpe a été déterminée par la différence entre la largeur de la prune noire entière et celle de sa graine. Toutes ces grandeurs sont exprimées en cm.

➤ *Forme du fruit*

La forme de la prune noire a été décrite et évaluée en termes d'indice de sphéricité (I_s), d'indice de calibre (I_c) et de l'aspect ratio (R_a) (Diakabana *et al.*, 2013; Jithender *et al.*, 2017) suivant les relations suivantes:

$$I_c = (a.b.e)^{1/2} \quad (8)$$

$$I_s = \frac{(a.b.e)^{1/3}}{a} \times 100 \quad (9)$$

$$R_a = \frac{b}{a} \times 100 \quad (10)$$

Où:

a : longueur du fruit (cm)

b : largeur du fruit (cm)

e : épaisseur du fruit (cm)

➤ ***Circonférence de la prune noire et de sa graine***

La circonférence de la prune noire et de sa graine exprimée en cm, a été déterminée à l'aide d'un ruban gradué.

➤ ***Volume et densité spécifique***

Le volume de la prune noire a été évalué en introduisant le fruit entier dans une éprouvette graduée contenant de l'eau de volume connu V_0 . Après immersion totale de la prune noire dans l'eau, on obtient un volume V_1 de l'eau déplacée. La différence de volume ($V_1 - V_0$) correspond au volume de la prune noire (V_{Fr}). La densité spécifique (ou masse volumique) ρ de la prune noire a été évaluée par le rapport de la masse de la prune noire (M_{Fr}) sur son volume (V_{Fr}) selon la relation (11) (Ondo-Azi *et al.*, 2009):

$$\rho(g/cm^3) = \frac{M_{Fr}}{V_{Fr}} \quad (11)$$

ρ : masse volumique de la prune noire (g/cm^3)

M_{Fr} : masse de la prune noire (g)

V_{Fr} : volume de la prune noire (cm^3)

➤ ***Détermination des grandeurs massiques des différentes parties de la prune noire***

Les grandeurs massiques de la prune noire entière, de la pulpe, de la graine et de la pelure ont été déterminées au moyen d'une balance analytique à la précision de $\pm 0,001$. Par ailleurs, les proportions en pelure ou écorce (P_{Pe}), en pulpe (P_{Pu}) et en graine (P_{Gr}) ont été déterminées en calculant le rapport de la masse des différentes parties sur la masse totale (M_{Fr}) de l'échantillon de fruit entier:

$$P_x = \frac{m_x}{M_{Fr}} \quad (12)$$

Où :

P_x : proportion des différentes parties de la prune noire (P_{Pe}; P_{Pu}; et P_{Gr})

m_x : masse des différentes parties de la prune noire (M_{Pe}, M_{Pu} et M_{Gr}).

La masse de la pulpe est déterminée par la relation suivante (Kaci *et al.*, 2016):

$$MPu = MFr - (MPe + MGr) \quad (13)$$

Où :

MFr : masse de la prune noire (g)

MPu : masse de la pulpe (g)

MPe: masse de la pelure (g)

MGr: masse de la graine (g)

3.3.3. Séchage solaire de la prune noire

3.3.3.1. Dispositif expérimental

Le séchoir solaire de type direct présenté par la **figure 13** a été conçu et réalisé à l'Institut National Polytechnique Houphouët Boigny (INPH-B) de Yamoussoukro. C'est un système qui transforme l'énergie solaire en énergie calorifique, puis transmis par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur qui est l'air asséchant. En vue de faciliter sa construction et de le rendre accessible aux agriculteurs, nous avons opté pour ce modèle de séchoir classique et assez simple. La structure mise en place est une serre de longueur $L = 3\text{m}$, de largeur $l = 3\text{m}$ et de hauteur $h = 2,5\text{m}$. Dans le respect des recommandations concernant l'orientation des serres (**AkmeI, 2010**), le séchoir entièrement couvert avec des tissus de sacs en polypropylène est doté de deux d'ouvertures (entrée et sortie d'air) perpendiculaires à la direction Nord – Sud. Les entrées d'air sont au niveau de la paroi recevant le vent dominant : direction Nord - Sud et la sortie sur la paroi opposée (**Figure 14**).

L'ouverture destinée à l'entrée de l'air orientée de façon perpendiculaire à la circulation de l'air, est haute et longue de $0,5\text{m}$ (**Figure 15**). Quant à celle destinée à la sortie de l'air, elle est haute et large respectivement de $0,5$ et 2m (**Figure 16**).

A l'intérieur du séchoir, se trouve disposé des claies situées à $1,25\text{m}$ de hauteur du sol. Ces claies sont large et longue de respectivement $0,5$ et 3m (**Figure 17**).

➤ *Fonctionnement du système*

Les rayons solaires frappent la couverture en polypropylène du séchoir, cette dernière absorbe les rayons solaires et les transforme en chaleur. Ainsi, l'air frais provenant de l'ambiance

extérieure entrant par l'ouverture qui lui est destiné (par le bas), est chauffé par convection naturelle. Cet air chaud monte ainsi sous l'effet de thermosiphon et sèche les fruits puis s'échappe par l'ouverture destinée à la sortie d'air chaud.

L'étude expérimentale entreprise sur le séchoir a consisté à la mesure : de l'humidité et de la température à l'intérieur du séchoir à l'aide d'un thermohygromètre à affichage numérique (Thermo-hygromètre Testo 610 Testo 05600610 - Distrame, Chine)

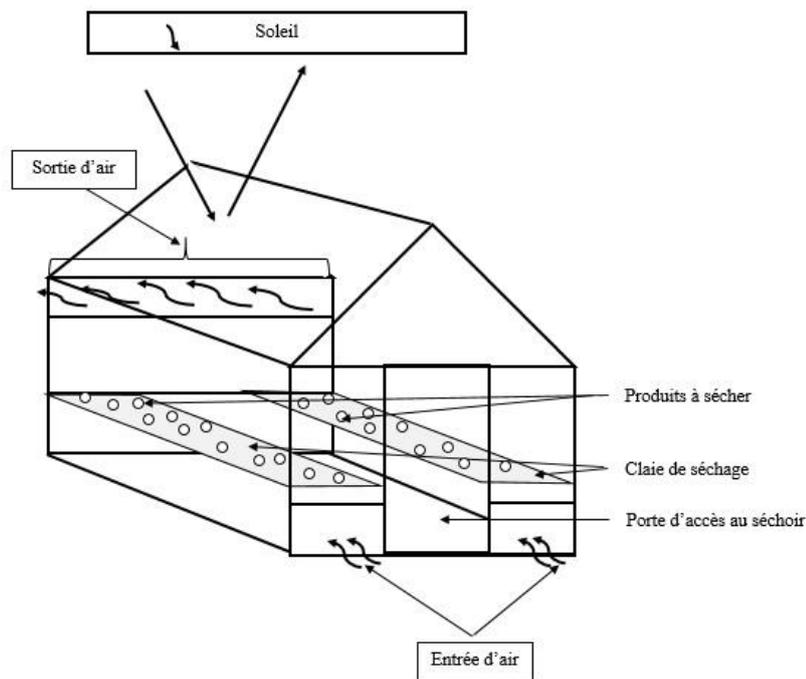
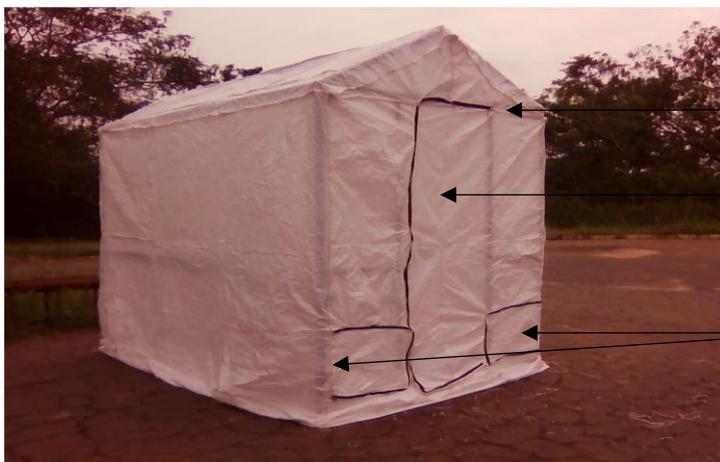


Figure 13: Schéma du séchoir solaire



Couverture en polypropylène

Porte d'entrée dans le séchoir

Entrée d'air

Echelle : 1/107, 14 cm

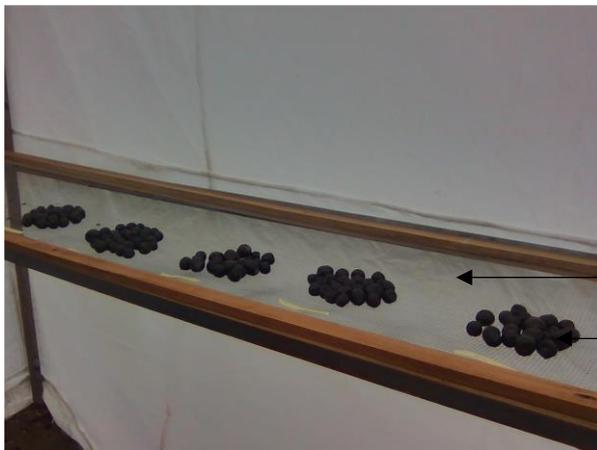
Figure 14: Séchoir solaire de type serre vue de l'avant



Sortie d'air

Echelle : 1/107, 14 cm

Figure 15: Séchoir solaire de type serre vue de l'arrière



Claie

Fruits

Echelle : 1/37, 97 cm

Figure 16: Claie à l'intérieur du séchoir

2.3.3.2. Pertes en eau et activité de l'eau des fruits séchés

Le suivi de la perte de masse et de l'activité de l'eau du produit au cours du séchage a été assurée respectivement par des mesures de masse et d'activité de l'eau, effectuées à

intervalles de temps réguliers de 2 heures, utilisant une balance de précision à 0,001g près et un activitimètre (HP23-AW-A-SET-40, ROTRONIC).

Le protocole expérimental a consisté à réaliser quotidiennement le séchage du produit entre 8h et 17h soient neuf heures de traitement en continu. A la fin de chaque journée le produit a été emballé sous film plastique et stocké dans un endroit sec afin de prévenir toute réhydratation.

3.4. Caractérisation physicochimique de la pulpe et de la pelure de la prune noire

La teneur en eau, le pH, l'acidité totale et les extraits secs réfractométriques (ESR) ont été réalisées sur la pulpe fraîche tandis que les autres paramètres ont été déterminés sur les poudres de pulpes et de pelures produites.

3.4.1. Détermination de la teneur en eau initiale, du pH, de l'acidité totale, des extraits secs solubles de la prune noire et la vitamine C

3.4.1.1. Détermination de l'humidité et de la matière sèche de la pulpe et de la pelure de la prune noire

La méthode utilisée est celle de l'AOAC (1990) dont le principe est basé sur un dosage gravimétrique après dessiccation d'une prise d'essai dans une étuve réglée à une température de 105°C (± 2 °C) jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Un creuset a été avec son couvercle à côté dans une étuve réglée à une température de 105°C (± 2 °C) pendant au moins 30 minutes. Après les 30 minutes, le creuset et son couvercle ont été placé dans un dessiccateur (JOAN LAB, Zhejiang, China) jusqu'à leur retour à température ambiante. Le creuset et son couvercle ont été pesés à l'aide d'une balance analytique (**soit m_0**). Une masse de 5 g d'échantillon (propre et sec), préalablement homogénéisé de pulpe de la prune noire mûre a été introduite dans le creuset de masse connue (**m_0**). Le creuset muni de son couvercle et contenant l'échantillon ont été pesés (**soit m_1**). Le creuset contenant l'échantillon avec son couvercle à côté, a été placé dans une étuve (Memmert, 854 Schwabach, Germany) réglée à 105°C (± 2 °C) pendant une durée de 24 heures.

Après les 24 heures, le couvercle a été remis sur le creuset. Le creuset a été ensuite placé dans un dessiccateur (JOAN LAB, Zhejiang, China) jusqu'à ce qu'il revienne à température ambiante. L'ensemble (échantillon plus creuset) a été pesé (**soit m_2**) après refroidissement au dessiccateur.

La teneur en matière sèche (**MS**) en pourcentage de masse d'échantillon sec a été déterminée par la relation (**14**) suivante :

$$MS(\%) = \frac{(m_2 - m_0) \times 100}{(m_1 - m_0)} \quad (14)$$

La teneur en eau ou humidité (**H**) en pourcentage de masse d'échantillon humide a été déterminée par la relation (**15**) suivante :

$$H(\%) = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{(m_1 - m_0)} \quad (15)$$

Où :

MS : teneur en matière sèche de l'échantillon (%)

H : humidité ou teneur en eau de l'échantillon (%)

m₀ : masse du creuset muni de son couvercle (g)

m₁ : masse du creuset muni de son couvercle et contenant l'échantillon avant dessiccation (g)

m₂ : masse du creuset muni de son couvercle et contenant l'échantillon après dessiccation (g).

2.4.1.2. Détermination du pH et l'acidité totale de la prune noire

Le pH et l'acidité totale ont été déterminés par la méthode **AOAC (1990)**.

Une masse de 10 g d'échantillon broyé a été pesée et délayée dans 100 mL d'eau distillée. Le mélange a été filtré sur papier filtre (Whatman) et le filtrat récupéré dans un erlenmeyer. La mesure du pH a été déterminée à l'aide d'un pH-mètre INOLAB™ (précision à 0,05 unité de pH) préalablement étalonné avec des solutions standards à pH 4 et 7. La sonde de mesure utilisée étant adaptée pour les mesures directes, le pH a été directement déterminé sur le filtrat. Le résultat, exprimé en unité de pH, est la moyenne de trois mesures sur le même échantillon. L'acidité titrable (AT) est l'acidité dosable par la soude en présence de phénolphthaléine comme indicateur coloré ou à l'aide d'un pH-mètre. Dans le protocole suivant, elle est déterminée au moyen d'une méthode potentiométrique. L'acidité libre totale a été neutralisée par une solution décimale d'hydroxyde de sodium. Le dosage s'arrête lorsque le pH de la solution est égal à

8,1 ±0,2 (point de virage de la phénolphtaléine). L'acidité titrable a été déterminée sur le filtrat obtenu. Pour ce faire, un volume de 10 mL du filtrat a été prélevé puis titré par une solution de NaOH (0,1 N) en présence de phénolphtaléine jusqu'au virage au rose (**relation 16**).

$$\text{(Acidité meq/100g)} = \frac{N \times V_{eq} \times 10^4}{m_e \times V_0} \quad (16)$$

Où :

V_0 : volume (mL) de la prise d'essai.

V_{eq} : volume (mL) de NaOH (0,1 N) versé à l'équivalence.

M_e : masse (g) de l'échantillon de pulpe fraîche.

N : normalité de la solution de soude : 0,1

2.4.1.3. Détermination de l'extrait sec réfractométrique(ESR) de la pulpe de la prune noire

Les fruits renferment généralement un grand nombre de composés réfractométriques dans l'eau tels que les sucres, les acides, la vitamine C, les acides aminés et les pectines. Ces composés constituent l'extrait sec réfractométrique du fruit, les sucres étant les principaux composants. La teneur en extrait sec réfractométrique reflète donc la teneur en sucre de l'échantillon.

L'extrait sec réfractométrique exprimé en degré brix (°B) a été mesuré dans le jus pure, non dilué, obtenu à partir d'une portion représentative de chaque fruit, à l'aide d'un réfractomètre électronique (ATAGO, Co. Ltd., Osaka, Japon) en compensation de température.

2.4.1.4. Rapport extrait sec réfractométrique / acidité totale (ESR/AT)

Ce rapport permet d'apprécier l'appétence et la saveur des fruits qui est un équilibre entre la teneur en sucres et en acides. Ainsi, lorsqu'il est supérieur à 1, la qualité gustative de la prune noire est jugée acceptable ou satisfaisante. Cependant, lorsqu'il est inférieur à 1, la qualité gustative de la prune noire est jugée inacceptable ou insatisfaisante (**Peroumal, 2014**). Les essais ont été répétés trois (3) fois pour tous les échantillons. Le rapport a été obtenu par la relation (**17**) suivante :

$$\text{Rapport ESS/AT} = \frac{\text{Taux d'ESR (°Brix)}}{\text{Acidité titrable (meq/100g)}} \quad (17)$$

2.4.1.5. Détermination de la teneur en vitamine C de la prune noire

La teneur en acide ascorbique issue des pulpes de prunes noires a été déterminée par la méthode de titration indirect améliorée de **Tillmanns et al. (1932)** utilisant le 2,6-dichlorophénolindophénol (2,6-DCPIP). Cette méthode a consisté en une réduction du 2,6-DCPIP et en une oxydation de l'acide ascorbique en acide déhydroascorbique. Elle a donc permis une détermination de la teneur en vitamine C sous sa forme réduite (acide ascorbique). Une fois que l'oxydation de l'acide ascorbique était terminée, le 2,6-DCPIP a servi d'indicateur coloré et sa présence en solution a donné une couleur rose caractéristique (**AOAC, 1984**).

A une quantité de cinq (5) g des poudres de pulpes de prunes noires a été ajouté un volume de 50 mL d'eau distillée. Après 5 min d'homogénéisation à l'aide d'un agitateur magnétique et 20 min de centrifugation à 4000 trs/min (centrifugeuse TDL-4, Chine), le surnageant a été recueilli dans un bécher. A un volume de 10 mL de surnageant, a été ajouté un volume de 10 mL d'acide métaphosphorique pour stabiliser la vitamine C. Le dosage a été réalisé un volume de 2 mL de solution stabilisée avec une solution de 2,6-dichlorophénolindophenol (2,6-DCPIP).

Il convient de noter que la solution d'acide métaphosphorique/acide acétique, la solution de 2,6-DCPIP et la solution standard d'acide ascorbique ont été préparées selon les prescriptions des fabricants. L'étalonnage de la solution 2,6-DCPIP a été préalablement fait avec une solution d'acide ascorbique pure. Une autre solution préparée à partir d'acide métaphosphorique / acide acétique a également été titrée avec un volume (V_0) de la solution 2,6-DCPIP. Les essais ont été répétés trois (3) fois pour tous les échantillons. La concentration en vitamine C ([vit C]) est évaluée la **relation 18** :

$$\text{VitC}(mg/100g) = \frac{2(V_e - V_0)}{(V_s - V_0)} * 100 \quad (18)$$

Où :

V_e : volume de solution de 2,6-DCPIP versé jusqu'à l'atteinte de l'équivalence (mL)

V_s : volume de solution d'acide ascorbique utilisé pour l'étalonnage de la solution 2,6-DCPIP (mL)

V₀ : volume de solution de 2,6-DCPIP utilisé pour le tirage de la solution d'acide ascorbique préparée avec la solution d'acide métaphosphorique/acide acétique (mL).

3.4.2. Analyse physicochimique des poudres de pulpes et de pelures de prunes noires

3.4.2.1. Production de poudres de pulpe et de pelure de la prune noire

La production des poudres de prune noire a été faite selon une technologie semi-traditionnelle dont le diagramme est présenté par la **figure 17**.

Les fruits ont été lavés puis la pulpe et la pelure ont été séparés au moyen de couteau en acier inoxydable. Après la séparation, la pulpe et la pelure ont été séchées au four (HOMAT, Jiangsu, China) à 50 °C pendant 24 heures. Les produits secs obtenus ont été broyés pour donner les poudres. Ces poudres ont été conditionnées dans des sachets en polystyrène et entreposées entre -5 et 10 °C pour les différentes analyses.

Figure 17: Schéma de production de la poudre de la pulpe et de la pelure de la prune noire

3.4.2.2. *Composition physicochimique des poudres*

3.4.2.3. *Détermination de la teneur en cendres totales de la pulpe et de la pelure de la prune noire*

La teneur en cendres, obtenue par gravimétrie, correspond à la masse du résidu obtenu après incinération des échantillons. Elle reflète donc la quantité de matières minérales présentes dans le fruit.

Les teneurs en cendres (*TC*) ont été déterminées suivant la méthode **AOAC (1990)**. Elle a consisté à placer un creuset en porcelaine dans un four à moufle à 550 °C (± 15 °C) pendant 30 minutes. Après les 30 minutes au four, le creuset a été sorti sur une plaque de protection durant 1 minute. Ensuite, le creuset a été placé dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'il revienne à la température ambiante puis pesé à l'aide d'une balance analytique (**soit P_0**). Une quantité de 2,5 g (P_1) de produit a été pesée à l'aide d'une balance dans le creuset de masse connu. L'ensemble (creuset + produit), noté P_1 est porté au four (Xinkyu, Henan, China) à 550 °C (± 15 °C) pendant 12 h. Après refroidissement au dessiccateur (JOAN LAB, Zhejiang, China), le creuset contenant les cendres est pesé (P_2). Trois essais ont été effectués pour chaque échantillons. La teneur en cendre a été déterminée à partir de la **relation (19)**.

$$TC (\%) = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100 \quad (19)$$

P_0 : masse du creuset vide (g)

P_1 : masse du creuset et de l'échantillon avant incinération (g)

P_2 : masse du creuset et de l'échantillon après incinération (g)

3.4.2.3. *Détermination de la teneur en protéine de la pulpe et de la pelure de la prune noire*

La détermination de la teneur en protéines brutes a été réalisée selon la méthode de **KJELDHAL (AOAC, 1990)**. Une quantité (2g) de produit additionné à un volume de 20 mL d'acide sulfurique concentré (95%) est chauffé à 420 °C pendant 4h en présence d'un catalyseur (pastilles de sulfate de cuivre) et de 10 mL d'un antimoussant (peroxyde d'hydrogène). Avant d'être porté à ébullition dans un distillateur (UDK 139) pendant 5 mL, le résidu de la

minéralisation est complétée à 50 mL avec de l'eau distillée, puis est additionnée de 80 mL d'hydroxyde de sodium (40 %). L'ammoniac qui se dégage est recueilli dans un erlenmeyer contenant 50 mL d'acide borique (2%), additionnée d'un indicateur mixte (Rouge de méthyle + Vert de bromocresol). Le dosage a été réalisée par une solution d'acide sulfurique (0,1 N) jusqu'au virage à l'orangé. Un essai à blanc (V_0) a été réalisé et répété trois (3) fois. Le blanc contenant tous les réactifs sauf l'échantillon. Il a été également réalisé des témoins de minéralisation (trois) contenant la glycine de masse comprise entre 150 et 200 mg. Le taux d'azote est obtenu selon la formule suivante (**relation 20**) :

La teneur en protéines brutes est obtenue en multipliant le taux d'azote (% N) par 6,25 (**relation 21**):

$$N(\%) = \frac{(V - V_0) \times 14 \times T \times 100}{E \times 1000} \quad (20)$$

Où :

N : teneur en azote (%)

V : volume d'acide utilisé pour le titrage de l'échantillon (mL)

V_0 : volume d'acide utilisé pour le titrage du blanc (mL)

T : titre de la solution d'acide (N)

E : masse de la prise d'essai de l'échantillon (g)

$$\text{Protéines totales (\%)} = N \times 6,25 \quad (21)$$

Pour le témoin de minéralisation (glycine), le coefficient est de 5,36.

3.4.2.4. Détermination des acides aminés dans la pulpe et la pelure de la prune noire

Les compositions en acides aminés de la pulpe et de la pelure ont été déterminées à l'aide des méthodes de **Spackman et al. (1958)**. Les échantillons ont été hydrolysés en transférant environ 50 mg d'échantillon pesé avec précision dans une ampoule de 15 mL. A l'échantillon, 5 mL de HCl 6,0 N ont été ajoutés puis, le flacon a été scellé sous vide, purgé à l'azote et digéré à 110 ° C pendant 24 heures. Les acides aminés contenant du soufre ont été déterminés en utilisant de l'acide performique. Les échantillons préparés ont été placés dans le passeur d'échantillons CLHP.

➤ **Equipement CLHP**

Une chromatographie liquide à haute performance en phase inverse (RP-HPLC) utilisant un système ISCO (ISCO, Lincoln, NE) et un fluorimètre de modèle 121 (filtre d'excitation à 340 nm et filtre d'émission à 425 nm) a été utilisée. Une colonne Waters Nova-pack C18 de 3/9 9 150 mm, taille de particule de 4 µm, a été utilisée pour la phase stationnaire dont le débit d'écoulement de la phase mobile était de 1,5 mL/min.

➤ **Phase mobile**

Les solvants utilisés pour la séparation sont :

A: méthanol, tampon phosphate de sodium 10 mM, pH 7,3 et tétrahydrofurane (19: 80: 1) et B: méthanol et tampon phosphate de sodium 10 mM, pH 7,3 (80:20). Les conditions de gradient de solvant étaient les suivantes: 8 min (20% de B); 8 min (30% de B); 12 min (40% de B); 16 min (80% de B); 6 min (100% de B) et 12 min (20% de B). Le cycle complet du gradient a duré 62 min dont le temps nécessaire au rinçage et à la remise dans les conditions initiales de la colonne après chaque injection était de 12 minutes. Le temps d'analyse était seulement de 50 min

➤ **Dérivatisation**

La formation de dérivés d'o-phthaldialdéhyde (OPA) a été réalisée automatiquement avec une solution de réactif de concentration 100 à 150 fois supérieure à celle de l'azote minéral. La détermination de l'azote aminé a été effectuée en utilisant la méthode décrite par **Lyndroth *et al.* (1985)**. La solution réactionnelle consistait en 200 mg d'OPA dans un volume de 9 mL de méthanol, 1 mL de borate de sodium à 0,4 M, pH 10 et 160 µL de 2-mercaptoéthanol (MCE). Le réactif OPA / MCE n'a pas été utilisé dans les 24 heures suivant sa préparation.

La solution standard d'amines biogènes a été préparée en dissolvant chaque amine dans une solution de Hcl (0,1 N) pour atteindre une concentration de 2,5 µmol/mL. Cette solution a été stockée à -18 ° C. Des volumes de 50, 100, 200 et 500 µL de ces solutions ont été ajustés à 25 mL avec du tampon borate 0,4 M pH 10 et ont été filtrés à travers un filtre de 0,45 mm. Les standards ont été dérivés avant l'injection dans la colonne. Pour cela, 50 µL d'échantillon ont réagi avec 50 µL de réactif OPA / MCE pendant exactement 1 min et 25 µL de cette solution

ont directement été injecté. La dérivation pré-colonne et l'appareil à colonne étaient à la température ambiante.

3.4.2.5. Détermination de la teneur en fibres de la pulpe et de la pelure de la prune noire

La teneur en fibres brutes a été déterminée selon la norme **AOAC 991.43 (AACC 32-07)**. Avant cette détermination, un désucrage a été effectué. Ce désucrage a consisté à agiter l'échantillon dans de l'éthanol technique puis à filtrer la masse résultante et enfin à sécher la matière première retenue sur un filtre.

✓ *Désucrage de la matière première*

Pour le désucrage, une quantité 10 g d'échantillon a été pesée dans un erlenmeyer à col rodé d'une capacité de 250 mL. A l'échantillon, un volume de 50 mL de l'éthanol (85 %) a été ajouté puis agité au moyen d'un agitateur magnétique pendant 1h 30 minutes. Après agitation, un papier filtre plissé a été placé dans un entonnoir en verre surmontant un erlenmeyer à col large de 500 mL. Ensuite, le contenu de l'erlenmeyer a été lentement coulé à répétition sur le filtre. La matière première présente sur le filtre a été récoltée et replacée dans un erlenmeyer à col rodé. Un volume de 30 mL d'éthanol (85 %) y a été à nouveau ajouté au moyen d'un agitateur magnétique puis agité pendant 30 minutes. Un papier filtre plissé a été à nouveau placé dans un entonnoir en verre surmontant l'erlenmeyer à col large de 500 mL. Le contenu de l'erlenmeyer a été lentement coulé à répétition sur le filtre. La matière première présente sur le filtre a été par la suite récoltée et placée sur un verre de montre. Le verre de montre contenant la matière première a été ainsi désucriée puis séchée au moyen d'une étuve électrique ventilée réglée à $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ toute une nuit. La matière première ainsi séchée a été refroidi à la température ambiante suivi du pesage.

✓ *Fibres totales*

Cette étape a consisté premièrement à induire trois attaques enzymatiques successives (α -amylase, protéase et amyloglucosidase). Elle permet d'extraire un résidu riche en fibres quantifiables par gravimétrie dans lequel l'amidon et les protéines ont été majoritairement éliminés. Les fibres ont été par la suite précipitées en additionnant une solution d'éthanol (78 %). La valeur obtenue a été corrigée par la teneur en cendres et en protéines résiduelles du résidu et par le blanc (Témoin).

- ***Préparation des creusets***

A la veille de la manipulation proprement dite, une quantité de 0,5 g de cérites a été ajoutée dans des creusets de masses connues. L'ensemble (creusets + cérites) est placé dans une étuve (Mettler U30-Gemini BV, GmbH, Germany) à 105 °C ($\pm 5^\circ\text{C}$) pendant une nuit. Le jour de la manipulation, les creusets ont été sortis de l'étuve et placés dans un dessiccateur (JOAN LAB, Zhejiang, China) jusqu'au refroidissement puis pesés.

- ***Digestion de l'échantillon***

Dans un erlenmeyer à col rodé de capacité 250 mL, une quantité de 1 g d'échantillon a été pesé puis un volume de 40 mL de tampon MES-TRIS a été ajouté et l'ensemble a été homogénéisé. À l'aide d'une micropipette, un volume 50 μL d'amylase est ajouté puis homogénéisé. Les erlenmeyers ont ensuite été placés dans un bain-marie de 100 °C pendant 30 minutes et agités de façon régulière. Au bout de 35 minutes, les erlenmeyers sont refroidis à 60 °C. Les gels éventuellement formés dans les erlenmeyers ont été dispersés avec une spatule. Les parois et la spatule ont été rincées avec un volume de 10 mL d'eau distillée. Après ajout d'un volume de 100 μL de solution de protéase au contenu de l'erlenmeyer. Les erlenmeyers ont été incubés pendant 30 minutes dans un bain agitant thermostaté à 60 °C. Une fois les 30 minutes écoulées, un volume 5 mL de HCl (0,561 N) ont été ajoutés. Le pH a été ajusté à 4,0 – 4,7 à 60 °C avec du NaOH (1N) ou du HCl (1N). Aux solutions obtenues, est ajouté un volume de 300 μL d'amylglucosidase ensuite incubés dans un bain agitant thermostaté à 60 °C pendant 30 minutes.

- ***Fibres totales***

Pour les fibres totales proprement dites, le contenu de l'erlenmeyer estimé à 100 mL de solution est vidé dans un bécher de 600 mL puis un volume de 400 mL éthanol (78 %) préalablement chauffé à 60 °C y est ajouté. Ainsi, le contenu du bécher a été laissé précipiter à température ambiante pendant 60 minutes. Ensuite, les creusets ont été placés dans un filtreur et le lit de célite a été redistribué avec de l'éthanol (78%) à 60 °C suivi du filtrage du résidu. Après filtration, le bécher et le résidu ont été rincés avec de l'éthanol (78%) à 60 °C. Les creusets contenant la célite et le résidu ont alors été séchés dans une étuve (Mettler U30-Gemini BV, GmbH, Germany) à 105 °C ($\pm 5^\circ\text{C}$) pendant une nuit. Le lendemain, les creusets (célite + résidu) ont été pesés après leur refroidissement au dessiccateur (JOAN LAB, Zhejiang, China). Une partie des résidus à servir à l'obtention de cendres (10 h à 525°C) et les protéines

(x 6,25) ont ainsi été dosés sur le résidu. La teneur en fibres totales a été calculée par la **relation (22)**.

$$\text{Fibres alimentaires (\%)} = \left(\left(\left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) - (\%P + \%A) \times \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) - B \right) \times 100 \right) / \left(\frac{m_1 + m_2}{2} \right)$$

Avec :

$$\text{Blanc} = B = \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) - (\%P + \%A) \times \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right)$$

$$m = E_r \times (MS/100)$$

$$E_r = (E/(100 - \%S)) \times 100$$

Où :

R₁ et R₂ : masses des creusets (contenant la célite et le résidu) après séchage (g)

%P : pourcentage des protéines du résidu

%A : pourcentage de cendres du résidu

m₁ + m₂ : prises d'essai de l'échantillon en tenant comptes de la matière sèche (g)

E : masse pesée en début de manipulation (g)

MS : teneur en matière sèche (%)

%S : pourcentage en sucre

E_r : prise d'essai recalculé dans le cas où l'échantillon a été désucré ou dégraissé

m : prise d'essai en tenant compte de la matière sèche (calcul de m₁ et m₂)

3.4.2.6. Détermination de la teneur en lipides de la pulpe et de la pelure de la prune noire

La détermination de la teneur en lipide a consisté à :

- l'hydrolyse acide de l'échantillon afin de libérer les fractions lipidiques occluses et liées ;
- la filtration de la masse résultante ;

-
- l'extraction des lipides retenue sur le filtre après séchage, au moyen d'hexane.

Avant le début des analyses, une fiole d'extraction contenant des régulateurs d'ébullition a été placée dans une étuve (Memmert U30-Gemini BV, GmbH, Germany) réglée à 105 °C (\pm 5°C) pendant 1h. Après, refroidissement la fiole a été pesée à l'aide d'une balance de précision 0,0001 (**soit M₀**).

✓ *Traitement à l'acide chlorhydrique*

Dans un erlenmeyer à col rodé de capacité de 250 mL, une quantité de 3 g d'échantillons préalablement homogénéisé a été pesés (**soit E**). Un volume de 50 mL de solution aqueuse d'acide chlorhydrique (4N), y été ajouté. L'erlenmeyer contenant l'échantillon et l'acide chlorhydrique a été par la suite chauffé sur une plaque chauffante surmontée d'un réfrigérant jusqu'à l'obtention d'une légère ébullition. Après 1h de chauffage, l'ensemble a été refroidi. La colonne du réfrigérant ainsi que les cols rodés (de la colonne et de l'erlenmeyer) sont rincés avec de l'eau distillée afin de recueillir la matière grasse.

✓ *Filtration*

Pour la filtration, deux papiers filtres qualitatifs plissés ont été placés dans un entonnoir en verre numéroté, lequel surmonte un erlenmeyer de capacité de 500 mL. Sur les papiers filtres préalablement humidifiés avec l'eau distillée, le contenu de l'erlenmeyer hydrolysé a été versé plusieurs fois en petites quantités. Ensuite, l'erlenmeyer a été lavé jusqu'à l'élimination totale des particules ayant adhérees sur les parois. Les filtres ont également été lavés avec l'eau distillée jusqu'au moment où les eaux de lavage ne modifient plus la couleur du papier pH. Après cette étape, l'ensemble (erlenmeyer, filtres et entonnoirs) a été placé dans une étuve (Memmert U30-Gemini BV, GmbH, Germany) réglée à 105 °C (\pm 5°C) pendant 1h.

✓ *Extraction*

Pour l'extraction, les papiers filtres sont roulés et insérés dans une cartouche d'extraction. La cartouche a ainsi été introduite dans la fiole d'extraction préalablement séchée et tarée. Ensuite, un volume de 140 mL d'éther de pétrole a été ajouté aux échantillons contenus dans la cartouche. L'ensemble (fiole + cartouche) a été placé sur le Soxtherm à une température d'extraction de 150 °C. Une fois l'extraction terminée, la fiole d'extraction a été retiré du Soxthermpuis placée dans une étuve réglée à 105 °C (\pm 5 °C) pendant 1h. la fiole d'extraction contenant la matière grasse et les régulateurs d'ébullition, refroidie au dessiccateur (JOAN

LAB, Zhejiang, China), a été par la suite (M_1). La **relation 23** a permis de déterminer la teneur en lipides.

$$\text{Lipides (\%)} = \frac{M_1 - M_0}{E} \times 100 \quad (23)$$

Où :

M_0 : masse de la fiole d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition (g)

M_1 : masse de la fiole d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition et la matière grasse (g)

E : prise d'essai de l'échantillon (g).

3.4.2.7. Détermination de la teneur en glucides totaux de la pulpe et de la pelure de la prune noire

La détermination de la teneur en glucides totaux a été faite par la méthode de Bertrand (1913). Cette méthode a été réalisée en trois étapes suivantes :

- l'hydrolyse acide de l'échantillon afin de libérer les fractions lipidiques occluses et liées ;
- la filtration de la masse résultante ;
- l'extraction des lipides retenue sur le filtre après séchage, au moyen d'hexane.

Avant le début des analyses, une fiole d'extraction contenant des régulateurs d'ébullition a été placée dans une étuve (Caractéristiques) réglée à $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ pendant 1h. Après, refroidissement la fiole a été pesée à l'aide d'une balance (précision) ((soit M_0)).

✓ Traitement à l'acide chlorhydrique

Dans un erlenmeyer à col rodé de capacité 250 mL, une quantité de 3 g d'échantillons préalablement homogénéisé a été pesés (soit E). Un volume 50 mL de solution aqueuse d'acide chlorhydrique (4N), y été ajouté. L'erlenmeyer contenant l'échantillon et l'acide chlorhydrique a été par la suite chauffé sur une plaque chauffante surmontée d'un réfrigérant jusqu'à l'obtention d'une légère ébullition. Après 1h de chauffage, l'ensemble a été refroidi. La colonne

du réfrigérant ainsi que les cols rodés (de la colonne et de l'erenmeyer) sont rincés avec de l'eau distillée afin de recueillir la matière grasse.

✓ **Filtration**

Pour la filtration, deux papiers filtres qualitatifs plissés ont été placés dans un entonnoir en verre numéroté, lequel surmonte un erlenmeyer de capacité 500 mL. Sur les papiers filtres préalablement humidifiés avec l'eau distillée, le contenu de l'erenmeyer hydrolysé a été versé plusieurs fois en petites quantités. Ensuite, l'erenmeyer a été lavé jusqu'à l'élimination totale des particules ayant adhéré sur les parois. Les filtres ont également été lavés avec l'eau distillée jusqu'au moment où les eaux de lavage ne modifient plus la couleur du papier pH. Après cette étape, l'ensemble (erenmeyer, filtres et entonnoirs) a été placé dans une étuve (Memmert U30-Gemini BV, GmbH, Germany) réglée à 105 °C (± 5°C) pendant 1h.

✓ **Extraction**

Pour l'extraction, les papiers filtres sont roulés et insérés dans une cartouche d'extraction. La cartouche a ainsi été introduite dans la fiole d'extraction préalablement séchée et tarée. Ensuite, un volume de 140 mL d'éther de pétrole a été ajouté aux échantillons contenus dans la cartouche. L'ensemble (fiole + cartouche) a été placé sur le Soxtherm à une température d'extraction de 150 °C. Une fois l'extraction terminée, la fiole d'extraction a été retiré du Soxthermpuis placée dans une étuve réglée à 105 °C (± 5 °C) pendant 1h. la fiole d'extraction contenant la matière grasse et les régulateurs d'ébullition, refroidie au dessiccateur (JOAN LAB, Zhejiang, China), a été par la suite (M_1). La **relation 24** a permis de déterminer la teneur en lipides.

$$\text{Lipides (\%)} = \frac{M_1 - M_0}{E} \times 100 \quad (24)$$

Où :

M_0 : masse de la fiole d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition (g)

M_1 : masse de la fiole d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition et la matière grasse (g)

E : prise d'essai de l'échantillon (g).

3.4.2.8. Détermination de la teneur en glucides totaux de la prune noire

Le dosage des glucides totaux a été effectué selon la **méthode de Bertrand**.

Cette méthode consiste en :

-
- une hydrolyse acide suivie d'une neutralisation de la totalité de l'hydrolysate ;
 - une déprotéinisation ;
 - le dosage des glucides totaux.

✓ ***Hydrolyse de la solution***

De capacité 250 mL, une quantité de 2,5 g d'échantillon préalablement homogénéisé ont été pesés et un volume de 100 mL de solution aqueuse d'acide chlorhydrique (1N) y ont été ajoutés. L'erlenmeyer a été chauffé pendant 1h sur une plaque chauffante surmontée d'un réfrigérant jusqu'à obtention d'une légère ébullition. Ensuite, la solution chauffée a été refroidie puis neutralisée par une solution concentrée d'hydroxyde de potassium (normalité). Après refroidissement, le pH a été acidifié à l'aide d'une goutte de solution d'acide chlorhydrique (1N). La solution obtenue a par la suite été transvasée quantitativement dans un ballon jaugé de capacité 250 mL.

✓ ***Déprotéinisation***

Pour la déprotéinisation, à un ballon jaugé de capacité 250 mL, un volume de 5 mL de réactif de Carrez I (solution aqueuse d'hexacyanoferrate (III) de potassium à 15 %) et un volume de 5 mL de réactif de Carrez II (solution aqueuse d'acétate de zinc dihydraté à 30 %) y ont été ajoutés. Ensuite, la solution obtenue a été portée au trait de jauge avec de l'eau distillée et homogénéisée. Après homogénéisation, la solution a été laissée reposée pendant environ 10 minutes, puis filtrée sur un papier filtre qualitatif plissé placée dans un entonnoir en verre placé sur un erlenmeyer de capacité 500 mL.

✓ ***Dosage des glucides totaux***

Un volume de 10 mL de filtrat et un volume de 20 mL de solution de Bertrand I (solution tartrasodique) a été introduit (selon la teneur en glucides totaux de l'échantillon) dans un erlenmeyer à col large de capacité 250 mL, puis l'ensemble a été agité. A cette solution agitée, un volume de 20 mL de solution de Bertrand II (solution ferrique) y a été ajouté et agité. Après agitation, la solution obtenue a été modérément portée à ébullition pendant 3 minutes. La solution a été rapidement refroidie sous eau courante et laissé décantée. Notons que le liquide surnageant doit rester bleu, auquel les opérations précédentes doivent être reprises. Par ailleurs, le liquide surnageant a été filtré sous vide sur un creuset en verre fritté, entraînant le moins possible de précipités. Le précipité restant dans un erlenmeyer à col large et celui qui était dans le creuset en verre fritté a été lavé plusieurs fois à l'eau récemment bouillie. Le creuset en verre

fritté, a été par la suite placé sur un erlenmeyer à filtration sous vide propre. Le précipité d'oxyde de cuivre resté dans l'erlenmeyer à col large et celui déposé dans le creuset en verre fritté ont été dissous en ajoutant, par petite quantité dans l'erlenmeyer, un volume d'environ 25 mL de solution ferrique, jusqu'à dissolution complète des précipités. Par ailleurs, l'erlenmeyer et le creuset en verre fritté ont été plusieurs fois rincés à l'eau distillée en recueillant les eaux de rinçage dans l'erlenmeyer à filtration sous vide. La solution finale obtenue dans l'erlenmeyer à filtration sous vide, a été directement titrée avec la solution de permanganate de potassium.

La teneur en glucides totaux a été exprimée, avec deux décimales, en pourcentage de masse et a été donnée par la formule suivante :

$$\text{GT (\%)} = \frac{\text{meg} \times 25}{V_1 \times E} \times 100 \quad (25)$$

GT : teneur en glucides totaux (%)

meg : masse équivalente de glucose correspondant au volume de permanganate de potassium utilisé pour le titrage de l'échantillon (g)

V₁ : volume de filtrat prélevé (mL)

E : prise d'essai de l'échantillon (g).

3.4.2.9. Détermination des minéraux dans la pulpe et la pelure de la prune noire

Une quantité de 0,5g de poudres de pelure ou de pulpe de prunes noires a été introduite dans des flacons de digestion contenant un volume de 5 mL d'un mélange HCl/ HNO₃ (1 :3) concentré. Le tout est bien agité. L'ensemble est chauffé progressivement sur une plaque modérément chaude pendant 2 h. Après refroidissement, à la température ambiante, un volume de 50 mL d'eau distillée y est ajouté puis filtrée. La solution refroidie et filtrée est mise en flacon et passée au spectrophotomètre d'absorption atomique (A Analyst 200, Perkins Elmer, Waltham, MA, USA) pour la détermination des minéraux. Par ailleurs, le phosphore a été déterminé au spectrophotomètre (METTLER TOLEDO) La quantification des minéraux a été effectuée à l'aide de courbes d'étalonnage standard qui ont été construites pour chaque élément.

3.4.2.10. Détermination des composés phytochimiques et activités antioxydantes de la pulpe et de la pelure de la prune noire

3.4.2.10.1. Extraction

La méthode d'extraction solide-liquide décrite par **Palafox-carlos *et al.* (2012)** a été utilisée pour extraire les composés phénoliques de la poudre de la pulpe ou de la pelure de prune noire. Des échantillons de pulpe ou de pelure de la prune noire lyophilisés (1 g) ont été homogénéisés dans une solution de 10 mL de méthanol à 80 % et d'acide formique à 2 %, en utilisant un homogénéisateur (Ultra TurraxT25, IKA Works, Willmington, NC) à température ambiante. L'homogénat a été soniqué pendant 30 minutes dans un sonicateur (Bransonic Ultrasonic Co., Danbury, CT), puis centrifugé à 9400g pendant 25 minutes. Le surnageant séparé du culot a été recueilli dans un erlenmeyer. Au culot obtenu, il a été additionné un volume de 10 mL de méthanol à 80% dans les conditions décrites précédemment. Les deux surnageants obtenus ont été mélangés et filtrés à l'aide du papier filtre Whatman n°1. L'extrait méthanolique final a été stocké à -19 ° C pour être utilisé dans la détermination des teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes et en anthocyanes des différentes parties de la prune noire.

3.4.2.10.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée selon la méthode décrite par **Gao *et al.* (2000)**. Un volume de 100 µL d'extrait méthanolique a été mélangés à un volume de 200 µL de réactif de Folin-Ciocalteu, dilué dix fois dans un tube à essai. Après 3 min, un volume d'1 mL de carbonate de sodium (15%) et un volume de 2 mL d'eau distillée y ont été ajoutées. Le mélange a été incubé à l'obscurité pendant 2 heures, puis l'absorbance a été mesurée à 765 nm contre un essai à blanc. Une gamme étalon d'acide gallique de 0 à 0,200 mg/mL a été utilisé comme standard. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique (GAE) pour 100 g de matière sèche.

3.4.2.10.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes a été déterminée selon la méthode modifiée de **Meda *et al.*, (2005)**. Un volume de 0,5 mL d'extrait méthanolique de pulpe ou de pelure a été dilué dans un volume de 0,5 mL d'eau distillée. A cette quantité, il a été ajouté un volume de 0,5 mL de chlorure d'aluminium à 10% (P / V) et le même volume d'acétate de sodium (1M). Par la suite, un volume de 2 mL d'eau distillée y a été ajoutée et une lecture d'absorption à 415 nm a été effectuée après 30 min contre un essai à blanc constitué uniquement du méthanol 80 %. La quercétine a été utilisée pour la courbe d'étalonnage avec une plage de concentration de 0 à

3,125 mg / mL. Les résultats ont été exprimés en mg d'équivalent quercétine (QE) / 100 g de matières sèches (MS).

3.4.2.10.4. Détermination de la teneur anthocyanes

Les anthocyanes peuvent se dégrader sous forme polymérique en changeant de couleur quel que soit le pH. La forme oxonium colorée existe à pH 1,0 et la forme hémicétale incolore est prédominante à pH 4,5.

La teneur en anthocyanes totales a été déterminée par la méthode du pH différentiel (Lee *et al.*, 2005). L'absorbance a été mesurée à 510 et à 700 nm dans des tampons à pH 1,0 et 4,5. La concentration en anthocyanes est calculée et est exprimée en mg d'équivalent 3-glucoside de cyanidine par 100 g de matières sèches selon la formule suivante:

$$TAC \text{ (cyanidin 3 - glucoside equivalents); } \frac{mg}{100} g DW = \frac{A \times MW \times FD}{\epsilon \times l} \quad (26)$$

A (A₅₁₀ – A₇₀₀ nm) pH 1,0– (A₅₁₀ – A₇₀₀ nm) pH 4,5;

MW (poids moléculaire) = 449,2 g / mol;

FD : facteur de dilution; l = longueur du trajet de la cuvette en cm;

ε = 26 900 L / mol cm coefficient d'extinction molaire pour la cyanidine 3-O-β-D-glucoside.

3.4.2.10.5. Capacité de réduction ferrique du plasma (FRAP)

Le pouvoir réducteur des extraits de pulpes ou de pelures a été déterminé selon la méthode de Hseu *et al.* (2008). Les extraits méthanoliques (1 mL) à différentes concentrations (50 à 1000 µg / mL) sont mélangés aux tampon phosphate (1 mL, 0,2 M, pH 6,6) et ferricyanure de potassium [K₃Fe (CN) 6] (1 mL, 1 %). Le mélange obtenu est ensuite incubé à 50 °C pendant 20 minutes. Un volume d'1 mL d'acide trichloroacétique (10 %) a été ajoutée au mélange, qui a été par la suite centrifugé pendant 10 minutes à 3000 tr / min. A un volume d'1 mL de surnageant recueilli, il a été ajouté un volume d'1 mL l'eau distillée et un volume de 150 µL de solution de FeCl₃ (0,1%). La solution ainsi obtenue est maintenue pendant 10 minutes à la température ambiante. Ensuite, la lecture de l'absorbance de chaque solution est faite au

spectrophotomètre à 700 nm contre le témoin où l'échantillon est remplacé par le méthanol. Une absorption élevée indique un pouvoir de réduction plus importante.

3.4.2.10.6. Identification et quantification des composés phénoliques présents

3.4.2.10.6.1. Extraction des composés phénoliques

Une quantité de 50 mg de poudres de pulpes ou de pelures a été ajouté dans un volume de 2 mL de méthanol à 90% contenant 0,5% d'acide acétique. La solution obtenue est laissée au repos dans un appareil à ultrasons (BANDELIN electronic, Heinrichstrasse 3 – 4, D – 12207, Berlin) pendant 1 min et le surnageant a été récupéré par centrifugation à 3000 tr / min pendant 10 min. Après trois extractions, les extraits méthanoliques ont été séchés à l'azote. Les résidus obtenus ont été par la suite dissous dans un volume de 0,25 mL de diméthylsulfoxyde (DMSO) et filtrés à travers un filtre à membrane Millex-LG de 0,2 µm (Millipore Co., Bedford, MA) avant l'analyse HPLC. Le traitement a été répété trois fois indépendamment.

3.4.2.10.6.2. Analyse à la HPLC

L'identification et la quantification des composés phénoliques ont été faite à l'aide d'un High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Le HPLC est basé sur un système Agilent Technologie 2001 - 2008 équipé d'une station Chem pour les systèmes LC 3D Rev.B.03.02 [341]. Il contient un logiciel de station de mesure de chromatographie et est constitué d'un échantillonneur automatique D 7200, d'une colonne (Four à colonne) et d'un système de détection à barrette de diodes (DAD). Les longueurs d'ondes sont comprises entre 200 à 600 nm au niveau du système de détection DAD. La colonne Inertsil ODS (250 x 2,1 mm, 5 µm), associée à une colonne de garde (10 x 4,0 mm i.d.), a été utilisée à 35 °C. L'élution en gradient a été réalisée avec une solution A composée d'une solution d'acide formique (pH 3,3) et de 10% de méthanol, et une solution B contenant 70% de méthanol, délivrée à un débit de 0,25 mL / min de la manière suivante: initialement 100% de solution A; pour les 15 minutes suivantes, 70% de A; pendant encore 30 minutes, 65% de A; pendant 20 minutes supplémentaires, 60% de A; pendant encore 5 min, 50% de A; et enfin 0% A pendant 25 min. Le volume d'injection pour l'extrait était de 10 µL. Les composés phénoliques ont été identifiés sur la base de la comparaison des temps de rétention, de la correspondance des spectres UV-visible des composés contenus dans les échantillons et ceux des standards contenus dans notre library (32 standards).

3.4.2.10.6.3. Analyse à l'HPLC des composés phénoliques

Il a été créé une bibliothèque comprenant les temps de rétention en HPLC et le spectre des aglycons, avec un détecteur à réseau de diodes pour 32 produits chimiques standard.

Les courbes d'étalonnage ont été construites avec les longueurs d'onde spécifiques des produits chimiques standard.

L'extrait de pulpes ou de pelures a ensuite été analysé en utilisant le même système HPLC. Les pics de polyphénols détectés ont été identifiés sur la base des temps de rétention et des spectres dans la bibliothèque. L'analyse quantitative a été réalisée par chromatographie des échantillons.

3.5. Transformation des poudres de pulpes et pelures de prune noire en pâtisserie

3.5.1. Détermination des propriétés fonctionnelles des poudres de pulpes et de pelures de prunes noires

3.5.1.1. Capacité d'absorption d'eau et indice de solubilité dans l'eau des poudres

La capacité d'absorption d'eau (CAE) et l'indice de solubilité dans l'eau (ISE) de la poudre ont été déterminés selon les méthodes respectives de **Phillips *et al.* (1988)** et, de **Anderson *et al.* (1969)**. Une quantité d'un (1) g de poudre a été dissout dans un tube à centrifuger contenant un volume de 10 mL d'eau distillée stérile. Ce mélange a été agité pendant 30 min par un agitateur mécanique (AGIMATIC-N) et maintenu dans un bain-marie à 37°C pendant 30 min. Après centrifugation à 4200 tours/min pendant 15 min), le culot obtenu (M_2) a été pesé, puis séché à 105°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) dans une étuve ventilée (Mettler U30-Gemini BV, GmbH, Germany) jusqu'à l'obtention d'une masse constante (M_1). La CAE et l'ISE ont été calculés à partir des relations mathématiques suivantes (**relation 27 et 28**):

$$\text{CAE (\%)} = (M_2 - M_1) \times 100 / M_1 \quad (27)$$

CAE : capacité d'absorption d'eau

M_1 : masse sèche de l'échantillon après passage à l'étuve (g)

M_2 : masse du culot frais après centrifugation (g)

$$\text{ISE (\%)} = (M_0 - M_1) \times 100 / M_0 \quad (28)$$

ISE : indice de solubilité dans l'eau

M_0 : masse initiale de l'échantillon prélevé (g)

3.5.1.2. Densité apparente (DA) des poudres

La densité apparente (DA) de la poudre a été déterminée selon la méthode de **Narayana et Narasinga (1982)**. Une quantité de cinquante (50) g de poudre (ME) a été introduit dans une éprouvette graduée de capacité 100 mL. Le volume (V_0) de cet échantillon a été noté après une bonne nivelation avec une spatule (sans taper l'éprouvette sur la paillasse). Ensuite, l'éprouvette a été lentement secouée de façon manuelle jusqu'à l'obtention d'un volume constant noté V_t (**relation 29**).

$$D A \text{ (g/mL)} = ME \text{ (g)} / V_t \text{ (mL)} \quad (29)$$

DA : densité apparente

ME : masse d'échantillon prélevé (g)

V_t : volume de l'échantillon secoué (mL)

3.5.1.3. Pouvoir gonflant des poudres

Le pouvoir gonflant a été déterminé par la méthode décrite par **Leach et al. (1959)** et modifiée par **Ocloo et al. (2010)** pour les petits échantillons. Une quantité d'un (1) g de l'échantillon a été mélangé avec un volume de 10 mL d'eau distillée stérile dans un tube à centrifuger et chauffé à 80 °C pendant 30 min.

Le mélange a été continuellement agité pendant la période de chauffage. Après chauffage, la suspension a été centrifugée à 3000 t/min pendant 15 min. Le surnageant a été retiré puis la pâte restante a été pesée. Le pouvoir de gonflement a été calculé comme suit (**relation 30**) :

$$\text{Pouvoir de gonflement} = \frac{\text{Poids de la pâte (g)}}{\text{Poids de l'échantillon sec (g)}} \quad (30)$$

3.5.1.4. Capacité d'absorption d'huile des poudres

La capacité d'absorption d'huile (CAH) a été déterminée selon la méthode de **Sosulski (1962)**. Une quantité d'un (1) g de poudre a été dissout dans un volume de 10 mL d'huile. Le

mélange a été agité pendant 30 min à la température ambiante puis centrifugé à 4200 tours/min pendant 15 min. Le culot récupéré a été pesé à l'aide d'une balance de marque METLAR. La capacité d'absorption d'huile a été calculée à partir de la formule suivante (**relation 31**):

$$\text{CAH (\%)} = (M_1 - M_0) \times 100 / M_0 \quad (31)$$

CAH : capacité d'absorption d'huile

M₀ : masse de l'échantillon prélevé (g)

M₁ : masse du culot (g)

3.5.1.5. Rapport hydrophile – lipophile

Le rapport hydrophile-lipophile (RHL) tel que défini par **Njintang et al. (2001)**, a été calculé en faisant le rapport de la capacité d'absorption d'eau sur la capacité d'absorption d'huile. Ce rapport a permis d'évaluer l'affinité comparée des poudres de prune noires pour l'eau et pour l'huile (**relation 32**).

$$\text{RHL} = \text{CAE} / \text{CAH} \quad (32)$$

CAE : capacité d'absorption d'eau

CAH : capacité d'absorption d'huile

3.5.1.5. Capacité émulsifiante (CE) et stabilité des émulsions (SE)

L'activité émulsifiante (AE) et la stabilité de l'émulsion ont été déterminées selon la méthode décrite par **Neto et al. (2001)**.

A cet effet, une quantité de 7 g de poudres de pulpes et de pelures a été ajouté à un volume de 100 mL d'eau distillée dans un tube à essai, puis agité au vortex pendant 30 s. Un volume de cinq (5) mL d'huile végétale a été ajouté à un volume de 5 mL de la suspension obtenue. Le mélange a été homogénéisé pendant 5 min au vortex, puis centrifugé (1200 trs/min) pendant 5 min. Après centrifugation, une couche d'émulsion est formée. La longueur (**L₁**) de cette couche et celle du contenu total (**L₀**) du tube avant centrifugation ont été mesurées au moyen d'une règle graduée. L'AE a été calculée comme suit (**relation 33**) :

$$AE (\%) = \frac{L_1}{L_0} * 100 \quad (33)$$

Où :

L₁ : longueur de la couche d'émulsion après centrifugation (Cm)

L₀ : longueur du contenu total du tube avant centrifugation (Cm)

Quant à la stabilité de l'émulsion (SE), elle a été déterminée en chauffant l'émulsion à 80°C pendant 30 min suivi d'une centrifugation à 2500 trs/min pendant 5 min. La longueur de la couche émulsifiée après chauffage et centrifugation (L₃) et celle de la couche émulsifiée avant chauffage (L₂), ont été mesurées pour l'estimation de la stabilité de l'émulsion (**relation 34**)

$$SE (\%) = \frac{L_3}{L_2} * 100 \quad (34)$$

Où :

L₂ : longueur de couche émulsifiée avant chauffage (Cm)

L₃ : longueur de la couche émulsifiée après chauffage et centrifugation (Cm)

3.5.2. Formulation et caractérisation des pâtes et des gâteaux issus de la pulpe et de la pelure de la prune noire

3.5.2.1. Formulation et caractérisation rhéologique des pâtes de gâteaux

3.5.2.1.1. Formulation des pâtes

Des essais préliminaires ont été réalisés pour déterminer les conditions de préparation des gâteaux (proportions farine/poudres/lait/beurre ; temps de cuisson). C'est ainsi que, 6 proportions ont été choisies dans lesquelles 3 ont été retenues à l'issue de tests sensoriels préliminaires. Les quatre formulations ont été réalisées dans les proportions de:

- 0% de poudres de pulpes et de pelures de prunes noires ;
- 3% de poudres de pulpes et de pelures de prunes noires ;
- 5 % de poudres de pulpes et de pelures de prunes noires et;

- 7 % de poudres de pulpes et de pelures de prunes noires.

Le **tableau 8** résume les différentes recettes utilisées pour la préparation de ces gâteaux. Ainsi, les gâteaux obtenus à partir de la pulpe de la prune noire sont nommés F_{Pu} et ceux issus de la pelure sont appelés F_{Pe}. La fabrication des gâteaux a débuté par la préparation des ingrédients. Le jaune d'œuf et le sucre ont été homogénéisés dans un mélangeur (Kitchen Aid 900; Whirlpool Corporation, St Joseph, Michigan, États-Unis) pendant 5 min. A ce mélange, le lait a été ajouté et mélangé pendant 4 minutes jusqu'à la formation d'une pâte semi-ferme. La margarine ramollie (1 min à 170 °C) a ensuite été ajoutée et le mélange a été poursuivi pendant 4 min supplémentaires. Ensuite, la farine (farine de blé 100% ou farine de blé + poudres de prunes noires) et la levure chimique y ont été ajoutées, puis l'ensemble a été mélangé pendant 4 min. Par la suite, le blanc d'œuf battu en neige a été incorporé au mélange obtenu puis homogénéisé pendant 3 min. Cet ensemble homogène ainsi obtenu a constitué la pâte à gâteau. Dans un moule taré, une quantité de 300 g de cette pâte à gâteau y a été versée.

Tableau 8: Formule pour le gâteau (Unité : g/100 g)

Ingrédients	Teneur en poudre (pulpe et pelure) de la prune noire (g/300 g de pâte)				
	% masse	0 ^a	3	5	7
Farine de blé	29,42	88,26	85,61	83,85	82,08
Farine de la prune noire	-	0	2,65	4,41	6,18
Blanc d'œuf	11,77	35,31	11,77	35,31	35,31
Sucre	26,48	79,44	26,48	79,44	79,44
Lait écrémé	17,65	52,95	17,65	52,95	52,95
Margarine ramollie	11,77	35,31	11,77	35,31	35,31
Jaune d'œuf	2,35	7,05	2,35	7,05	7,05
Levure	1,02	3,1	1,02	3,1	3,1

^a Préparé respectivement avec 0, 3, 5, et 7 g/29,42 g de remplacement d'échantillons de farine de gâteau avec la poudre de la prune noire

3.5.2.1.2. Caractérisation rhéologique des pâtes

3.5.2.1.2.1. Densité, taux de perte à la cuisson et rendement de la pâte

Les caractéristiques physiques des pâtes à gâteau notamment la densité, le taux de perte à la cuisson et le rendement, ont été mesurées quatre fois pour chaque pâte à gâteau formulé.

La densité de la pâte a été déterminée comme étant le rapport entre le poids d'un récipient standard rempli de pâte et celui du même récipient rempli d'eau (masse volumique, 1 g / mL) (**relation 35**) (Gomez *et al.*, 2007).

$$\text{Densité} = \frac{\text{Masse de la pâte de gâteau}}{\text{Masse de l'eau}} \quad (35)$$

Le taux de perte à la cuisson (**relation 36**) et le rendement de la pâte (**relation 37**) ont été déterminé par la méthode décrite par Kim *et al.* (2012). Ces deux paramètres prennent en compte la masse de la pâte et celle du gâteau formulé.

$$\text{Perte à la cuisson (\%)} = \frac{\text{Masse de la pâte} - \text{Masse du gâteau}}{\text{Masse du gâteau}} \times 100 \quad (36)$$

$$\text{Rendement en pâte (\%)} = \frac{\text{Masse du gâteau}}{\text{Masse de la pâte}} \times 100 \quad (37)$$

3.5.2.1.2.2. Caractérisation thermique des pâtes à gâteau

Les caractéristiques thermiques ont été évaluées par Differential Scanning Calorimetry (DSC Q1000, Belgique). L'instrument a été calibrée à l'indium. A une quantité de farine (farine 100 % blé ou farine de blé + poudres de prunes noires) de 3 mg, de l'eau distillée y a été additionnée en vue d'atteindre un taux d'humidité final de 10%. Pour maintenir l'humidité final à 10 %, une solution saturée de NaNO₂ (aw = 0,64, sur 25 °C) a été utilisée. Les échantillons ont été soumis à un chauffage à des températures allant de 20 °C à 110 °C et à un rythme de chauffage de 10 °C/min.

Notons que la température de début (T_0), la température de pointe (T_p), la température de fin (T_e) et l'enthalpie de gélification H (J/g d'amidon sec) ont été déterminées selon les méthodes de **Krueger et al. (1987)**.

3.5.2.1.2.3. Rhéologie des pâtes à gâteau

L'analyse rhéologique a été réalisée à l'aide d'un rhéomètre à contrainte contrôlée (Rheometer MCR serie from Anton Paar, USA) et à géométrie en plaque parallèle (diamètre 50 mm). Avant les analyses rhéologiques, une fine couche d'huile de vaseline a été appliquée pour recouvrir les surfaces exposées de la pâte afin d'éviter le dessèchement des bords. Par la suite, les échantillons sont laissés pendant 5 min pour permettre la relaxation.

La pâte à gâteau a été placée entre des plaques parallèles espacées de 1 mm. Notons que les analyses rhéologiques ont été effectués à 25 ° C. Des tests de balayage de contrainte de 0,1 à 20 Pa et de 10 Hz de fréquence ont été effectués pour déterminer la contrainte maximale dans la région viscoélastique linéaire de tous les échantillons. Ensuite, la contrainte appliquée a été ajustée pour rester dans un régime linéaire pendant le test de dépendance en fréquence. Des tests oscillatoires ont été effectués avec une aliquote différente des mêmes échantillons à une fréquence de 3Hz et d'amplitude 0,1%. Les propriétés rhéologiques dynamiques des échantillons ont été évaluées par le module de conservation G' (module élastique) et le module de perte G'' (module visqueux). Des mesures d'écoulement sont déterminées par l'expression de la contrainte de cisaillement (σ), en fonction du taux de cisaillement ($\dot{\gamma}$) variant de 0 à 50 s⁻¹. Pour un temps de 200s, cent points de l'échelle logarithmique ont été mesurés. Les courbes de débit ont été ajustées à la loi de Hershel Bulkley $\sigma = \sigma_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$, ce qui donne le coefficient de consistance "K" qui est fonction de la viscosité. L'indice d'écoulement "n" a également été déterminé.

3.5.2.2. Caractérisation physicochimique des gâteaux

3.5.2.2.1. Préparation des gâteaux

La cuisson a été faite à 170 °C ($\pm 5^\circ\text{C}$) pendant 35 min dans une étuve ventilée (four à convection turbo polyvalent à banc Bakbar, modèle E32, Moffat Pty Ltd, Mulgrave, Victoria, États-Unis). Après la cuisson, l'étuve une fois arrêtée, a été laissée ouverte pendant 10 min en vue d'un refroidissement progressif des gâteaux. Ce temps écoulé, les gâteaux ont été délicatement sortis de l'étuve et laissés refroidi à température ambiante pendant 2h. De chaque

pâte, 18 gâteaux ont été obtenus. Dix (10) gâteaux issus de la même pâte ont été utilisés pour les mesures des caractéristiques physico-chimiques, et les huit (8) restants ont servis à une évaluation sensorielle. Les échantillons de gâteaux ont été emballés dans des sacs en plastique à fermeture glissière et étiquetés. Les sacs ont ensuite été stockés à -19 °C avant les analyses.

3.5.2.2.2. Caractérisation physicochimique

3.5.2.2.2.1. Caractérisation physique des gâteaux

3.5.2.2.2.1.1. Activité de l'eau (A_w) et volume des gâteaux

L'activité de l'eau de chaque type de gâteau fabriqué a été mesurée par la technique du miroir glacé en utilisant un compteur d'activité de l'eau AquaLab CX-2 (Decagon Devices, Pullman, WA). L'activité de l'eau de chaque gâteau a été établie en moyenne à partir de quatre répétitions.

Le volume de chaque type de gâteau a été déterminé par la méthode du déplacement du colza (**Lu et al., 2010**). Le moule à gâteau vide était rempli de colza. Le volume du moule à gâteau vide (V_1) a été calculé sur la base du volume de colza déterminé par une éprouvette graduée. Après obtention des gâteaux, le reste du volume du moule à gâteau (V_2) a été rempli de graines de colza et le volume de colza a été déterminé par une éprouvette graduée. Le volume du gâteau a été calculé comme suit (**relation 38**):

$$V_g = V_1 - V_2 \quad (38)$$

Où :

V_g : volume du gâteau

V_1 : volume du moule à gâteau vide

V_2 : reste volume du moule à gâteau

3.5.2.2.2.1.2. Observation transversale et détermination de la coloration de la mie et de la croûte des gâteaux

Après avoir refroidi les gâteaux à la température ambiante pendant 1 heure, le centre de chaque gâteau a été coupé dans le sens de la longueur et une photo de la section a été prise avec un appareil photo numérique (Huawei Y6, Chine). Les déterminations de couleur des échantillons de gâteaux (3 x 3 x 3 cm, miettes uniquement) à partir de la section médiane des

gâteaux ont été mesurées à l'aide d'un colorimètre de mesure de la couleur (HunterLab, Germany) défini pour les valeurs de L (luminosité), a (couleur rouge), b (couleur jaune) et ΔE (valeur de la différence de couleur totale ou la chroma). Les résultats des valeurs de L, a et b ont été calculés en moyenne pour 5 répétitions.

3.5.2.2.2.1.3. Analyse du profil de texture du gâteau

Après refroidissement à la température ambiante pendant 1h, des gâteaux ont été découpés en différents morceaux (3x 3 x 3 cm). Les mesures d'analyse de profil de texture (TPA) des différents morceaux de gâteaux ont été prises à partir de la section médiane des gâteaux à l'aide d'un analyseur de texture TAXT2i (TAXT2i, Texture analyser, United Kingdom). La croûte a été retirée pour la détermination de la texture du gâteau. Un double cycle a été programmé et le profil de texture a été déterminé à l'aide du logiciel *Exponent connect* (Stable Micro Systems). Pour sélectionner les conditions de test optimales, diverses combinaisons de tests (rapport de déformation 30 – 60 et vitesse transversale 0,1 - 2 mm / s) ont été effectuées. Le piston plongeur est de type P/35 et de diamètre de 3,08 cm. Il a permis de compresser l'échantillon à la moitié de sa hauteur initiale à une vitesse de 0,8 mm/s. Ce sont entre autres les conditions optimales dans cette étude.

Par ailleurs, la texture de la croûte a été déterminée en utilisant une sonde de diamètre 2 mm. Les paramètres de texture enregistrés étaient la dureté, la cohésion, l'adhésivité, l'élasticité, la résilience, la gélatinité et la résistance à la mastication (texture moelleuse). Ces paramètres ont été calculés sur la base de 5 répétitions.

2.5.3.1.4. Détermination des indices de volume, de symétrie et d'uniformité des gâteaux

La détermination de l'indice de volume, de l'indice de symétrie et de l'indice d'uniformité des différents gâteaux ont été réalisés selon la **méthode AACCI International Method 10-91.01**. Pour ces mesures, chaque gâteau a été coupé soigneusement verticalement à travers le centre. La tranche de gâteau est ensuite placée avec la surface coupée vers le bas sur le gabarit, centré et aligné sur la ligne de base du gabarit. Le diamètre du morceau de gâteau a été lu à 0,1 mm près puis, 20,3 mm ont été soustraits du diamètre pour obtenir la valeur de retrait. Ensuite, la hauteur du gâteau a été relevée à 0,1 mm près aux lignes verticales. Ces lignes ont été désignées pour les calculs.

2.5.3.2. Composition physicochimique des gâteaux

La composition physicochimique des différents gâteaux obtenus a été déterminée selon les méthodes analytiques décrites aux points 3.4.1 et 3.4.2 énoncées plus haut.

2.5.3.3. Caractérisation sensorielle

Pour l'évaluation de la qualité organoleptique des différents gâteaux, la méthode utilisée est le test hédonique. Ce test a été conduit à partir d'une fiche de dégustation (Annexe xxx).

Pour chaque produit, elle comporte :

- une appréciation hédonique sur une échelle de satisfaction en sept points. Cette appréciation hédonique comprend une évaluation visuelle, globale, olfactive, et une estimation de la texture et du goût) ;
- les commentaires libres des dégustateurs utilisés pour déterminer le degré d'appréciation globale des gâteaux.

Il convient qu'à chaque séance, les différents gâteaux ont été découpés en plusieurs tranches. Ces tranches ont été placées dans des assiettes blanches. Sur chacun des postes, les différentes tranches ont été disposées après les avoir soigneusement codées. Au nombre de quatre-vingt (80), les dégustateurs non entraînés qui ont été sélectionnés, ont constitué un panel dont l'âge se situait entre 18 et 45 ans. Ces derniers sont composés de femmes et d'hommes. Ils ont été recrutés parmi les étudiants, le personnel et les enseignants de l'Université de Liège (Gembloux AgroBioTech. Tous les dégustateurs étaient des bénévoles intéressés. Ceux-ci sont convoqués par groupe de 8.

Après un briefing, ils sont installés en cabine pour une évaluation des tranches de gâteaux de façon séquentielle. Pour minimiser tout effet résiduel, les panelistes ont reçu l'ordre de rincer la bouche les échantillons testés. Entre deux groupe de dégustateurs, la durée était d'une heure.

3.6. ANALYSES STATISTIQUES

Les données ont été saisies et analysées avec le logiciel SPSS (version 22.0, Chicago, USA). Pour l'exploitation des différents paramètres de l'étude, plusieurs tests statistiques ont été effectués. Les comparaisons de pourcentages ont été faites par des tests de Chi 2. Le test de corrélation de Pearson et de régression pour tester l'association entre les variables. Un seuil de probabilité (p) inférieur ou égal 0,05 a été choisi pour la significativité de toutes les

exploitations des données. Les données quantitatives sont exprimées en moyenne plus ou moins écart type et les données qualitatives en pourcentage. Les comparaisons de deux moyennes sont effectuées en utilisant le test T de Student. Pour les comparaisons multiples, le test d'ANOVA est utilisé. Les moyennes sont séparées en utilisant le test de Tukey HSD. Ce test a été réalisé à l'aide du logiciel RStudio Version 1.2.1335 2009 – 2019. Des recodages ont été effectués pour l'exploitation des données issues de l'enquête. Toutes les données traitées ont été par la suite transférées sur Excel (Microsoft 2016) et les résultats ont été présentés sous forme de tableaux et de graphiques.

3^{ième} PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

I. ENQUETES SUR LA CONSOMMATION, LES TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE CONSERVATION ET TRANSFORMATION DE LA PRUNE NOIRE

1.1. RESULTATS

1.1.1. Profils des consommateurs enquêtés

Les profils des consommateurs enquêtés sont représentés par la **figure 18**. Il ressort de l'analyse de cette figure que la population interrogée dans le département de Bondoukou estimée à 400 personnes, est constituée majoritairement de 51,50 % d'hommes et 48,50 % de femmes. Ces personnes investiguées sont composées de cultivateurs à 37,25 %, de ménagères à 29,25 %, d'hommes de métiers à 24,25 %, d'étudiants à 7,75 % et de fonctionnaires à 1,50 %. Les populations consommatrices de la prune noire interrogées dans ce département sont majoritairement composées de Gours (82,05 %), suivi des Mandés du Nord (14,71 %), des Akans (2 %) et des allogènes (1,25 %). Cette enquête a aussi montré que la prune noire est consommée par toutes les tranches d'âge de la population interrogée. En effet, 32,25 % des consommateurs ont un âge compris entre 29 et 39 ans, tandis que 27,50 % des consommateurs de prune noire ont un âge compris entre 40 et 50 ans, 25,00 % entre 18 et 29 ans, et 5 % ont un âge au-delà de 60 ans. Tous les niveaux d'études et de non scolarisés sont représentés avec une prédominance des non scolarisés (79,75 %) ainsi que les niveaux d'études primaires (9,75 %) et secondaires (9,00 %). Les niveaux d'études supérieures ne formaient qu'une minorité de 1,50 %.

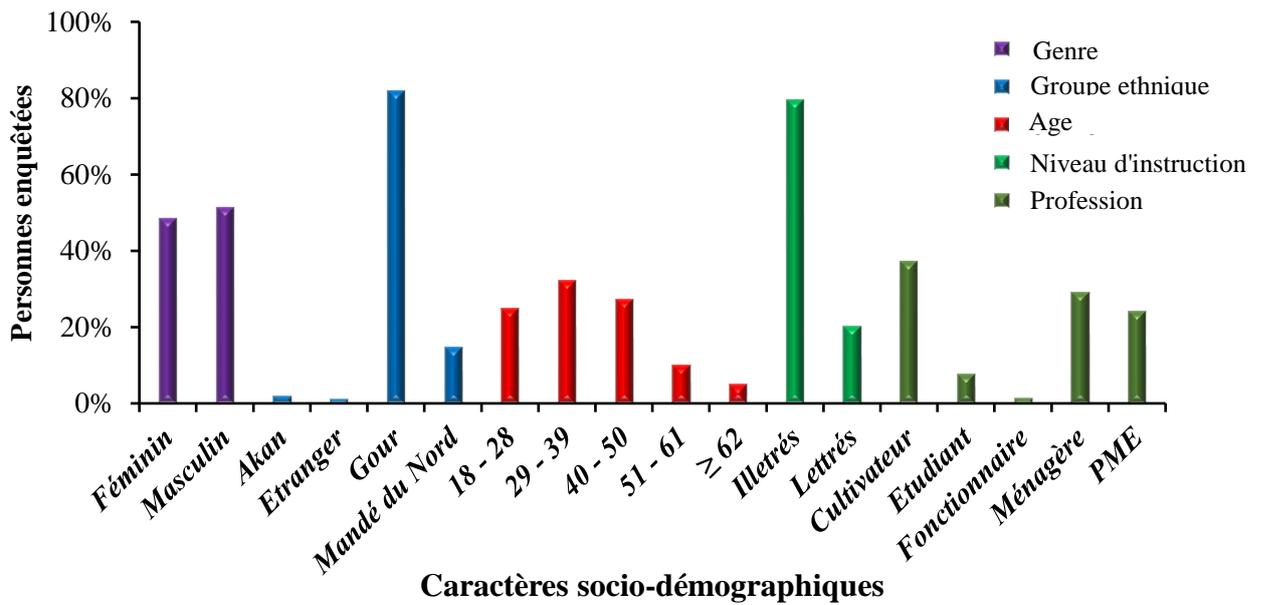


Figure 18: Répartition des consommateurs par rapport aux caractères socio-démographiques

1.1.1.1. Etat de connaissance des consommateurs de la prune noire

Les résultats du tableau 9 indique que 89,50 % des personnes interrogées confirment la disponibilité de la prune noire contre 10,50 % de celles-ci. Quant à l'accessibilité, elle est notée à plus de 63,50 %.

Par ailleurs, l'enquête a révélé que 94,50 % des populations consommatrice de la prune noire l'obtiennent par ramassage. La minorité l'obtient par achat (5,50 %). La pulpe de la prune noire est consommée en état selon la population interrogée. Elle ne subit donc pas de transformation ni de conservation. Il en est de même pour la graine. Ce qui traduit qu'elle est immédiatement consommée après ramassage ou achat.

Tableau 9: Tableau récapitulatif de la disponibilité, l'accessibilité, le mode d'obtention, la forme de consommation, la transformation et la conservation de la prune noire et de sa graine

		Fruit (pulpe) (%)	Graine (%)
Disponibilité	Disponible	89,50	89,50
	Non disponible	10,50	10,50
Accessibilité	Accessible	63,50	63,50
	Non accessible	36,50	36,50
Mode d'obtention	Ramassage	94,50	94,50
	Achat	5,50	5,50
Forme de consommation	En frais	100	0
	Transformé	0	0
Transformation	Non transformé	100	100
	Conservé	0	0
Conservation	Non conservé	100	100

1.1.1.2. Relation entre les caractères socio-démographiques des consommateurs et la consommation de la prune noire.

Le **tableau 10** présente l'influence des caractères socio-démographiques sur l'état de la consommation de la prune noire. L'analyse des résultats de ce tableau montre que le groupe ethnique, le niveau d'instruction et la profession ont chacun une influence significative au seuil de $\alpha = 5\%$, sur le niveau de consommation, la fréquence de consommation et la quantité de fruit consommée. Cependant, l'âge et la fréquence de consommation de la prune noire ne sont pas liées ($p < 0,05$).

En effet, les gours (94,00 %) et les non scolarisés (89,90 %) consomment régulièrement la prune noire pendant sa période de disponibilité (**Tableau 10**). Toutefois, la prune noire est très peu consommées par les personnes scolarisés.

Quant à la profession, les cultivateurs représentent la majorité des personnes qui en consomment régulièrement. Il ressort aussi de l'analyse du tableau 10 que les adultes ayant un âge compris entre 29 et 39 ans, les gours, les personnes non scolarisées et les cultivateurs consomment au moins une fois par jour la prune noire, et ce, à des taux respectifs de 55,80 %, 91

95,20 %, 90,30 % et 49,10 %. Il convient de mentionner que le groupe ethnique qui consomme en grande quantité la prune noire est le groupe ethnique gours avec une fréquence de 93,70 %.

Tableau 10: Influence des caractères socio-démographiques sur l'état de la consommation de la prune noire

Caractères Socio-démographiques		Sexe		Age			Groupe ethnique			Niveau d'instruction			Profession				
		Homme	Femme	Jeunes (18-28)	Adultes (29-39 et 40-50)	Vieux (51-61 et 62 et plus)	Gour du Nord	Mandé Akan	Etran-ger	Illet-trés	Lettrés	Cultiva-teurs	Fonction naires (Salariés haut et moyens)	Etu-diants	PME	Ménagè-res	
Niveau de consommation	Jamais	75,00	25,00	0,00	100,00	0,00	12,50*	50,00*	25,00*	12,50*	25,00*	75,00*	0,00*	37,50*	0,00*	62,50*	0,00*
	Rarement	50,00	50,00	25,00	65,60	9,40	50,00*	34,40*	6,30*	9,40*	68,80*	31,20*	21,90*	6,20*	6,30*	43,70*	21,90*
	Souvent	50,80	49,20	25,40	60,70	13,90	79,80*	18,70*	1,60*	0,00*	75,10*	24,90*	31,10*	0,50*	10,80*	29,00*	28,50*
	Toujours	51,50	48,50	24,60	56,80	18,60	94,00*	4,80*	0,60*	0,60*	89,80*	10,20*	49,10*	0,00*	4,80*	13,20*	32,90*
Fréquence de consommation	1f/mois	58,30	41,70	20,80*	66,70*	12,60*	37,50*	0,00*	8,30*	12,50*	62,50*	37,50*	8,30*	8,40*	8,30*	50,00*	25,00*
	Chaque 2 semaine	52,20	47,80	30,40*	69,60*	0,00*	43,50*	47,80*	8,70*	0,00*	56,50*	43,50*	21,70*	0,00*	13,00*	56,50*	8,70*
	1f/semaine	46,20	53,80	19,60*	64,10*	16,30*	78,60*	20,50*	0,90*	0,00*	76,10*	23,90*	28,20*	0,90*	10,30*	31,60*	29,10*
	Au moins 1f/j	52,10	47,90	24,80*	55,80*	19,40*	95,20*	3,60*	0,60*	0,60*	90,30*	9,70*	49,10*	0,00*	4,80*	12,10*	33,90*
	2-3f/j	54,00	46,00	34,90*	54,00*	11,10*	93,70*	6,30*	0,00*	0,00*	81,00*	19,00*	44,40*	0,00*	9,50*	15,90*	30,20*
Quantité consommée	Peu	44,80	48,80	35,00	52,30	12,70	62,10*	27,60*	3,40*	6,90*	69,00*	31,00*	31,00*	0,00*	3,40*	41,40*	24,20*
	Moyen	51,20	48,10	25,10	61,30	13,60	78,70*	18,90*	1,90*	0,50*	76,80*	23,20*	30,90*	1,50*	10,60*	26,60*	30,40*
	Beaucoup	51,90	55,20	23,10	58,30	18,60	93,70*	5,10*	0,60*	0,60*	89,10*	10,90*	48,80*	0,00*	5,10*	16,00*	30,10*

Influence des caractères socio-démographiques sur l'état de la consommation de la prune noire.

* : Influence significative à 5 %

1.2. DISCUSSION

Le prunier noir est une plante dont les fruits sont consommés en Côte d'Ivoire notamment dans la région de Gontougo. L'investigation auprès des populations enquêtées dans cette région (particulièrement le département de Bondoukou) a ressorti que les prunes noires sont couramment consommées par le groupe ethnique Gours regroupant les Koulangos, les Nafanas et les Lobis. Les meilleurs consommateurs de ce groupe ethnique sont les cultivateurs. Effet, cette consommation abondante de la prune par ces cultivateurs, serait dû en partie à leur habitude alimentaire et aussi à la disponibilité et à l'accessibilité de ces fruits. En effet, la disponibilité et accessibilité sont liées à la période des pluies. Dans ces localités enquêtées, les populations situent cette disponibilité et accessibilité au cours de la période de pluies de Septembre à mi-Novembre. Par ailleurs, les fruits du prunier noir sont disponibles dès le début de la saison pluvieuse. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Ekué *et al.* (2008)**, qui stipulent que 50 % des fruits sont disponibles en saison pluvieuse. Le début de la saison des pluies et la fin de la saison sèche coïncide avec la période de soudure (**Longhurst, 1985**).

De plus, durant ces périodes, les ignames sauvages, autrefois considérées comme des rejets, entrent activement dans l'alimentation des populations (**Codjia *et al.*, 2003**). D'où une abondante consommation des fruits sauvages comestibles telle que la prune noire, disponibles à cette période de soudure. Les fruits sont de ce fait d'une importance particulière pour les différentes catégories sociales et sont le plus souvent consommés comme une collation ou un supplément. Car, pendant la période de fructification, le long des routes qui mènent aux champs et même dans ceux-ci, les fruits abondent. Ainsi, la prune noire sont utilisés d'une part, comme un aliment apaisant la faim lors des travaux champêtres, et d'autres part comme tonifiant. Ces fruits pourraient compenser les déficits vitaminiques notés pendant le début de la saison pluvieuse.

La majorité des personnes interrogées consommatrices de la prune noire sont des non scolarisées. Ce taux élevé de consommateurs non scolarisés serait dû au fait que, dans nos villages, les travaux champêtres, pour la plupart, sont assurés majoritairement par des personnes non scolarisées. En addition, plus de la moitié des personnes investiguées consommatrices de la prune noire sont des adultes. Cela pourrait s'expliquer par le fait que, de façon générale, dans nos villages, seuls les adultes assurent la réalisation des travaux champêtres.

En outre, la prune noire s'obtient par ramassage. La taille de l'arbre pourrait expliquer le mode d'obtention de ces fruits car, les arbres de la prune noire atteignent environ 10 m de haut.

Les fruits ramassés sont consommés sous forme brute. Ils ne sont donc ni transformés, ni conservés. Cette situation pourrait être justifiée par la teneur en eau très élevée de ces fruits. Car, selon **Soro et al. (2018)**, la prune noire renferme une teneur en eau avoisinant les 74 %. C'est ce qui expliquerait la conservation difficile de ces fruits. A cet effet, la fabrication de boissons fraîches non alcoolisée à partir de la pulpe, sa déshydratation et sa transformation en poudre sont d'autant de pratiques nouvelles qui pourraient contribuer à leur accorder un plus grand intérêt

Par ailleurs, les prunes noires sont consommées au moins une fois par jour et en grande quantité par les cultivateurs gourds non scolarisés consomment au moins une fois par jour et en grande quantité la prune noire. Ces résultats sont en accords avec ceux obtenus par **Shenory (2005) et Honfo et al. (2011)**, qui ont révélés que les variables socio-démographiques telles que le genre, l'âge, l'éducation et le revenu peuvent influencer les régimes alimentaires dans une région donnée et au sein d'un groupe ethnique. Tout comme la profession et le niveau d'instruction, le groupe ethnique influence le niveau de consommation du fruit. De plus, la prune noire est consommée au moins une fois par jour par les adultes. Cela serait dû à l'accès facile aux fruits aux personnes adultes, qui, à majorité cultivateurs, utilisent la prune noire comme tonifiant. Ces fruits sont donc de potentielles sources d'énergies car, ils sont sucrés et riches en hydrates de carbone (**Agbede et Ibitoye, 2007**).

- **Conclusion partielle**

Cette enquête a permis de mettre en évidence l'état de connaissance de la prune noire dans le département de Bondoukou, l'absence de méthodes de conservation et de transformation de son fruit et de sa graine. Ainsi, la prune noire accessible et disponible pendant la période de production est beaucoup consommés et appréciés dans ce département. En revanche, l'initiation de pratiques nouvelles contribuera à leur accorder un plus grand intérêt notamment la fabrication de boisson fraîche à partir de la pulpe, sa sa déshydratation et la transformation du fruit et de la graine respectivement en poudres et en un produit comestible. Par ailleurs, une sensibilisation à l'endroit des autres groupes ethniques sera nécessaire pour une meilleure vulgarisation de ce fruit.

II. CINETIQUE DE SECHAGE DE LA PRUNE NOIRE

2.1.RESULTATS

2.1.1. Evolution de la teneur en eau et de la vitesse de séchage de la prune noire en fonction du temps

La **figure 19** présente l'évolution de la teneur en eau de la prune noire en fonction du temps de séchage. Il ressort de l'analyse de cette figure que les prunes noires ont une teneur initiale en eau aux alentours de 2,2446 Kg eau/Kg MS. Cette teneur en eau diminue progressivement jusqu'à atteindre une valeur finale de 1,5199 Kg eau/Kg MS. Après une durée de 56h de séchage intermittent. Il a été noté que plus le temps de séchage augmente, plus la teneur en diminue. En d'autres termes, les pertes en eau de la prune noire augmente progressivement avec l'augmentation du temps de séchage.

Quant à l'évolution de la vitesse de séchage en fonction du temps, elle est représentée par la **figure 20**. L'analyse de cette figure montre que la vitesse de séchage diminue avec l'augmentation du temps de séchage.

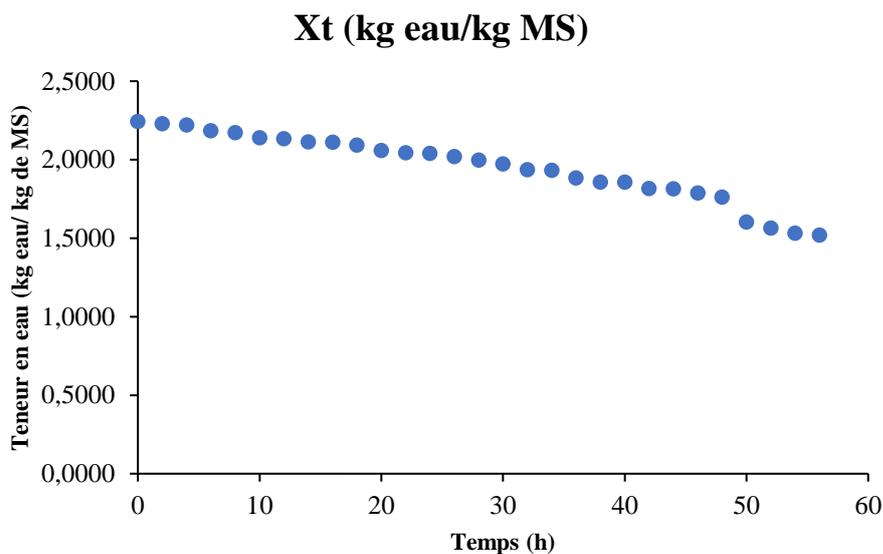


Figure 19: Evolution de la teneur en eau en fonction du temps de séchage de la prune noire

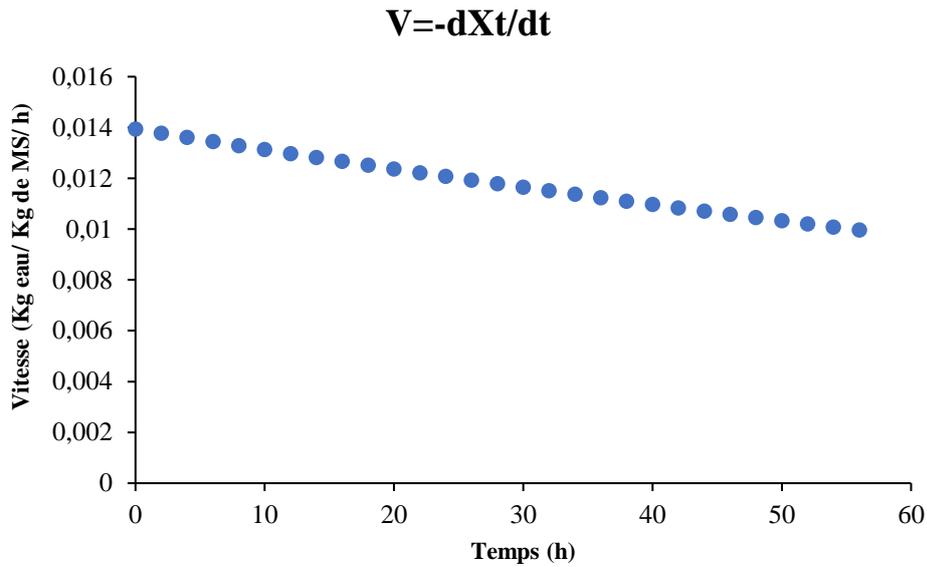


Figure 20: Evolution de la vitesse de séchage en fonction du temps de séchage de la prune noire

2.1.2. Evolution de la vitesse de séchage en fonction de la teneur en eau

Les résultats de l'évolution de la vitesse de séchage de la prune noire en fonction de la teneur en eau de cette dernière, sont résumés à la **figure 21**. Leur analyse révèle que la vitesse de séchage augmente concomitamment avec la teneur en eau des fruits.

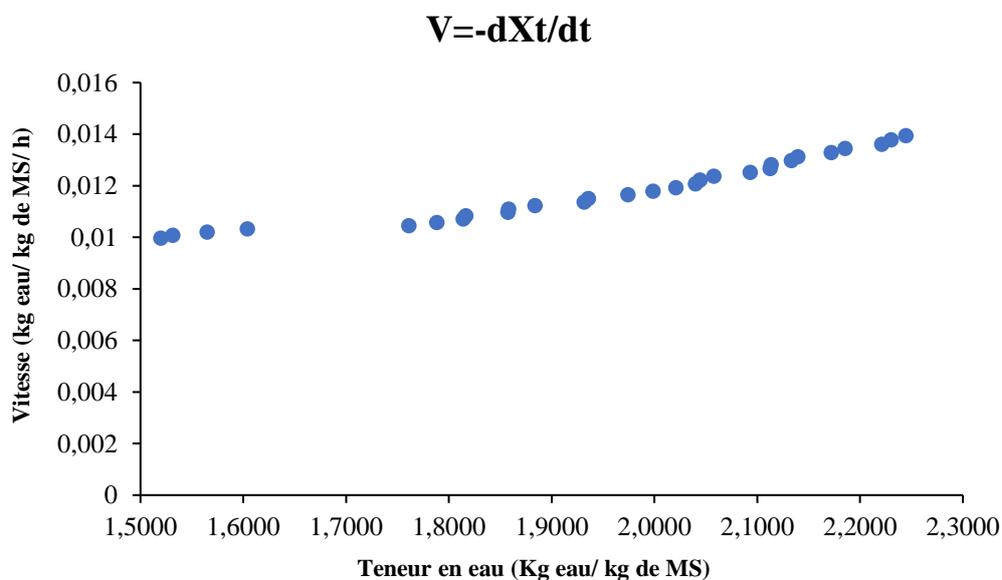


Figure 21: Evolution de la vitesse de séchage en fonction de la teneur en eau de la prune noire

2.1.3. Evolution de l'activité de l'eau en fonction du temps de séchage

L'analyse de l'évolution de l'activité en eau en fonction du temps de séchage révèle que l'activité de l'eau de la prune noire oscille entre 0,8 et 0,95 avec l'augmentation du temps (Figure 22).

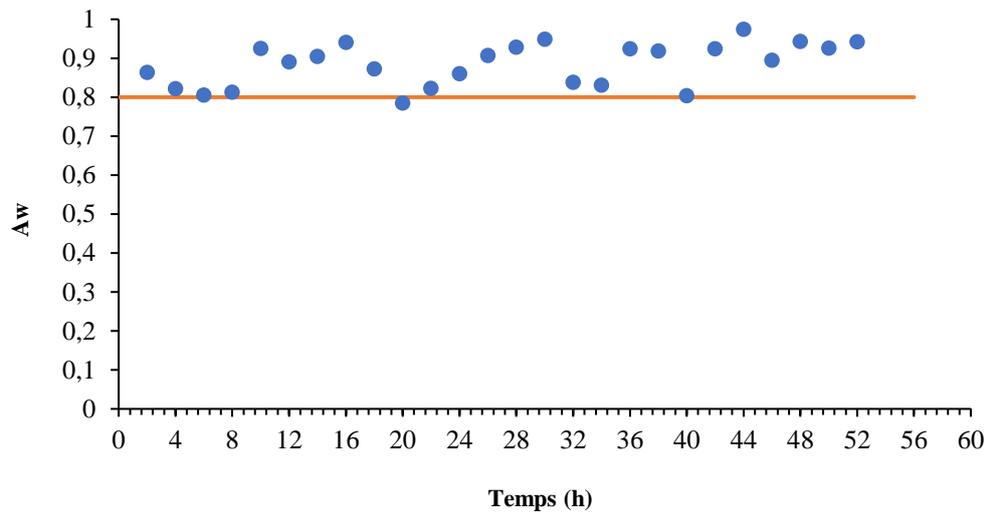


Figure 22: Evolution de l'activité de l'eau en fonction du temps de séchage de la prune noire

2.2. DISCUSSION

Le séchage d'un produit consiste à extraire de celui-ci un solvant qui est dans la plupart des cas l'eau, par évaporation et élimination de la phase gazeuse (**Léonard, 2002**). Ainsi, les différentes courbes de séchage d'un produit informent sur le mécanisme de séchage de ce dernier.

De l'étude de la cinétique de séchage de la prune noire, il ressort que la teneur en eau de la prune noire décroît avec le temps de séchage. Cette évolution de la teneur en eau en fonction du temps de séchage est conforme à la cinétique de séchage (**Purkayastha et Nath, 2013; Badaoui et al., 2019**). De leur teneur en eau initiale qui était de 2,2446 Kg eau/Kg MS, les fruits sont passés à une teneur en eau finale de 1,5199 Kg eau/Kg MS. Le constat de la présence de l'unique phase II et l'absence des deux autres phases du séchage notamment les phases 0 et I, dans l'évolution de la vitesse de séchage des fruits avec le temps de séchage, concorde avec les résultats obtenus dans de nombreux cas de séchage de végétaux notamment le thymus, la tomate, les feuilles de romarin, la citrouille, l'olive, la mangue etc... (**Goyal et al., 2006; Doymaz, 2007; Boughali et al., 2008; Idlimam et al., 2008; Lahnine et al., 2015; Badaoui et al., 2019**). Selon **Badaoui et al. (2019)**. Cette évolution particulière de la vitesse de séchages est habituellement observée pour les produits agricoles. Cela serait probablement dû à la structure des produits agricoles. Car, selon **Boughali et al. (2008)**, les parois cellulaires perturbent la migration rapide de l'eau des produits vers l'extérieur. Par ailleurs, la haute vitesse de séchage au début du processus suivi de la baisse de celle-ci, pourrait s'expliquer par la teneur en eau libre des produits agricoles (**Doymaz, 2004; Goyal et al., 2006; Doymaz, 2007; Rapusas et Driscoll, 2007; Lahnine et al., 2015**). En effet, au début du séchage des produits, l'eau présente à leur surface est en premier éliminée par évaporation. Une évaporation qui ne requiert pas beaucoup d'énergies. Ce qui justifie la vitesse de séchage élevée au début du séchage. Cependant, au cours du séchage, après élimination de la totalité de l'eau disponible à la surface, l'eau situé à l'intérieur des produits diffuse de l'intérieur vers la surface de ceux-ci. Ainsi, la diffusion de cette eau liée ou fortement liée, nécessite assez de temps et d'énergies. D'où la baisse de la vitesse de séchage des produits (**Aghfir et al., 2007; Lahnine et al., 2015**). L'activité d'eau d'un produit traduit la teneur en eau libre ou disponible de celui-ci. Celle de la prune noire a oscillé entre 0,95 et 0,8 au cours du séchage. Cette activité de l'eau de la prune noire toujours supérieure à 0,8 tout le long du séchage pourrait s'expliquer par la présence de cire dans sa cuticule. D'ailleurs, selon **Lecomte (2009)**, les parties aériennes des plantes

notamment les feuilles, les tiges et les fruits sont couvertes de cire. Ainsi, ce composé confère à la cuticule la capacité à empêcher la perte en eau de ces parties.

- **Conclusion partielle**

La perte en eau de la prune noire après 56h de séchage intermittent sous serre était de 32,28 %. Par ailleurs, l'activité de l'eau dans les fruits après séchage était toujours supérieure à 0,8. Eu égard ce constat, il serait nécessaire de procéder à un prétraitement des fruits avant séchage afin de non seulement permettre un séchage rapide de ceux-ci, mais encore, de préserver leurs caractéristiques organoleptiques.

III. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET PHYSICOCHIMIQUES DE LA PRUNE NOIRE ET DE SA GRAINE

3.1. RESULTATS

3.1.1. Caractéristiques morphologiques et coloration de la prune noire et de sa graine

3.1.1.1. Caractéristiques morphologiques de la prune noire et de sa graine

Les **tableaux 11** et **12** représentent respectivement les caractéristiques morphologiques de la prune noire. La prune noire issu du département de Bondoukou, a une longueur moyenne de $2,46 \pm 0,35$ cm, une largeur de $2,18 \pm 0,31$ cm et une épaisseur moyenne de $2,18 \pm 0,31$ cm. Sa circonférence, son indice de calibre, son indice de sphéricité et son aspect ratio sont respectivement de $7,83 \pm 2,33$ cm, $3,42 \pm 0,60$, $62 \pm 7,00$ % et $89,84 \pm 14,22$ % (**Tableau 11**).

A l'intérieur du fruit, se trouve une graine de longueur moyenne $1,81 \pm 0,30$ cm, de largeur moyenne $1,40 \pm 0,29$ cm et de circonférence $5,60 \pm 0,47$ cm (**tableau 11**). Cette graine de masse moyenne $3,33 \pm 0,76$ g, représente $31,57 \pm 9,64$ % de la masse totale de la prune noire estimée à $10,55 \pm 2,21$ g (**Tableau 12**).

Quant aux valeurs massiques de la pelure et la pulpe, elles sont respectivement de $1,34 \pm 0,42$ g et $6,20 \pm 2,03$ g. Celles-ci représentent respectivement $13,054 \pm 4,41$ et $57,38 \pm 9,64$ % de la masse totale du fruit. La pulpe est donc la partie fondamentale de la prune noire. Une fois mûr, il a un volume de $0,10 \pm 0,03$ cm³ et une masse volumique de $121,33 \pm 55,44$ g/cm³ (**Tableau 12**).

Tableau 11: Caractéristiques morphologiques de la prune noire.

Paramètres statistiques	Grandeurs morphologiques du fruit							Grandeurs morphologiques de la graine		
	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Epaisseur (cm)	Circonférence (cm)	Ic	Is (%)	Ra (%)	Longueur	Largeur	Circonférence
Moyenne	2,46	2,18	2,18	7,83	3,42	62	89,84	1,81	1,40	5,60
Ecart - types	0,35	0,31	0,31	2,33	0,60	7,00	14,22	0,30	0,29	0,47
CV (%)	14,23	14,22	14,22	29,76	17,54	11,29	15,82	16,57	20,71	8,39

n= 71x3 (Résultats obtenus à partir de 3 fois 71 fruits), CV : coefficient de variation.

Tableau 12: Valeurs massique de la prune noire entière et de ses différentes parties

Paramètres statistiques	Grandeurs massiques								
	MFr (g)	MPe (g)	MPu (g)	MGr (g)	PPu (%)	PPe (%)	PGr (%)	VFr (cm ³)	ρ (g/cm ³)
Moyenne	10,55	0,95	6,20	3,33	57,38	9,05	31,57	0,10	121,33
Ecart-type	2,21	0,42	2,03	0,76	10,66	4,41	9,64	0,03	55,44

n= 71x3 (Résultats obtenus à partir de 3 fois 71 fruits) ; MFr : Masse de la prune noire entière ; MPe : Masse de la pelure de la prune noire; MPu : Masse de la pulpe ; MGr : Masse de la graine ; PPe : Proportion de la pelure ; PPu : Proportion de la pulpe ; PGr : Proportion de la graine ; VFr : Volume de la prune noire ; ρ : Masse volumique de la prune noire (Densité spécifique).

3.1.1.2. Coloration de la prune noire

Les résultats des différents tests de coloration sont consignés dans le **tableau 13**.

Parlant des indices de chromaticité, la prune noire a une valeur du paramètre a* positive (21,91±3,14) qui correspond à une dominance rouge puis celle du paramètre b* négative (-21,36±2,19), traduit une dominance bleue. A propos de la luminosité, la valeur du paramètre L* (3,56±0,82) de la prune noire est proche de zéro (noir). Ceci indique que la prune est très sombre. Concernant la teinte de l'angle et la Chroma, les valeurs moyennes sont respectivement de 38,92°±8,991° et 475,34±102,33. Ces valeurs révèlent que la prune noire est de coloration rouge-violet (angle de teinte plus proche de 0°) hautement saturée donc d'une forte intensité (**Tableau 13**).

Tableau 13: Chromaticité et luminosité (CIE, Lab) de la prune noire

	Indice de chromaticité a*	Indice de chromaticité b*	Indice de luminosité L*	Chroma C*	Angle de teinte h* (°)
M	21,91	-21,36	3,59	475,34	38,92
(σ)	(3,14)	(2,19)	(0,82)	(102,55)	(8,99)

M= moyenne; σ : écart type

3.1.2. Composition chimique de la prune noire : pulpe et pelure

3.1.2.1. Teneur en eau, pH, Acidité totale et extrait sec refractométrique, de la pulpe de la prune noire.

Les valeurs moyennes des teneurs en eau, du pH, de l'acidité totale et de l'extrait sec réfractométrique (ESR) des échantillons de pulpes et de pelures de prunes noires sont présentées dans le **tableau 14**. Ces différents paramètres étudiés présentent tous des valeurs moyennes variables d'une localité à autre.

Les valeurs moyennes du pH sont de façon générale comprises entre $4,6 \pm 0,10$ et $5,05 \pm 0,01$. Les plus élevés correspondent aux fruits issus de Yamoussoukro et Tiébissou. Cependant, ces prunes sont acides.

S'agissant de l'acidité totale et de l'ESR, les valeurs moyennes sont respectivement de $207,67 \pm 3,055$ meq/100 g de MF et de $21,32 \pm 2,542$ °B. Mais, l'acidité totale et l'ESR des prunes noires issus de Ferkéssédougou et Tiébissou ne présentent aucune différence significative au seuil de $\alpha = 5\%$.

En ce qui concerne la teneur en eau des prunes noires, les valeurs moyennes oscillent entre $69,73 \pm 0,404$ à $92,56 \pm 0,371$ % de MF. La valeur moyenne des teneurs en eau des prunes issus de Yamoussoukro est supérieure à celles des prunes provenant de Tiébissou et Yamoussoukro.

Tableau 14: Caractéristiques physicochimiques de la prune noire issus de trois localités de la Côte d'Ivoire.

Localités	Constituants					
	Période de maturité	Acidité Totale (meq/100 g de MF)	ESR (°B)	Humidité (% MF)	Matières sèches (% MF)	pH
Ferkéssédougou	Août	191,33 ± 1,155 ^a	17,47 ± 1,530 ^a	78,53 ± 1,405 ^a	21,47 ± 1,405 ^a	4,6 ± 0,100 ^a
Tiébissou	Septembre	191,40 ± 2,309 ^a	18,30 ± 3,840 ^a	69,73 ± 0,404 ^b	30,27 ± 0,404 ^b	5 ± 0,045 ^b
Yakro	Octobre	207,67 ± 3,055 ^b	21,32 ± 2,542 ^b	92,56 ± 0,371 ^c	7,44 ± 0,371 ^c	5,05 ± 0,012 ^b

Résultats en moyenne ± Ecartype des mesures en triple ; Yakro = Yamoussoukro. Par colonne, les moyennes portant des différentes présentent des différences significatives entre elles au seuil de 5%.

3.1.2.2. Composition nutritive de la pulpe et de la pelure de la prune noire

Les compositions nutritives de la pulpe et de la pelure de la prune noire révèlent les résultats résumés dans les **tableaux 15 et 16** et par les **figures 22, 23 et 24**. Les teneurs en cendre de la pulpe des fruits issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro sont respectivement de $5,91 \pm 0,41$, $5,76 \pm 0,83$ et $4,91 \pm 0,45$ % de MS. S'agissant de la pelure des fruits, les valeurs de la teneur en cendres sont de $4,16 \pm 0,81$ (Ferkéssédougou), de $4,28 \pm 0,20$ (Tiébissou) et de $4,18 \pm 0,07$ % de MS (Yamoussoukro). Ces valeurs moyennes des différentes teneurs en cendres ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$) d'une localité à une autre et quelle que soit la partie du fruit. Par ailleurs, les valeurs de cendres des pulpes de Ferkéssédougou et Tiébissou sont plus élevées que celles de leur pelure. Les taux de cendre obtenu pour la pelure des fruits sont de $4,16 \pm 0,81$, $4,28 \pm 0,20$ et $4,18 \pm 0,07$ % de MS pour les prunes noires respectivement de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro (**Figure 22**).

En ce qui concerne la teneur en protéines, aucune différence significative ($P < 0,05$) n'est observée entre les pulpes des fruits étudiés. Ces valeurs varient de $2,11 \pm 0,15$ à $2,28 \pm 0,16$ % de MS. Par contre, la pelure des fruits issus de Yamoussoukro montre une teneur plus élevée ($2,61 \pm 0,07$ % de MS) en ce paramètre, que celles de Ferkéssédougou et Tiébissou respectivement de $2,35 \pm 0,10$ et $2,40 \pm 0,13$ % de MS. Toutefois, les pelures des fruits issus de ces deux dernières localités (Ferkéssédougou et Tiébissou) présentent des quantités plus élevées de protéines que les pulpes (**Figure 22**).

Quant à la teneur en lipides des pulpes de la prune noire, elles varient de $0,20 \pm 0,03$ à $0,66 \pm 0,16$ % de MS. Les pulpes des fruits issus de Ferkéssédougou ($0,66 \pm 0,16$ % de MS) et Yamoussoukro ($0,55 \pm 0,01$ % de MS) sont celles ayant le contenu en matières grasses le plus élevées. Cependant, au niveau des pelures, aucune différence significative ($P < 0,05$) n'est observée. Les valeurs sont comprises entre $0,97 \pm 0,37$ et $1,46 \pm 0,33$ % de MS. Notons que les pulpes des fruits de Yamoussoukro présentent des teneurs en matières grasses relativement faibles par rapport à leur pelure. Contrairement aux pulpes et pelures des fruits de Tiébissou et Yamoussoukro les teneurs en matières grasses des pulpes et des pelures des fruits issus de Ferkéssédougou sont significativement les mêmes avec taux moyen d'environ 0,95 % de MS (**Figure 23**).

Parlant de la teneur en glucides totaux, les pulpes des fruits issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro contiennent des valeurs moyennes respectives de $7,94 \pm 0,36$, $7,58 \pm 0,21$ et $8,77 \pm 0,17$ % de MS. La plus riche en ce composant est la pulpe des fruits issus de Yamoussoukro. Dans les pelures, la teneur moyenne en glucides totaux ($6,49 \pm 0,00$ % de MS) la plus élevée, est observée dans des fruits de la localité de Ferkéssédougou. Les pelures des fruits issus de Tiébissou et Yamoussoukro contiennent en moyenne 4,36 % de glucides. Toutefois, la pulpe de ce fruit, reste la partie contenant le plus de glucides quelle que soit la localité (**Figure 23**).

Au niveau des fibres alimentaires, il est constaté que ce composé est majoritairement contenu aussi bien dans la pulpe que dans la pelure. La teneur en fibres de la prune noire varie de $34,79 \pm 0,07$ à $39,83 \pm 1,85$ % de MS pour les pulpes et de $46,38 \pm 0,09$ à $50,21 \pm 1,07$ % de MS pour les pelures. Outre la pulpe et la pelure des fruits issus de Yamoussoukro qui ne présentent aucune différence significative ($P > 0,05$), les pelures des fruits issus de Ferkéssédougou et Tiébissou sont plus riches en fibres que les pulpes (**Figure 23**).

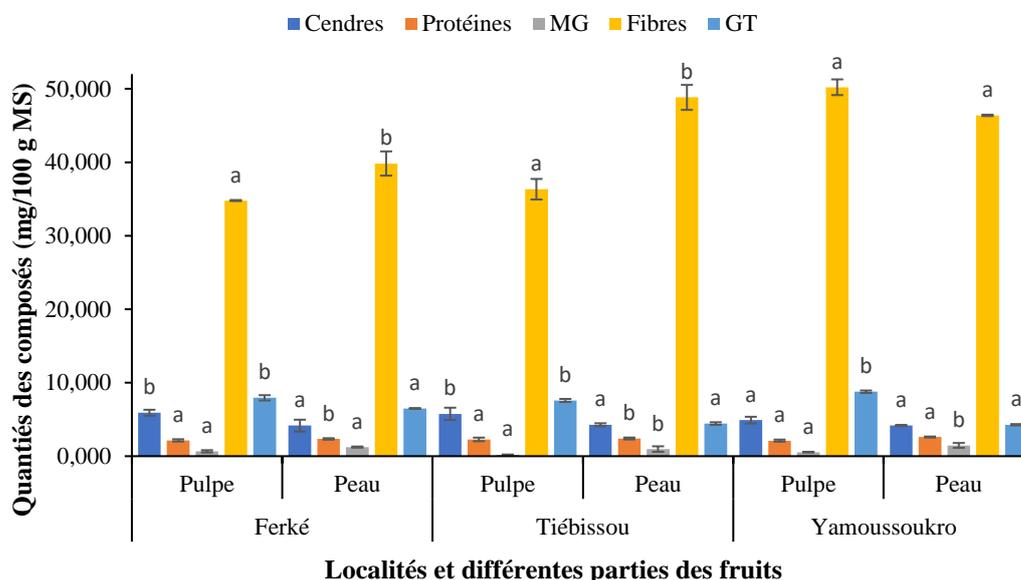


Figure 23: Etude comparative de certains composants nutritionnels de la pulpe et de la pelure de la prune noire issu de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro

Les histogrammes (représentant les moyennes) de même couleur portant des lettres différentes présentent des différences significatives entre eux au seuil de 5%.

Les résultats de l'analyse des teneurs moyennes en 17 acides aminés et la comparaison des différents pourcentages d'acides aminés essentiels sont consignés dans les **tableaux 15 et 16**. On note dans le tableau 15, l'absence de la glutamine, de l'asparagine et du tryptophane dans la pulpe et la pelure de la prune noire. Toutefois, il a été observé la présence des autres acides aminés. Ainsi, les acides aminés dominants dans les pulpes des prunes des différentes localités sont l'acide glutamique et l'acide aspartique dont la teneur moyenne est de 0,27 mg/100g de MS (**Tableau 15**). Cependant, la thréonine et la proline sont les acides aminés dominants dans les pelures de la prune noire avec des teneurs moyennes respectivement de 0,29 et 0,27 mg/100g de MS (**Tableau 15**).

En comparant les pourcentages des acides aminés essentiels à ceux d'une protéine standard selon l'OMS, comme indiqué dans le **tableau 16**, l'on constate que les protéines contenues dans les pulpes et les pelures de la prune noire se comparent bien au profil en acides aminés de cette dernière. Dans la protéine des pulpes, seuls deux des acides aminés ou des paires d'acides aminés ont des scores inférieurs à 100%, qui ne diffèrent de la protéine standard que de quelques points de pourcentage (méthionine / cystéine) ou d'environ 50% (lysine).

Cependant, au niveau des pelures, trois de leurs acides aminés diffèrent de ceux de la protéine standard. Ce sont entre autres, l'isoleucine (47,82 % – 80,42 %), la lysine (41,60 % - 51,62 %) et la valine (30,80 % - 41,43 %). Outre les fruits issus de Yamoussoukro, les pulpes des fruits (Ferkéssédougou et Tiébissou), sont plus riches en thréonine, histidine et méthionine que leurs pelures (**annexe 3**). Ces dernières sont plutôt riches en valine et leucine.

Tableau 15: Teneur en acides aminés (mg/100g de MS) de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro

Acides aminés	Pulpe			Pelure		
	Ferkéssédougou	Tiebissou	Yakro	Ferkéssédougou	Tiebissou	Yakro
Acides aminés essentiels						
Thréonine	0,13 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,00 ^a	0,12 ± 0,01 ^a	0,29 ± 0,02 ^a	0,28 ± 0,01 ^a	0,30 ± 0,00 ^a
Valine	0,17 ± 0,00 ^a	0,18 ± 0,00 ^a	0,17 ± 0,01 ^a	0,06 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,02 ^a	0,07 ± 0,03 ^a
Méthionine	0,05 ± 0,00 ^a	0,06 ± 0,02 ^a	0,07 ± 0,00 ^a	0,17 ± 0,01 ^{ab}	0,18 ± 0,00 ^a	0,19 ± 0,01 ^b
Isoleucine	0,12 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	0,13 ± 0,00 ^a	0,06 ± 0,01 ^{ab}	0,04 ± 0,01 ^a	0,07 ± 0,01 ^b
Leucine	0,21 ± 0,00 ^a	0,22 ± 0,01 ^a	0,20 ± 0,00 ^a	0,13 ± 0,00 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,02 ^a
Phénylalanine	0,07 ± 0,01 ^a	0,20 ± 0,00 ^c	0,08 ± 0,01 ^b	0,09 ± 0,00 ^a	0,10 ± 0,00 ^a	0,10 ± 0,00 ^a
Histidine	0,07 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,00 ^a	0,18 ± 0,04 ^b	0,20 ± 0,00 ^a	0,20 ± 0,01 ^a	0,20 ± 0,01 ^a
Lysine	0,07 ± 0,00 ^a	0,09 ± 0,00 ^b	0,07 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,01 ^a
Acides aminés non essentiels						
Aspartate	0,26 ± 0,01 ^a	0,29 ± 0,01 ^a	0,26 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,02 ^a	0,04 ± 0,00 ^a
Sérine	0,14 ± 0,00 ^b	0,16 ± 0,00 ^b	0,12 ± 0,00 ^a	0,14 ± 0,00 ^a	0,14 ± 0,00 ^a	0,14 ± 0,01 ^a
Glutamate	0,26 ± 0,01 ^a	0,30 ± 0,01 ^b	0,26 ± 0,00 ^a	0,17 ± 0,00 ^a	0,17 ± 0,00 ^a	0,17 ± 0,01 ^a
Proline	0,15 ± 0,04 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,28 ± 0,01 ^a	0,29 ± 0,01 ^a	0,29 ± 0,00 ^a
Glycine	0,13 ± 0,00 ^a	0,14 ± 0,00 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,16 ± 0,00 ^a	0,15 ± 0,03 ^a	0,15 ± 0,02 ^a
Alanine	0,13 ± 0,00 ^a	0,16 ± 0,00 ^b	0,12 ± 0,00 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,16 ± 0,00 ^b	0,15 ± 0,00 ^{ab}
Cystéine	0,08 ± 0,01 ^a	0,07 ± 0,02 ^a	0,13 ± 0,00 ^b	0,14 ± 0,00 ^a	0,15 ± 0,00 ^a	0,15 ± 0,00 ^a
Tyrosine	0,10 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,00 ^a	0,20 ± 0,00 ^b	0,22 ± 0,01 ^a	0,23 ± 0,01 ^a	0,24 ± 0,00 ^a
Lysine	0,07 ± 0,00 ^a	0,09 ± 0,00 ^b	0,07 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,01 ^a
Arginine	0,11 ± 0,01 ^b	0,12 ± 0,01 ^b	0,08 ± 0,00 ^a	0,09 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,01 ^a	0,07 ± 0,00 ^a
ΣProtéines (mg.100⁻¹de MS)	2,25	2,59	2,26	2,47	2,46	2,56

Les résultats sont exprimés comme la moyenne ± écartype de trois extractions et déterminations distinctes. Les données ont été analysées par ANOVA et, dans chaque ligne de chaque groupe (pulpe et pelure), des lettres différentes indiquent des valeurs statistiquement différentes selon la comparaison Tuckey HSD à p < 0,05 ; **MS** : Matière sèche

Tableau 16: Teneur en acides aminés essentiels de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro comparées à celle de la protéine « Idéal » selon l’OMS

Acides aminés	Pulpe						Pelure						OMS Protéine Idéal
	Ferkéssédougou		Tiébissou		Yakro		Ferkéssédougou		Tiébissou		Yakro		
	% d’AA Total	(%AA) *100% idéal											
Thr	5.78	206.35	5.41	193.05	11.50	410.87	11.74	419.32	11.38	406.50	11.72	418.53	2.8
Val	7.56	114.48	6.95	105.30	3.10	46.93	2.43	36.81	2.03	30.80	2.73	41.43	6.6
Met+ Cys	5.78	99.62	4.63	79.88	7.96	137.32	7.69	132.63	8.13	140.17	7.81	134.70	5.8
Phe + Thr	8.89	355.56	8.11	324.32	14.60	584.07	14.57	583.00	14.23	569.11	14.45	578.13	2.5
Lys	3.11	49.38	3.47	55.16	3.10	49.16	3.24	51.41	3.25	51.62	3.13	49.60	6.3
Ile	5.33	156.86	5.41	158.98	3.10	91.10	2.43	71.45	1.63	47.82	2.73	80.42	3.4
Leu	9.33	266.67	8.49	242.69	5.75	164.35	5.26	150.38	5.69	162.60	5.86	167.41	3.5

Abbréviations des acides aminés : Thr = Thréonine ; Val = valine ; Met + Cys = Méthionine + Cystéine ; Phe + Thr = Phénylalanine + Thréonine ; Lys = Lysine ; Ile = Isoleucine ; Leu = Leucine.

AA : acides aminés

OMS (1985) : Organisation Mondiale de la Santé

Les teneurs en macro et micro minéraux de la pelure et de la pulpe de la prune noire issues des trois localités de la Côte d'Ivoire sont présentées sur la **figure 24**. Les résultats indiqués dans ce tableau montrent que, concernant les macro-minéraux, tous les échantillons analysés contiennent des quantités élevées de potassium (K), suivi du calcium (Ca), du magnésium (Mg), du Phosphore (P) et de sodium (Na). Les teneurs en K et Ca varient respectivement de $2155,50 \pm 4,95$ à $2584,55 \pm 3,54$ mg/100g de MS et de $1863,00 \pm 1,41$ à $2283 \pm 1,41$ mg / 100 g de MS, de $301,50 \pm 2,12$ à $325,50 \pm 0,00$ mg/100g de MS et de $355,30 \pm 2,52$ à $389,52 \pm 3,54$ mg / 100 g de MS (**Figure 24**).

Quant au Ca, les concentrations dans les pulpes sont significativement les identiques ($P > 0,05$). Par contre, la concentration de Ca est plus élevée dans la pelure ($389,52 \pm 3,54$ mg/100g de MS) des fruits de Yamoussoukro, tandis qu'elle est plus faible dans celle ($355,30 \pm 2,52$ mg/100 g de MS) des fruits de Tiébissou. De plus, il ressort de cette même figure que, les pelures de la prune noire contiennent plus de Ca que leur pulpe, à l'exception de la pulpe et de la pelure de Tiébissou qui ne présentent aucune différence significative ($P > 0,05$).

Concernant les teneurs en Mg, il n'existe aucune différence significative ($P > 0,05$), ni entre les pulpes, ni entre les pelures. La comparaison des teneurs en Mg des pulpes et des pelures ne montre également aucune différence entre elles (**Figure 24**).

Les deux parties étudiées des fruits de Tiébissou et la pelure des fruits de Yamoussoukro présentent les valeurs moyennes les plus élevées en P et les plus basses en Na. Quant aux pulpe et la pelure des fruits de Ferkéssédougou, elles présentent respectivement les teneurs moyennes minimales en P et maximales en Na. Parmi les macro-minéraux contenus dans la prune noire, le sodium demeure le macro-minéral minoritaire (**Figure 24**).

La pulpe et la pelure des fruits de Tiébissou et Yamoussoukro sont plus riches en K ($2155,50 \pm 4,95$ et $1863,00 \pm 1,41$ mg / 100 g de MS) contrairement à celle de Ferkéssédougou (). Les teneurs moyennes en Mg, en P et en Na varient respectivement de $221,00 \pm 1,41$ à $255,5 \pm 2,12$, de $118,00 \pm 0,71$ à $179,00 \pm 2,83$ et de $38,30 \pm 7,77$ à $53,33 \pm 1,53$ mg / 100 g de MS pour les pulpes et de $199,67 \pm 1,15$ à $250,00 \pm 2,83$, de $105,50 \pm 2,12$ à $142,00 \pm 1,41$ et de $39,70 \pm 5,69$ à $62,31 \pm 2,08$ mg / 100 g de MS pour la pulpe (**Figure 24**).

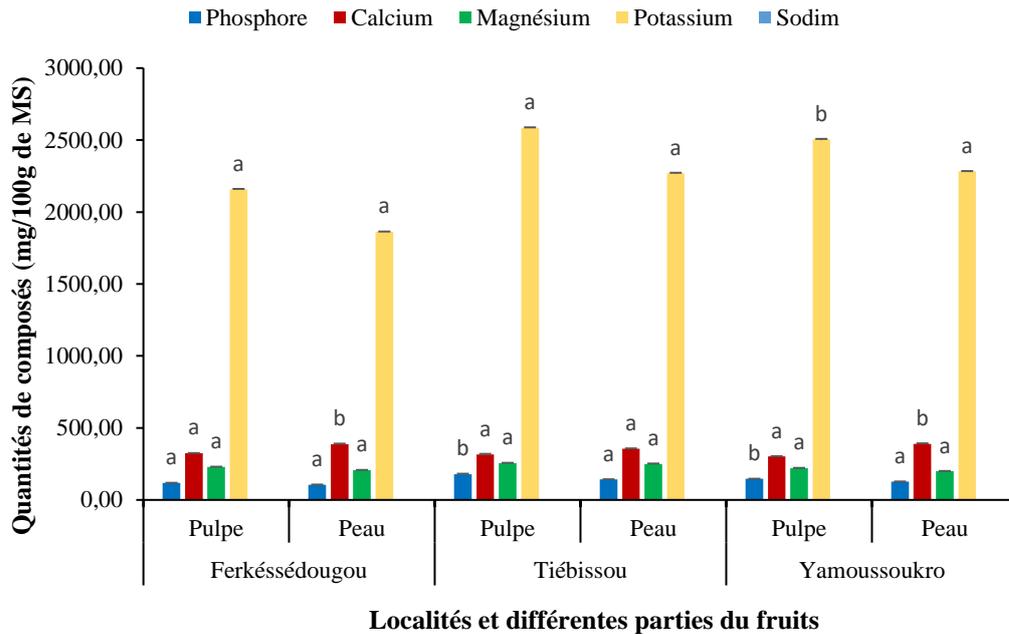


Figure 24: Etude comparative de la teneur en macro-minéraux de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro.

Les histogrammes (représentant les moyennes) de même couleur portant des lettres différentes présentent des différences significatives entre eux au seuil de 5%.

S'agissant des micro-minéraux contenus dans la pulpe et la pelure de la prune noire, le fer en est le principal micro-minéral (Fe), suivi du Manganèse (Mn) et du Zinc (Zn).

Les valeurs en Fe, Mn et en Zn dans la pulpe de ces fruits varient respectivement de $15,30 \pm 0,42$ à $46,75 \pm 0,92$ mg/100 g de MS, de $2,23 \pm 0,25$ à $3,43 \pm 0,07$ mg/100 g de MS et de $0,97 \pm 0,06$ à $1,11 \pm 0,06$ mg/100 g de MS (**Figure 25**). Les valeurs les plus élevées sont observées dans la pulpe des fruits de Yamoussoukro ($46,75 \pm 0,92$ mg/100 g de MS) pour le Fe et dans la pulpe de Ferkéssédougou pour le Mn ($3,43 \pm 0,07$ mg/100 g de MS). Cependant, les pulpes ne présentent aucune différence significative ($P > 0,05$) entre elles en ce qui concerne le Zn. A propos du Zn, du Fe et du Mn, les pelures présentent des valeurs moyennes sont comprises respectivement entre $1,00 \pm 0,00$ et $1,07 \pm 0,15$ mg/100 g de MS, $9,20 \pm 0,57$ et $42,77 \pm 0,57$ mg/100g de MS et $2,93 \pm 0,51$ et $3,57 \pm 0,64$ mg/100 g de MS. Dans la pelure, les plus fortes valeurs en Fe sont contenues dans la prune de Tiébissou ($42,77 \pm 0,57$ mg/100 g de MS) (**Figure 25**).

Les teneurs en Zn et en Mn dans la pelure sont significativement identiques ($P > 0,05$). En définitive, les pulpes des fruits de Ferkéssédougou et Yamoussoukro et la pelure de ceux de

Tiébissou présentent des teneurs plus élevées en Fe. Cependant, aucune variation significative ($P>0,05$) n'est constatée entre les pulpes et les pelures des fruits issus de ces localités en ce qui concerne les teneurs en Zn et en Mn (**Figure 25**).

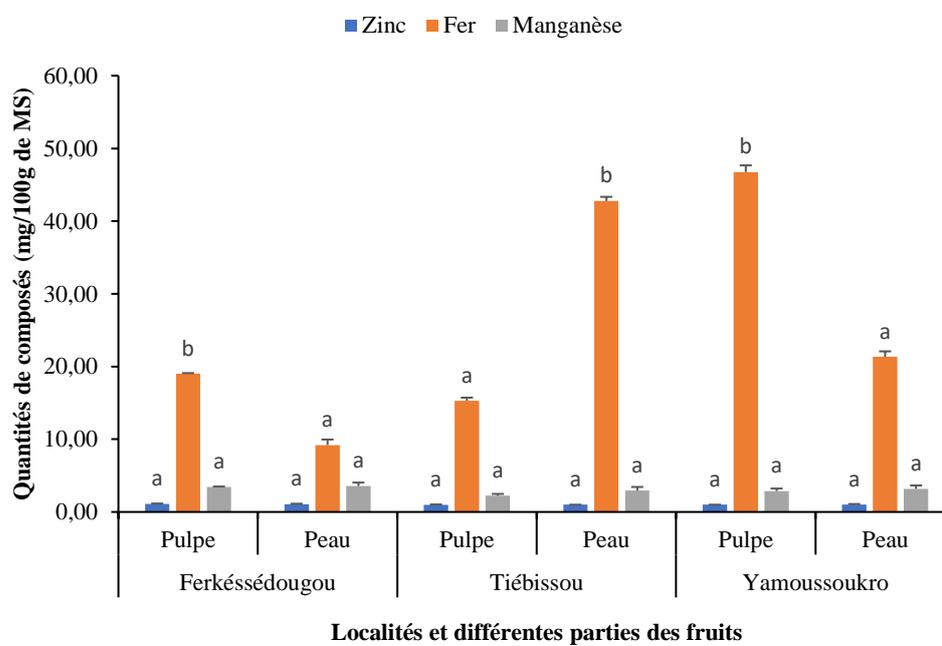


Figure 25: Etude comparative de la teneur en micro-minéraux de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro

Les histogrammes (représentant les moyennes) de même couleur portant des lettres différentes présentent des différences significatives entre eux au seuil de 5%.

3.1.2.3. Composition phytochimique et teneur en acides ascorbiques de la pulpe et de la pelure de la prune noire

3.1.2.2.1. Teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes, anthocyanes et acides ascorbiques

Le **tableau 17** présente les paramètres phytochimiques et la teneur en acide ascorbique de la pulpe et de la pelure de la prune issus des trois localités. Dans la localité de Ferkéssédougou, la pulpe et la pelure ont une teneur en polyphénols totaux comprise entre $225,84 \pm 5,89$ et $227,47 \pm 3,35$ mg GAE/100 g MS. De plus, avec des teneurs moyennes en flavonoïdes ($79,43 \pm 1,13$ et $103,86 \pm 0,66$ mg QE/100 g MS) et en anthocyanes ($5,52 \pm 0,91$ et $8,28 \pm 0,83$ mg C3GE/100g MS), la pulpe contient des quantités d'acide ascorbiques de l'ordre de $2,54 \pm 0,40$ mg/100g de MF.

En ce qui concerne la localité de Tiébissou, la pulpe et la pelure renferment des teneurs moyennes en polyphénols totaux respectivement de $202,51 \pm 4,19$ et $383,03 \pm 6,54$ mg GAE/100 g MS, en flavonoïdes ($75,71 \pm 1,03$ et $145,55 \pm 1,03$ mg QE/100 g MS) et en anthocyanes ($4,26 \pm 0,13$ et $5,83 \pm 0,67$ mg C3GE/100g MS). Ces pulpes contiennent une teneur en acide ascorbique de $2,08 \pm 0,64$ mg/100g de MF.

Au niveau de la localité de Yamoussoukro, les pulpes et pelures contiennent des teneurs moyennes en polyphénols totaux., en flavonoïdes et en anthocyanes qui varient respectivement de $259,75 \pm 2,81$ à $463,45 \pm 6,85$ mg GAE/100 g MS, de $77,95 \pm 0,72$ à $141,48 \pm 0,66$ mg QE/100 g MS et de $1,91 \pm 0,08$ à $6,99 \pm 0,97$ C3GE/100g MS. Ces pulpes présentent une teneur moyenne en acides ascorbiques ascorbiques de $2,54 \pm 0,40$ mg/100g de MF. Par ailleurs, la teneur totale en composés phénoliques des différentes localités est plus élevée dans les pelures que dans la pulpe, à l'exception de la pulpe et de pelure des fruits de Ferkéssédougou ayant significativement les mêmes teneurs de CPT ($P > 0,05$). La teneur en CPT dans la pelure des fruits de Tiébissou est 1,89 fois plus élevé que celle de la pulpe. La teneur en CPT dans la pelure des fruits de Yamoussoukro est 1,78 fois plus élevé que celui dans pulpe (**Tableau 17**).

Tableau 17: Teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes, anthocyanes et acides ascorbiques de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro

Echantillons	Polyphénols totaux (mg GAE/100 g MS)		Flavonoïdes totales (mg QE/100 g MS)		Flavonoïdes /Polyphénols totaux		Anthocyanes (mg C3GE/100g MS)		Anthocyanes /Polyphénols totaux		Acide ascorbiques (mg/100g de MF)	
	Pulpe	Pelure	Pulpe	Pelure	Pulpe	Pelure	Pulpe	Pelure	Pulpe	Pelure	Pulpe	Pelure
	Ferkéssédou	227,47 ± 3,35 ^b	225,84 ± 5,89 ^a	79,43 ± 1,13 ^b	103,86 ± 0,66 ^a	0,35	0,46	5,52 ± 0,91 ^b	8,28 ± 0,83 ^b	0,02	0,04	2,54 ± 0,40 ^a
Tiébissou	202,51 ± 4,19 ^a	383,03 ± 6,54 ^b	75,71 ± 1,03 ^a	145,55 ± 1,03 ^c	0,37	0,38	4,26 ± 0,13 ^b	5,83 ± 0,67 ^a	0,02	0,03	2,08 ± 0,64 ^a	nd
Yamoussoukro	259,75 ± 2,81 ^c	463,45 ± 6,85 ^c	77,95 ± 0,72 ^{ab}	141,48 ± 0,66 ^b	0,30	0,30	1,91 ± 0,08 ^a	6,99 ± 0,97 ^b	0,01	0,03	13,88 ± 2,77 ^b	nd

Les résultats sont exprimés comme la moyenne ± écartype de trois extractions et déterminations distinctes. Les données ont été analysées par ANOVA et, dans chaque colonne de chaque groupe (pulpe et pelure), des lettres différentes indiquent des valeurs statistiquement différentes selon la comparaison Tuckey HSD à p <0,05.

3.1.2.2.2. Identification et quantification des composés phénoliques dans les extraits de pulpes et de pelures de la prune noire

Pour l'identification des composés phénoliques présents dans les extraits de pulpes et de pelures de la prune noire desdites localités, un exemple du profil chromatographique HPLC/DAD est retenu (**annexe 5 et 6**). Sur les 32 standards utilisés pour l'identification, seulement huit composés (tous des phénols acides) sont identifiés. Ce sont entre autres l'acide gallique, l'acide protocatechique, l'acide p-hydroxybenzoïque, l'acide m-hydroxybenzoïque, l'acide caféique, l'acide chlorogénique, l'acide m-coumaric et l'acide cinnamique. Notons que, l'acide protocatéchiq (10,65 ± 2,00 à 465,61 ± 22,96 mg/100 g de MS), l'acide chlorogénique (1798,65 ± 25,08 à 68,93 ± 9,56 mg/100g de MS) et l'acide cinnamique (743,93 ± 22,60 – 1798,65 ± 25,08 mg/100 g de MS) sont les composés phénoliques identifiés dans tous les échantillons analysés (pulpes et pelures) (**Tableau 19**).

Il ressort de l'analyse du tableau que, les pulpes et les pelures présentent des profils pratiquement identiques entre eux. Cependant, de façon générale, les teneurs en éléments phénoliques diffèrent d'une localité à une autre et d'une partie de la prune noire à l'autre (**Tableau 19**).

La présence de l'acide m-hydroxybenzoïque (20,21 ± 5,50 mg/100 g de MS) n'est noté que dans la pulpe des fruits issus de Ferkéssédougou. De plus, l'acide gallique est identifié dans les pelures des fruits de Tiébissou (2581,83 ± 11,09 mg/100 g de MS) et Yamoussoukro (7770,14 ± 36,98 mg/100 g de MS) et l'acide m-coumaric dans la pulpe et la pelure respectivement de Tiébissou (34,20 ± 1,71 mg/100 g de MS) et Ferkéssédougou (5,77 ± 1,00 mg/100g de MS) (**Tableau 8**).

Par ailleurs, **le tableau 19** révèle aussi l'absence de l'acide p-hydroxybenzoïque et l'acide caféique respectivement dans la pelure des fruits de Yamoussoukro et la pulpe de ceux de Ferkéssédougou. Le composé phénolique majoritaire dans toutes les pulpes étudiées et dans la pelure des fruits issus de Ferkéssédougou est l'acide cinnamique. En ce qui concerne les pulpes, celle de Ferkéssédougou (1291,51 ± 1,52 mg/100g de MS) contient la plus grande teneur en acide cinnamique, ensuite vient celle de Tiébissou (1102,98 ± 5,50 mg/100 g de MS) et enfin celle de Yamoussoukro (743,93 ± 22,60 mg/100 g de MS). Toutefois, l'acide gallique est le

composé majoritairement présent dans les pelures des fruits de Tiébissou ($2581,83 \pm 11,09$ mg/100 g de MS) et de Yamoussoukro ($7770,14 \pm 36,98$ mg/100 g de MS) (**Tableau 19**)

Tableau 18: Analyse des composés phénoliques dans la pulpe et la pelure de la prune noire issus de trois (3) localités de la Côte d'Ivoire

Phenolics compounds (mg/100g MS)	Pulpe			Pelure		
	Ferkéssédougou	Tiébissou	Yakro	Ferkéssédougou	Tiébissou	Yakro
<i>Phenolics acids</i>						
Benzoic acid	nd	nd	nd	nd	nd	nd
O-hydroxybenzoic acid	nd	nd	nd	nd	nd	nd
m-hydroxybenzoic acid	20,21 ± 5,50	nd	nd	nd	nd	nd
p-hydroxybenzoic acid	Trace	26,13 ± 6,00 ^b	22,03 ± 2,45 ^b	17,36 ± 1,00 ^a	25,14 ± 5,23 ^b	nd
Protocatechuic acid	49,69 ± 3,78 ^b	13,61 ± 1,56 ^a	10,65 ± 2,00 ^a	67,88 ± 2,95 ^b	465,61 ± 22,96 ^c	13,52 ± 2,00 ^a
Gallic acid	nd	nd	nd	nd	2581,83 ± 11,09 ^a	7770,14 ± 36,98 ^b
Cinnamic acids	1291,51 ± 1,52 ^c	1102,98 ± 5,50 ^b	743,93 ± 22,60 ^a	1798,65 ± 25,08 ^c	936,18 ± 8,15 ^a	1069,73 ± 12,45 ^b
O-coumaric acid	nd	nd	nd	nd	nd	nd
m-coumaric acid	nd	34,20 ± 1,71	nd	5,77 ± 1,00	nd	nd
p-coumaric acid	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Caffeic acid	nd	24,34 ± 2,30 ^a	48,96 ± 10,09 ^c	16,02 ± 3,76 ^a	42,28 ± 4,12 ^b	32,28 ± 3,36 ^b
Syringic acid	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Chlorogenic acid	42,97 ± 3,21 ^a	60,18 ± 11,67 ^b	68,93 ± 9,56 ^c	48,07 ± 6,33 ^a	64,95 ± 2,08 ^b	52,71 ± 2,51 ^a
Ferulic acid	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Σ Phenolics acids	1459,92 ± 8,51	1235,31 ± 28,74	872,47 ± 46,7	1936,39 ± 40,12	4090,85 ± 53,63	8937,65 ± 57,3

Les résultats sont exprimés comme la moyenne ± écartype de trois extractions et déterminations distinctes. Les données ont été analysées par ANOVA et, dans chaque colonne de chaque groupe (pulpe et pelure), des lettres différentes indiquent des valeurs statistiquement différentes selon la comparaison Tuckey HSD à p < 0,05

Tableau 18 : Analyse des composés phénoliques dans la pulpe et la pelure de la prune noire issus de trois (3) localités de la Côte d'Ivoire (Suite)

<i>Flavonoids</i>						
Flavone	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Flavonol	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Quercetin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Rutin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Myricetin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Naringenin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Naringin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Catechins	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Catechin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Gallocatechin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Epicatechin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Epigallocatechin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Chalcone	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Phloridzin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Σ Flavonoïds	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00
<i>Anthocyanin</i>						
Cyanidin chlorid	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Σ Anthocyanins	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00
<i>Other phenols</i>						
Orcinol	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Eugenol	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Theobromine	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Σ Other phenols	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00	00 ± 00

3.1.2.2.3. Activités antioxydantes des extraits de pulpes et de pelures de la prune noire : capacité de piégeage du radical (DPPH) et capacité de réduction ferrique (FRAP)

3.1.2.2.3.1. Capacité de piégeage du radical (DPPH)

L'activité de piégeage des radicaux DPPH des extraits de pelures et de pulpes a été testée et comparée à l'activité de l'Acide Ascorbique (AA) et à celle de l'hydroxytoluène butylé (BHT) (**Figure 26 et 27**).

Il ressort de l'analyse de la figure 25 et 26 que, les extraits de pulpes et de pelures ont une capacité d'élimination des radicaux DPPH à toutes les concentrations. L'activité antiradicalaire des extraits de pelures de prune noire de Yamoussoukro et Tiébissou se comparent bien à celles de l'AA et du BHT à 0,8 et 1 mg/mL de polyphénols totaux. A partir d'une concentration de 0,8 mg/mL de polyphénols, Ces deux extraits inhibent les radicaux DPPH à plus de 70 % à partir de 0,8 mg/mL tandis que l'AA et le BHT piègent respectivement 95,5 et 93,5 % des radicaux DPPH. (**Figure 27**). Cela représente une différence de 11 à 25 % à des concentrations des extraits comprises entre 0,8 et 1 mg/mL.

A l'analyse des **figures 26 et 27**, il convient de noter que les extraits de pelures de la prune noire ont une activité antiradicalaire plus forte et donc un pouvoir antioxydant plus élevé que ceux des pulpes. De plus, les extraits de pelures présentent une activité antioxydante au moins 3 fois plus élevée que celles des extraits de pulpes (Tableau 20). Quant aux valeurs de IC₅₀ des pelures, elles varient de $0,48 \pm 0,01$ à $0,91 \pm 0,09$ mg/mL d'extraits tandis que celles des pulpes sont comprises entre $1,90 \pm 0,27$ et $2,13 \pm 0,18$ mg/mL (**Tableau 20**). Il existe cependant une différence significative ($P < 0,05$) entre les IC 50 des parties des fruits.

Parmi les pelures, celles ayant donc les plus fortes capacités antioxydantes sont issues de Tiébissou ($0,53 \pm 0,06$ mg/mL) et Yamoussoukro ($0,48 \pm 0,01$ mg/mL). Toutefois, aucune différence significative n'a été notée entre les IC 50 des pulpes ($P > 0,05$).

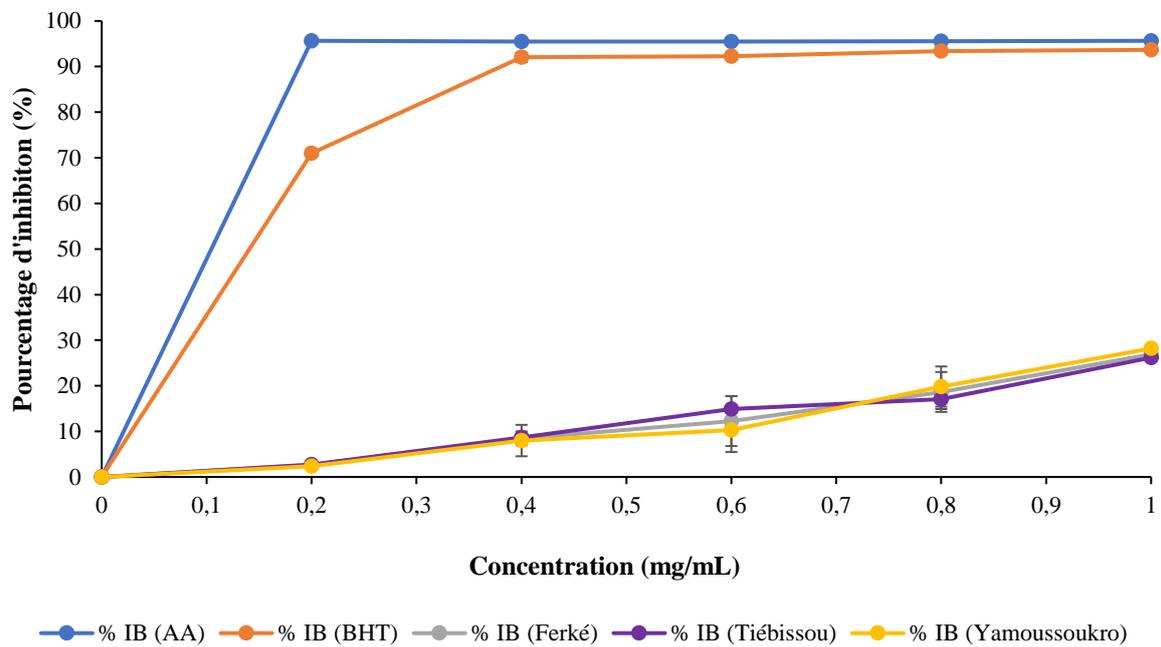


Figure 26: Activité antioxydante des extraits de pulpes de la prune noire issu de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro par DPPH

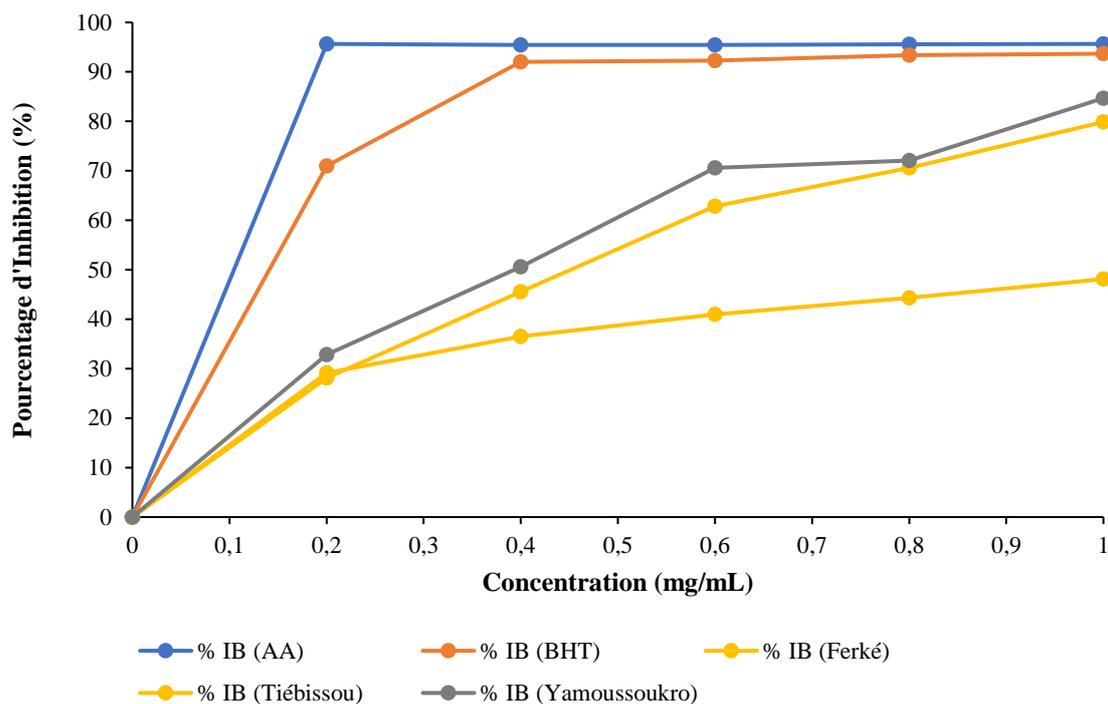


Figure 27: Activité antioxydante des extraits de pelures de la prune noire issu de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro par DPPH

Tableau 19: Activités antioxydantes des extraits de pulpes et de pelures de la prune noire exprimés en IC_{50} (mg/mL) et de mgAAE/g extrait sec.

Echantillons	IC_{50} (mg/mL)		mgAAE/g extrait sec	
	Pulpe	Pelure	Pulpe	Pelure
Ferkéssédougou	$1,90 \pm 0,27^a$	$0,91 \pm 0,09^a$	$5,80 \pm 0,00^a$	$10,89 \pm 0,00^a$
Tiébissou	$2,13 \pm 0,18^a$	$0,53 \pm 0,06^b$	$8,03 \pm 0,01^a$	$23,12 \pm 0,02^b$
Yamoussoukro	$1,94 \pm 0,06^a$	$0,48 \pm 0,01^b$	$9,11 \pm 0,01^a$	$27,67 \pm 0,03^b$

Les résultats sont exprimés comme la moyenne \pm écartype de trois extractions et déterminations distinctes. Les données ont été analysées par ANOVA et, dans chaque colonne de chaque groupe (pulpe et pelure), des lettres différentes indiquent des valeurs statistiquement différentes selon la comparaison Tuckey HSD à $p < 0,05$

3.1.2.2.3.2. Capacité de réduction ferrique (FRAP) et corrélation entre les teneurs en composés phénoliques et la capacité de réduction des extraits

La capacité de réduction des extraits de pulpes et de pelures par la méthode FRAP est représentée par la **figure 28**. Comme le montre cette figure, les activités antioxydantes des extraits de pulpes et de pelures augmentent avec celles de leurs concentrations.

Parlant du pouvoir réducteur ferrique, il existe une différence significative entre les extraits de pulpes et de pelures. Toutefois, les extraits de pulpes présentent des pouvoirs réducteurs ferriques identiques ($P > 0.05$) (Tableau 20). Leur pouvoir réducteur est en moyenne de $7,64 \pm 0,00$ mAAE/g extrait sec. Quant aux extraits de pelures, la capacité de réduction la plus élevée est observée dans les extraits de Yamoussoukro ($23,12 \pm 0,02$ mAAE/g extrait sec) et de Tiébissou ($27,67 \pm 0,03$ mAAE/g extrait sec). La faible capacité de réduction ferrique est exprimée par l'extrait de Ferkéssédougou ($10,89 \pm 0,00$ mAAE/g extrait sec) (**Tableau 20**).

La matrice de corrélation des composés phytochimiques caractérisant les pulpes et les pelures montre qu'il existe une relation significative entre les teneurs en composés phénoliques, flavonoïdes, anthocyanes et les différentes activités antioxydantes (**Tableau 21**). C'est ainsi qu'il y a une corrélation négative et significative entre la concentration d'extraits nécessaire pour piéger les radicaux libres de moitié (Coefficient de corrélation de Pearson égale à $-0,79$) et leur activité antiradicalaire. Ce qui signifie que les pulpes et les pelures caractérisés par un fort taux de composés phénoliques sont celles dans lesquelles le IC_{50} est faible. En revanche, il existe une relation significative et négative entre les teneurs en composés phénoliques et la capacité de réduction ferrique des extraits de pulpes et de pelures (Coefficient de corrélation de Pearson est égale à $0,97$). Dans ce cas, le coefficient de corrélation de $0,97$ montre que l'élévation de la teneur en composés phénoliques est expliquée à 97% par l'importance des capacités de réduction ferrique des extraits de pulpes et de pelures (**Tableau 21**).

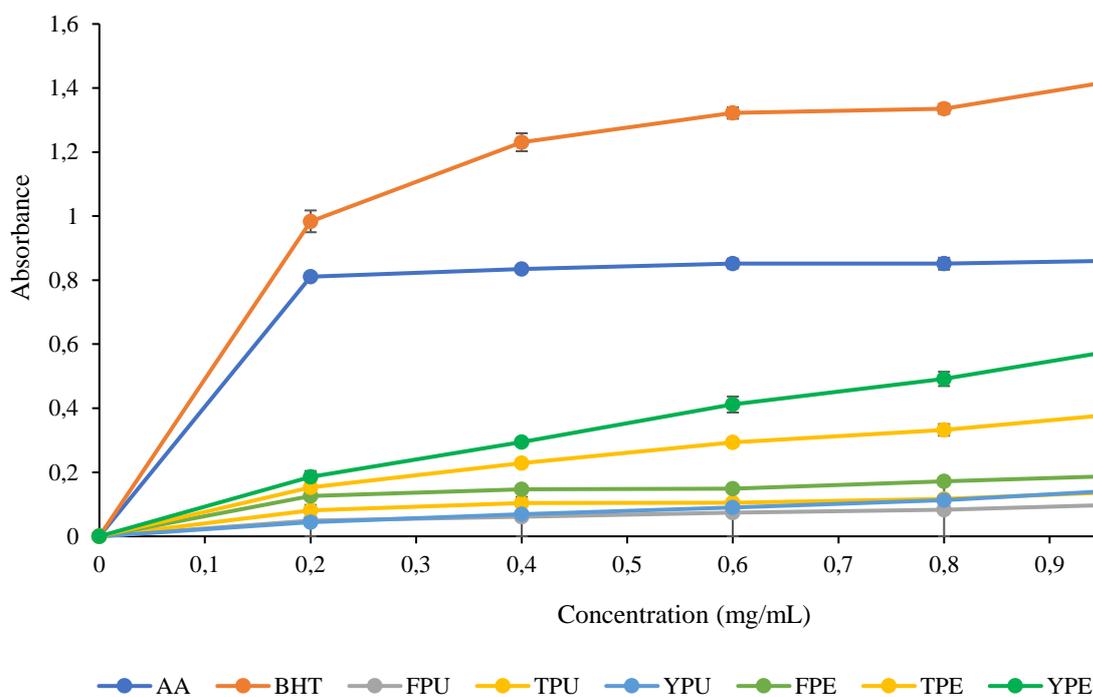


Figure 28: Activité antioxydante des extraits de pulpes et de pelures de la prune noire issu de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro par la méthode FRAP.

FPU, TPU et YPU désignent respectivement les extraits de pulpe de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro tandis que FPE, TPE et YPE désignent respectivement les extraits de pelures de ces localités

Tableau 20: Coefficient de corrélation entre les activités antioxydantes et les composés phytochimiques des extraits de pulpes et de pelures de la prune noire.

Composés phytochimiques						
Tests antioxydants	Polyphénols Totaux		Flavonoïdes totales		Anthocyanes totales	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
DPPH	-0,80	0,056	-0,96	0,002	-0,70	0,121
FRAP	0,97	0,001	0,95	0,003	0,40	0,436

3.2. DISCUSSION

3.2.1. Caractéristiques morphologiques de la prune noire et de sa graine

L'objectif de cette étude était de déterminer les caractéristiques morphologiques de la prune noire. La prune noire issue du département de Bondoukou est longue et large respectivement de $2,46 \pm 0,35$ et $2,18 \pm 0,31$ cm. Quant à la graine, elle mesure $1,81 \pm 0,30$ cm de longueur et $1,40 \pm 0,29$ cm de largeur. Ces caractéristiques morphologiques sont proches de celles obtenues par **Beenjite (1994)** au Kenya pour le fruit entier qui mesure environ 3 cm de longueur. Ce qui n'est pas le cas pour les résultats obtenus sur les graines qui mesurent environ 2,46 et 2,18 cm respectivement de longueur et de largeur. Les graines des fruits issus du département de Bondoukou sont donc plus petites que celle du Kenya. Cela implique que ces fruits sont plus pulpeux que ceux du Kenya. Il est fort probable que cette différence soit dû à la différence pédoclimatique. Les fruits issus du département de Bondoukou sont donc des drupes arrondies. Ainsi, la détermination des différentes dimensions de ce fruit pourrait être d'une importance capitale dans la conception de machines relatives à la mécanisation des opérations entrant dans son traitement notamment le lavage, le dépulpage, le broyage (**Diabanna et al., 2013**).

De plus, les résultats obtenus révèlent que l'indice de calibre, l'indice de sphéricité et l'aspect ratio de la prune noire sont respectivement de $3,42 \pm 0,60$, $62 \pm 0,07$ % et $89,84 \pm 14,22$ %. De ce fait, l'indice de sphéricité moyennement élevée et l'aspect Ratio élevé permettent de déduire que les fruits issus du département de Bondoukou ont une forme qui tend vers une sphère et auront alors plutôt tendance à rouler que de glisser. Ces deux caractéristiques peuvent également être utiles pour la conception de trémies comme la révélé les travaux **Burubai et Amber (2014)** en cas d'éventuelles transformations industrielles.

En outre, la masse de la prune noire évaluée à $10,55 \pm 2,21$ g est constitué de $57,38 \pm 10,66$ % de pulpe, de $31,57 \pm 0,64$ % de graine et de $9,05 \pm 4,41$ % de pelure. La graine représentant environ un tiers de la prune noire entière, pourrait constituer un gain économique pour les populations, d'où l'importance de valoriser cette ressource disponible et non utilisée en Côte d'Ivoire. Par ailleurs, le développement de technologies appropriées permettrait la valorisation de cette partie notamment sa transformation en thé comme c'est le cas au Soudan.

En plus, les prunes noires de Bondoukou sont de coloration rouge-violet foncé ($a^* = 21,91 \pm 3,14$; $b^* = -21,36 \pm 2,19$; $C^* = 475,34 \pm 102,33$ et $h = 38,92 \pm 8,99$ °). Cette coloration

serait dû à la présence d'anthocyanes dans la prune noire. En effet, les anthocyanes sont des métabolites secondaires de certaines parties des végétaux responsables en grande partie de leur coloration allant du rouge au violet. Ce sont entre autre les fruits, les fleurs et les feuilles (**Cissé et al., 2009 ; Gomez, 2009 ; Beye, 2015**). Ainsi, les prunes noires pourraient représenter une alternative pour l'industrie de fabrication de colorants.

3.2.2. Caractéristiques chimiques de la prune noire : pulpe et pelure

3.2.2.1. Teneur en eau, acidité totale, extrait secs réfractométrique (ESR) et pH de la prune noire

L'objectif de cette étude était de déterminer la teneur en eau, l'acidité totale, l'ESR et le pH de la pulpe de la prune noire. Cette étude a indiqué que la teneur en eau de la prune noire varie de $69,73 \pm 0,40$ à $92,56 \pm 0,37\%$ de MF. Ces valeurs sont proches de celles obtenues par **Soro et al. (2018)** ($72,69 \pm 0,29 \%$ - $76,19 \pm 0,29 \%$) en Côte d'Ivoire, pour les localités de Ferkéssédougou et Tiébissou. De même, **Stadlmayr et al. (2013)** ont rapporté une teneur en eau de la prune noire de $88,7 \pm 0,64 \%$ de MF. Ainsi, les résultats obtenus dans cette étude sont largement supérieures à ceux obtenues par **Agbede et Ibitoye (2007)**, **Ochieng et Nandwa (2010)** et **Vunchi et al. (2011)** à l'issue de leurs travaux sur la prune noire (respectivement $48,77 \pm 0,500$, $39,42 \pm 0,72$ et $16,66 \pm 1,06 \%$ de MF). Par ailleurs, ces résultats sont aussi supérieures à ceux du *Vitex Kiniensis* et du *Vitex fischeri* respectivement de $40,86 \pm 0,39$ et $38,46 \pm 0,92 \%$ (**Ochieng et Nandwa; 2010**).

En outre, selon les résultats obtenus, la teneur en eau de la prune noire diffère significativement (p -valeur $< 0,05$) d'une localité à l'autre comme a pu le constater également **Soro et al. (2018)** pour la prune noire en Côte d'Ivoire. L'humidité est une mesure de la teneur en eau dans un produit (**Pearson, 1994**). Elle est déterminante pour la conservation d'un aliment. Car, la teneur en eau d'un fruit au-delà de 12 % favorise le développement et la prolifération des microorganismes responsables de la dégradation des tissus (**Aryee et al., 2006**)., Ainsi, la variation de la teneur en eau entre fruit de même ou différentes espèces pourrait résulter de la différence géographique, climatique et saisonnière (**Ruiz-Rodriquez et al., 2011**). Selon **Athamena (2009)**, l'âge de la plante, la période du cycle végétatif et même les facteurs génétiques sont des facteurs qui peuvent aussi influencer les teneurs en eau.

Il est aussi bien connu que le pH d'un fruit compris entre 3 et 6 est très favorable au développement des levures et moisissures (**Gatel, 1982 ; Giddey, 1982**). Le pH de la pulpe de

la prune noire mûre est légèrement acide. Et ce, quelle que soit la localité. Les valeurs de pH des fruits issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro sont respectivement de $4,6 \pm 0,10$, $5,00 \pm 0,04$ et $5,05 \pm 0,01$. Ces valeurs de pH sont relativement supérieures à ceux obtenues par **Ajenifujah-Solebo et Aina (2011)** qui est de $3,85 \pm 0,07$ pour la prune noire au Nigeria. Cette différence de pH trouverait une explication dans la variation des zones de productions des fruits et des conditions climatiques non identiques. Par ailleurs, les valeurs de pH des fruits étudiés sont relativement supérieures aux pH de bien d'autres fruits notamment *Arbutus unedo* L., la goyave à chair rose, l'ananas, l'orange, la grenade et le kiwi (**Espiard, 2002; Doukani et Tabak, 2015**). D'autre part, le pH de la pulpe de la prune noire mûre étudié traduit parfaitement l'aspect périssable de la prune noire quelques jours après la récolte.

L'acidité totale exprime la quantité d'acides organiques présente dans l'échantillon (**Ferhoum, 2010**). Les acides organiques sont, en général des intermédiaires des processus métaboliques. Ils influencent la croissance des micro-organismes et affectent la qualité de conservation des produits alimentaires (**Doukani et Tabak, 2015**). L'acidité totale de la pulpe de la prune noire mûre est comprise entre $191,33 \pm 1,155$ et $207,67 \pm 3,055$ meq / 100 g. Les fruits issus de Yamoussoukro présentent la plus haute acidité totale qui est significativement élevée ($p < 0,05$) que celles des deux autres villes notamment Ferkéssédougou ($191,33 \pm 1,155$ meq/100 g) et Tiébissou ($191,33 \pm 2,309$ meq/100 g) qui elles ne présentent aucune différence significative ($p > 0,05$.) entre elles. Les valeurs d'acidité totale des fruits étudiés sont largement supérieures à celles de la prune noire au Nigéria (**Ajenifujah-Solebo et Aina ; 2011**) ($0,60 \pm 0,020$) et de ceux du ditax ($0,16$ meq / 100 g) au Sénégal (**Cissé, 2012**). Par contre, ces valeurs d'acidité totale exprimées dans prune noire sont inférieures à celle du bissap ($943,64$ meq / 100 g) mais supérieures à celles des fruits à pain de singe et du maad (*Saba senegalensis*) avec des valeurs respectives de $97-144$ meq / 100 g et $78,5$ meq / 100 g et (**Diop, 2010**). Récemment des travaux de **Diop (2013)** ont montré que plus l'acidité totale est faible, moins le fruit est acide. Une acidité trop élevée nuit à la qualité gustative (**Signoret, 2004**). La valeur de l'acidité totale de la prune noire lui donne une bonne qualité gustative.

3.2.2.2. Caractéristiques nutritives de la pulpe et de la pelure de la prune noire

La teneur en cendre d'un aliment reflète sa teneur totale en minéraux. Ainsi, la teneur en cendre de la pulpe de la prune noire étudiés issus des trois localités est en moyenne de $5,52$ % de MS. Aucune différence significative n'est notée entre les fruits de ces trois localités. Cette valeur diffère largement de celles obtenues par bien d'autres auteurs sur le même type de fruit

notamment **Soro et al. (2018)** qui ont obtenu en moyenne des teneurs en cendre de 3,53% pour les fruits du Nord en Côte d'Ivoire. A ces auteurs, s'ajoute **Abu (2002)** toujours sur la pulpe de la prune noire au Nigéria. Ce dernier a obtenu comme teneur en cendre de la pulpe 1,2% de MS. Contrairement à ces auteurs, la teneur en cendre de la pulpe de la prune noire dans cette étude est largement inférieure à celles obtenues par **Vunchi et al. (2011)** (11,50 % de MS) mais similaire aux résultats obtenus par **Agbede et Ibitoye (2007)** (5,1 % de MS) et **Montiel-herrera et al. (2004)** (5,1 % de MS) qui a travaillé sur la pulpe des fruits du *Vitex mollis*. Ainsi, cette différence entre les teneurs en cendre des fruits étudiés dans ce travail et celles des fruits de même ou de différentes espèces pourrait d'être dû à la teneur en eau et à la nature du sol mais également à l'espèce de la prune noire étudiée (**Jaspher, 2010**). Par ailleurs, le taux de cendre de la pulpe des fruits étudiés issus des trois localités est élevé que celui de la pulpe du fruit du baobab ($4,5 \pm 0,2$ %), de la mangue ($4,10 \pm 0,02$ %), de la pomme de cajou (2,70 %), de l'avocat ($2,1 \pm 0,6$ %), de l'ananas ($2,7 \pm 0,3$ %), de la banane ($2,9 \pm 0,2$ %) et de la papaye ($4,2 \pm 1,2$ %) (**Chinma et Gernah, 2007 ; Ogunjobi et Ogunwoli, 2010; Damila et al., 2017**). En outre, des résultats obtenus, il ressort que, la teneur en cendre de la pelure des fruits étudiés issus des trois localités est en moyenne de 4,20 % de MS. Cette valeur se rapproche de celle de la pelure de l'ananas ($4,8 \pm 0,1$ %) mais inférieure à celle de la pelure de la banane ($14,3 \pm 0,2$ %), de la papaye ($11,3 \pm 0,1$ %), fruit de la passion ($5,9 \pm 0,1$ %) et du melon ($9,7 \pm 0,1$ %) (**Damila et al., 2017**). Au vu des différentes teneurs en cendre de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus des trois localités, l'on peut conclure que la prune noire est une source non négligeable de minéraux.

Au niveau des minéraux qu'elles contiennent, le potassium joue un rôle prépondérant dans le fonctionnement de l'organisme. Il a un effet protecteur contre les maladies cardiovasculaires à travers la réduction de la tension artérielle et empêche l'apparition de lésions rénales vasculaires (**Weaver, 2013**). Il contribue également à la réduction de l'excrétion urinaire de calcium provoquant ainsi un bilan calcique positif. Et, il réduit également le risque de diabète de type II en développement par la réduction de l'intolérance au glucose, puis a un effet bénéfique sur la santé des os (**Zillich et al., 2006**). Le potassium est le macro-minéral majeur contenue dans la pulpe et la pelure de la prune noire. Les teneurs de potassium obtenues dans ce travail sont supérieures à celles obtenues par **Agbede et Ibitoye (2007)** (880 mg/100 g de MS) et **Vunchi et al. (2011)** ($15,70 \pm 0,26$ mg/100g de MS) pour la prune noire. Par ailleurs, celles de la pulpe et de la pelure sont supérieures à celles de trois variétés de la pêche ($1520 \pm 31,5$ à $1690,4 \pm 33,1$ et $1240,4 \pm 24,8$ à $1330,1 \pm 26,4$ mg/100 g de MS), de la grenade ($363 \pm$

18 et 295 ± 14 mg/100 g de MS), de la banane (382 ± 15 et 337 ± 7 mg/100 g de MS) et de la mangue (185 ± 11 et 444 ± 13 mg/100 g de MS) (**Manzoor et al., 2012; Pal et Amritpal, 2016**).

Tout comme le potassium, le calcium est un minéral important pour l'organisme. Il joue un rôle capital dans la constitution des os et des dents et participe activement à la régulation des fonctions nerveuses, musculaires et hormonales (**Boskey, 2007; Soetan et al., 2010; Beto, 2015**). Les teneurs en calcium obtenues sont similaires à celles obtenues par **Agbede et Ibitoye (2007)** (320 ± 16 mg/100 g de MS) mais largement supérieures aux résultats des études réalisées par **Ajenifujah-Solebo (2011), Vunchi et al. (2011)** sur la pulpe de la prune noire. Ces valeurs sont respectivement de $7,5$; $0,76 \pm 0,01$ et $30,27 \pm 0,30$ mg/100g de MS. De plus, les teneurs en calcium obtenues sont également plus élevées que celles de bien d'autres pulpes de fruits notamment celles de l'avocat, l'ananas, de la banane, de la papaye et de la passion qui sont respectivement de $54,9 \pm 12,1$, $202,7 \pm 26,2$, $25,4 \pm 1,4$, $184,7 \pm 7,9$ et $47,1 \pm 2,5$ mg/100g de MS (**Damila et al., 2017**).

Par ailleurs, les résultats révèlent que les pulpes de la prune noire contiennent moins de calcium que les pelures à l'exception des fruits de la ville de Tiébissou. Ces résultats sont conformes aux travaux réalisés par certains auteurs sur les différents tissus notamment la pelure et la pulpe de d'autres fruits. Ces auteurs avaient montré que la pelure des pommes, de l'avocat, de l'ananas, de la papaye et de la banane contenait en générale, une teneur plus élevée en minéraux notamment le calcium par rapport aux autres parties comestibles de ces fruits (**Henríquez et al., 2010; Manzoor et al., 2012; Damila et al., 2017**).

Le fer fait partie intégrante d'importants systèmes enzymatiques dans divers tissus et sert de transporteur d'oxygène aux tissus des poumons par l'hémoglobine des globules rouges et de moyen de transport pour les électrons dans les cellules (**Gupta, 2014**). Il est le micro-minéral majeur dans la pulpe et la pelure de la prune noire.

Singh et al. (2001) ont analysés d'importants oligoéléments dans différents végétaux notamment la menthe, le coriandre, l'épinard, l'amaranth, le choufleur et la carotte, et ont trouvés les concentrations en Fe variant de $7,7 \pm 0,01$ à $84,4 \pm 0,08$ mg/100 g de MS. Cependant, les teneurs en Fe de la pulpe et de la pelure des fruits respectivement de Yamoussoukro et Tiébissou sont supérieures à celles de la coriandre, de l'épinard, de l'amaranth et de la carotte, tandis que les pulpes et pelures des fruits de Ferkéssédougou et Yamoussoukro contiennent moins de Fe que tous ces végétaux.

Ainsi, toutes les variations de la teneur en différents minéraux des fruits d'une région à une autre et d'une partie à une autre d'un même fruit pourrait s'expliquer par l'état de maturité des fruits et les conditions du système racinaire. Car, selon **Leterme et al. (2006)**, plusieurs facteurs, notamment la variété, l'état de maturité, le type de sol, l'état du sol et le régime d'irrigation peuvent entraîner une variation des teneurs en éléments minéraux et en éléments traces dans différents types de fruits ainsi que dans différentes parties du même fruit. De plus, d'autres facteurs tels que la position de fructification et la surface foliaire du couvert forestier peuvent également influencer la teneur en minéraux et la qualité des fruits (**Volz et al.,1994**).

Aussi, les apports journaliers recommandés en Fe pour un adulte sont-ils respectivement de 1,8 et 2,3 mg (US). Vu les quantités de Fe contenues dans les différentes parties de la prune noire, l'on peut conclure que ce fruit pourrait être une excellente source de Fe.

Les protéines sont l'une des trois grandes familles de macronutriments essentiels au fonctionnement et à la structure de l'organisme. Ne présentant aucune différence significative entre elles, les teneurs en protéines des pulpes des fruits étudiés sont en moyenne de 2,18 % de MS. Au Nigéria, **Vunchi et al. (2011)** et **Agbede et Ibitoye (2007)** ont obtenus des taux de protéines plus élevés que celui obtenu dans cette étude pour le même fruit. Ces taux sont respectivement de 8,14 et 7,18 % de MS. Outre le même type de fruit, d'autres travaux réalisés par **Jacob et al. (2016)** sur les fruits de certaines plantes spontanées notamment *Strychnos spinosa* ($8,72 \pm 0,02$ %), *Detarium microcarpum* ($6,80 \pm 0,31$ %), *Diospyros mespiliformis* ($6,99 \pm 0,02$ %) et *Dialium guineense* ($5,23 \pm 0,01$ %) ont révélé des taux de protéines également supérieurs à ceux obtenus dans nos travaux. Les pulpes des fruits étudiés ici contiennent donc une faible teneur en protéine. Et cette faible teneur en protéines de ces fruits pourrait s'expliquer par la composition du sol à travers sa teneur en éléments nutritifs notamment l'azote car selon **Blumenthal et al. (2008)** la teneur en azote du sol peut influencer le taux de protéines. A l'exception des fruits de Yamoussoukro, les pelures des fruits issus de Ferkéssédougou et Tiébissou présentent des valeurs similaires de protéines qui font en moyenne de 2,37 % de MS. **Abdulrahman et al. (2011)** et **Ashoush et Gadallah (2011)** ont évalué la teneur en protéines dans la pelure de différentes variétés de mangue et ont rapportés des valeurs respectives de $4,6 \pm 0,14$ % et $3,6 \pm 0,5$ % qui sont supérieures à celles dans le cas de cette étude. **Feumba et al. (2016)** ont également rapporté des valeurs de $9,73 \pm 0,63$, $2,80 \pm 0,17$ et $10,44 \pm 0,38$ % de teneur en protéine des pelures respectivement de l'orange, la pomme et la banane supérieures à celles issues de nos travaux. Il en est de même pour la pelure de la tomate qui a une teneur en

protéine de 10,50 % (**Elbadrawy, 2016**). Il est donc constaté dans cette étude que la prune noire a une faible teneur en protéines comme dans la plupart des fruits. Car, les fruits en général, ne sont pas des sources potentielles de protéines (**Damila et al., 2017**).

Les glucides font partie des macronutriments qui fournissent de l'énergie à l'organisme. La pulpe et la pelure de la prune noire étudiées dans ce travail, ont des teneurs faibles de glucides. Les échantillons de pulpe de Yamoussoukro sont les plus riches en glucides par rapport aux autres échantillons de Tiébissou. Ceux de Ferkéssédougou présentent des valeurs intermédiaires. De ce fait, l'âge des arbres et les facteurs environnementaux tels que le climat et le sol peuvent également être à la base de cette différence car le département de Ferkéssédougou est situé dans une zone de savane sèche, avec un climat très chaud et sec (Soudanéen) avec des sols ferrallitiques (**Guessan et al., 2015; Coulibaly et al., 2016**), tandis que Yamoussoukro et Tiébissou situés respectivement dans des zones de forêts mésophiles et de savane arborée ont un climat baouléen avec tous deux des sols ferrallitiques moyennement désaturés (**Allou et Yao-Kouamé, 2008**). Par ailleurs, les teneurs en glucides de la pulpe des fruits étudiés sont inférieures à celles de nombreux fruits notamment les pulpes de la mangue ($11,9 \pm 0,41$ % de MS), de l'ananas ($14,4 \pm 0,18$ % de MS), de l'anacarde ($68,60$ % de MS), des fruits *Detarium microcarpum* ($40,15 \pm 0,35$ % de MS), le *V. doniana* au Burkina Faso ($19,68 - 20,25$ % de MS), la prune noire au Nigéria ($28,40 \pm 1,06$ % de MS) mais se rapprochent de celles des pulpes de la goyave à chair rouge ($8,88 \pm 0,04$ % de MS) et des fruits de *Adansonia digitata* ($8,25 \pm 0,03 - 9,25 \pm 0,21$ % de MS) (**Agbede et Ibitoye, 2007; Ogunjobi et Ogunwolu, 2010; Martínez et al., 2012; Ali et al., 2014; Makalao et al., 2016**).

Malgré sa faible quantité dans la prune noire issus de trois localités de la Côte d'Ivoire, la protéine contenue dans celle-ci est de bonne qualité. En effet, en comparant les pourcentages des acides aminés essentiels à ceux d'une protéine standard selon l'OMS, il est constaté que les protéines contenues dans les pulpes et les pelures de la prune noire se comparent bien à cette dernière. Dans la protéine des pulpes, seuls deux des acides aminés ou des paires d'acides aminés avaient des scores inférieurs à 100%, qui ne diffèrent de la protéine standard que de quelques points de pourcentage (méthionine / cystéine) ou d'environ 50% (lysine). Les acides aminés essentiels font en moyenne environ 42,51 % des acides aminés totaux pour la pulpe et 44,17 % des acides aminés totaux pour la pelure des fruits. Par ailleurs, tout comme dans la plupart des fruits notamment la pomme (**Ackermann et al., 1992**), le néflier (**Glew et al., 2003**) et la tomate (**Sorrequieta et al., 2010**), l'acide glutamique (0,27 mg/100g de MS) et l'acide aspartique (0,27 mg/100g de MS) sont les acides aminés majoritaire dans la pulpe de la prune

noire. Cependant, la thréonine et la proline sont les acides aminés dominants dans la pelure de la prune noire (en moyenne 0,29 et 0,27 mg/100g de MS).

Pour ce qui est des teneurs en glucides des pelures, elles sont largement inférieures à celles de la pelure de la mangue Raspuri ($28,20 \pm 0,60$ % de MS), de la mangue Badami ($20,80 \pm 0,20$ % de MS), du bambargan ($7,3 \pm 0,62$ % de MS), de l'orange ($53,27 \pm 0,10$ % de MS), de la grenade ($59,98 \pm 1,52$ % de MS) et de la tomate ($32,16 \pm 1,11$ % de MS) (**Ajila et al., 2007; Abdulrahman et al., 2011; Elbadrawy, 2016; Femba et al., 2016**). Ainsi, vu la faible teneur en glucides de la prune noire qui a fait l'objet de notre étude, l'on peut conclure qu'une consommation régulière de ce fruit, serait bénéfique pour les personnes obèses qui le plus souvent sont soumises à un régime alimentaire restreint en glucides. D'ailleurs, les travaux de **Williams et al. (2003)** ont révélé, après six mois de suivi de personnes en obésité sévère, qu'un régime alimentaire restreint en glucides a fortement favorisé une perte de poids chez ces personnes qu'un régime alimentaire restreint en lipides. La prune noire en tant que fruit et de surcroît de faible valeur glucidique pourrait donc être intégré dans un régime alimentaire restreint en glucides.

Les fibres alimentaires sont des résidus de cellules végétales résistantes à l'hydrolyse des enzymes alimentaires de l'homme (**Slavin, 2003**). Elles ne sont ni digérées et ni absorbées par le système digestif. Ces fibres alimentaires renferment l'hémicellulose, la cellulose, la lignine, les oligosaccharides, la pectine, les gommes et les cires (**Dhingra et al., 2012**). Les résultats de cette investigation ont montré que le contenu en fibres alimentaires était élevé dans les pulpes et les pelures des fruits issus des trois localités de la Côte d'Ivoire, sans différences significatives entre eux. Les fibres alimentaires sont donc les composantes principales de la pulpe ($34,79 \pm 0,07$ à $39,83 \pm 1,85$ % de MS) et de la pelure ($46,38 \pm 0,09$ à $50,21 \pm 1,07$ % de MS) des fruits étudiés. Les quantités de fibres alimentaires présentes dans la pulpe de la prune noire sont largement supérieures à celles présentes dans la pulpe de la goyave rouge et blanche du Soudan ($3,50 \pm 0,01$ % de MS) (**Ali et al., 2014**), des pulpes des variétés Deglet-Nour et Allig de datte ($14,4 \pm 1,12$ % de MS et $18,4 \pm 0,45$ % de MS) (**Elleuch et al., 2008**), de la prune sauvage (2,2 %) (**Sedat et al., 2005**), de la papaye ($1,8 \pm 0,2$ % de MS), de la banane ($2,9 \pm 0,1$ % de MS) et de l'ananas ($5,4 \pm 0,4$ % de MS) au Brésil (**Damila et al., 2017**). Cependant, les valeurs obtenues dans ce travail se rapprochent de celles de trois variétés de pulpes d'orange, l'orange connus comme étant un fruit riche en fibres alimentaires. Ce sont entre autres le Navel ($35,4 \pm 1,4$ % de MS), la Salustiana ($35,9 \pm 0,5$ % de MS) et le Valencia Late ($36,9 \pm 0,3$ % de

MS) (**Grigelmo-miguel et Martõân-belloso, 1999**). Aussi, les pulpes des fruits étudiés ici ont-elles des valeurs en fibres alimentaires largement faibles à celles des concentrées de fibres de la mangue ($70,0 \pm 0,05$ % de MS), de la passion ($81,5 \pm 0,25$ % de MS), de l'ananas ($75,5 \pm 0,23$ % de MS) et de celle de la goyave ($69,1 \pm 0,17$ % de MS) (**Martínez et al., 2012**).

Par ailleurs, les pelures de la prune noire étudiées dans ce travail, présentent également des teneurs en fibres alimentaires bien plus élevées que celles de la pelures de plusieurs fruits notamment celles de l'avocat ($43,9 \pm 2,7$ % de MS), de l'ananas ($16,3 \pm 2,5$ % de MS), de la papaye ($16,6 \pm 2,2$ % de MS), du melon ($41,6 \pm 7,2$ % de MS), du fruit de la passion ($38,8 \pm 3,7$ % de MS) (**Damila et al., 2017**), des deux variétés Raspuri et Badami de mangue ($5,80 \pm 0,80$ % de MS et $7,4 \pm 0,20$ % de MS) (**Ajila et al., 2007**) et de la pomme ($13,95 \pm 0,10$ % de MS) (**Femba et al., 2016**).

Toutefois, les teneurs en fibres sont significativement plus élevées ($46,38 \pm 0,09$ à $50,21 \pm 1,07$ % de MS) dans les pelures des fruits que celles de leur pulpe pour les localités de Ferkéssédougou et Tiébissou. Et ces résultats obtenus pour les fruits issus de ces deux villes, concordent bel et bien avec ceux issus des travaux réalisés par **Lamghari et al. (1998)**, **Gorinstein et al. (2002)** et **Damila et al. (2017)**. Ces auteurs ont également obtenu des valeurs de fibres alimentaires significativement plus élevées dans les pelures des fruits étudiés que dans leur pulpe.

Il est bien connu que les régimes riches en fibres alimentaires sont associés à la prévention et au traitement de diverses maladies telles que les maladies diverticulaires et coronariennes, le cancer du côlon et le diabète. Outre ces maladies, les fibres alimentaires contribuent également à la perte de poids chez les personnes obèses (**Pérez-jiménez et al., 2008**). En effet, les fibres alimentaires sont scindées en deux grands groupes notamment les fibres alimentaires solubles et les fibres alimentaires insolubles. Ainsi, une fois consommées, les fibres alimentaires dites solubles se mélangent à l'eau et deviennent très visqueuses. Cette viscosité élevée va donc retarder la vidange gastrique, ralentir le transport du digest le long de l'intestin grêle et donc baisser le taux d'absorption du glucose, des lipides ou des stérols (**Klont, 2000**). En outre, les fractions insolubles, elles, une fois consommées absorbent l'eau puis se gonflent et influent sur la régulation intestinale protégeant ainsi le colon du cancer, de la constipation et de la diverticulose. Ces fibres grâce aux gonflements des selles, peuvent réduire la concentration de carcinogènes fécaux, réduisant ainsi la quantité de cancérogènes qui entrent en contact avec la paroi intestinale (**Leontowicz et al., 2007**).

D'après les résultats observés, il est clair que la prune noire pourrait constituer une bonne source de fibres alimentaires. Par conséquent, ces fruits pourraient être inclus dans la composition de certains aliments ou encore dans certaines formulations alimentaires pour d'éventuel enrichissement en fibre.

3.1.2.1. Composition phytochimique et teneur en acides ascorbiques de la pulpe et de la pelure de la prune noire issue de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro

- **Teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes, anthocyanes et acides ascorbiques**

L'objectif de cette étude était de déterminer les teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes, anthocyanes et acides ascorbiques de la prune noire issue de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro. Les polyphénols font partie des métabolites secondaires largement présents dans le règne végétal (**Hagerman et al., 1998**). Ils sont considérés comme les principaux acteurs de la capacité antioxydante des plantes. Les polyphénols ont également de nombreux avantages pour la santé humaine notamment la prévention et le traitement des maladies liées au stress oxydatif tel que le cancer, la cataracte, le diabète et l'hypertension artérielle (**Tangney et Rasmussen, 2013; Siti et al., 2015**). Les teneurs en composés phénoliques totaux (CPT), en flavonoïdes totaux (FT), en anthocyanes (A) et acides ascorbiques (AA), extraits de la pulpe et de la pelure de la prune noire dans cette étude diffèrent considérablement d'une localité à une autre. Ce qui corrobore les résultats obtenus par d'autres chercheurs qui ont suggéré que les quantités de CPT de la prune noire en Côte d'Ivoire, varient d'une régions à une autres (**Soro et al., 2018**). De façon générale, les pelures ont montré des teneurs plus élevée en CPT que les pulpes. Ce résultat est en accord avec les résultats obtenus par **Garau et al. (2007), Xue et al. (2009), Abdul Aziz et al. (2012)** et **Goulas et Manganaris (2012)** qui ont signalé une teneur plus élevée en composés phénoliques dans la pelure de fruits tels que le longane, l'orange, le jujube, le raisin et la mangue. Tous ont montré que les plus fortes concentrations de composés phénoliques dans les fruits se trouvaient dans les tissus de pelure. En outre, la valeur de composés phénoliques totaux présents dans les pulpes de la prune noire est en moyenne de 229,91 mg GAE/100 g de MS correspondant à une teneur moyenne de 63,39 mg GAE/100 g de MF. Cette valeur est inférieure à celle de la prune noire au Kenya ($601,40 \pm 25,2$ mgGAE/100g MF) (**Nandwa, 2010**) mais supérieure à celles de la mangue mallika ($51,91 \pm 2,84$ mgGAE/100 g MF) (**Ma et al., 2011**), de la nectarine (57 mgGAE/100g MF), de la tomate (62 mgGAE/100g MF), de la papaye solo (28 ± 6 mgGAE/100g MF) et de la mangoustan (54 ± 7 mgGAE/100g MF) (**Lim et al., 2007**). Elle est par ailleurs deux fois plus élevée que celle de la papaye des montagnes ($32,8 \pm 0,00$ mgGAE/100 g MF) et au moins vingt fois plus élevée

que celle de la tomate pêche ($2,12 \pm 0,00$ mg GAE/100g MF) et de la pomme poire ($0,53 \pm 0,00$ mg GAE/100g MF). Par ailleurs, la teneur en composés phénoliques totaux de la pelure de la prune noire est en moyenne de $357,44 \pm 3,45$ mg GAE/100 g de MS ce qui équivaut à $213,11$ mg GAE/100 g MF. Les teneurs en polyphénols totaux des pelures de la prune noire sont bien plus supérieures à celles de la pelure de cinq variétés de pêche en Chine ($81,54 \pm 0,48 - 163,54 \pm 5,56$ mg GAE/ 100 g MF) (**Liu et al., 2015**) et de nombreux fruits exotiques de la Colombie notamment la pelure de la tomate pêche ($87,4 \pm 5,16$ mg GAE/100 g MF), la pelure du fruit du palmier pêche ($108 \pm 2,06$ mg GAE/100 g MF) et de la pelure de la grenadine géante ($120 \pm 1,69$ mg GAE/100 g MF) (**Contreras-Calderón et al., 2011**). Par contre, **Gorinstein et al. (2002)** ont obtenus des teneurs en polyphénols dans les pelures de la pêche ($470 \pm 0,4$ mg GAE/100 g MF), de la poire ($450 \pm 0,4$ mg GAE/100 g MF) et de la pomme ($1110 \pm 1,2$ mg GAE/100 g MF) d'Espagne bien plus élevées que celles de la pelure de la prune noire dans notre étude.

Ces fruits et légumes sont pourtant des produits à pouvoir antioxydant élevé. Il convient alors de conclure que la pulpe et la pelure de la prune noire mûre constituent une bonne source d'antioxydants naturels et pourrait potentiellement être considéré comme un aliment fonctionnel. De ce fait, une consommation de ce fruit pourrait contribuer à la prévention des maladies cardiovasculaires, le diabète, le cancer et pourrait exercer des effets protecteurs contre les maladies hormono dépendantes telle que l'ostéoporose (**Nkhili, 2009**).

Les rôles antiradicalaires et chélateurs de métaux des flavonoïdes sont deux propriétés qui participeraient aux capacités antioxydantes de ces composés (**Cherrak et al., 2016**). Les flavonoïdes sont de puissants inhibiteurs de la lipoperoxydation. Parmi les antioxydants végétaux alimentaires, les flavonoïdes sont les plus actifs (**Graille, 2003**). Aussi sont – ils responsables de la coloration des végétaux. Dans cette étude, les teneurs totales en flavonoïdes diffèrent de manière significative ($P < 0,05$) entre les échantillons. Les résultats montrent que la teneur en flavonoïdes dans la pelure des fruits de Ferkéssédougou est plus élevée (1,30 fois) que dans la pulpe. Pour les fruits de Tiébissou et Yamoussoukro, les teneurs en flavonoïdes sont respectivement 1,92 et 1,81 fois supérieures à celles des pulpes. Ces résultats sont en accord avec les travaux de **Levaj et al. (2009)** et **Reza et al. (2011)**.

Par ailleurs, la pulpe et la pelure de la prune noire contiennent des teneurs en flavonoïdes (en moyenne respectivement $77,69$ et $130,26$ mg / 100 g de MS équivalent respectivement à $21,32$ et $77,84$ mg QE/100g MF) supérieures à celles de l'ananas ($2,0 \pm 0,3$ mg QE/100 g MF), la

papaye colombo et solo ($1,5 \pm 0,2$ et $1,7 \pm 0,0$ mg QE/100 g MF), la mangue José et la mangue Américaine ($6,4 \pm 2,0$ et $5,3 \pm 0,2$ mg QE/100 g MF). Par contre, ces valeurs sont inférieures à celles du fruit de la passion ($70 \pm 10,5$ mg QE/100 g MF) (**Septembre-Malaterre *et al.*, 2016**) pour les pulpes. Ces fruits sont pourtant bien connus pour leur importantes propriétés antioxydantes. Par conséquent, l'ingestion de ce fruit permettrait une meilleure protection des lipides contre l'action des radicaux libres responsables des maladies métaboliques (cancer, maladies cardiovasculaires etc...) et du vieillissement cellulaire (**Scalbert et Williamson, 2000**). D'autre part, cette teneur élevée en flavonoïdes de la prune noire étudiée justifierait la coloration noire de ce fruit.

En ce qui concerne les pelures, les valeurs de flavonoïdes obtenus dans cette étude sont inférieures à celles de la pelure de quatre cultivars de pêche en Chine notamment « Yuhualu », « Dahonghua », « Wulingyulu » et « Fenghuayulu » dont les valeurs de flavonoïdes étaient comprises entre $143,17 \pm 0,58$ et $299,86 \pm 0,76$ mg QE/100 g de MS (**Liu *et al.*, 2015**). Cependant, elles sont largement inférieures à celles de zestes d'agrumes (3270 ± 106 à 4920 ± 1333 mg QE/100 g de MS) (**Wang *et al.*, 2008**) et de la pelure de mangue (2120 ± 247 mg RE/100 g de MS) (**Kim *et al.*, 2010**). **Martial-Didier *et al.* (2017)** ont obtenu des teneurs en flavonoïdes largement inférieures à celles de la prune noire dans cette étude.

De plus, les ratios flavonoïdes- Phénols totaux des pulpes et des pelures dans cette étude, sont supérieures à ceux dans la carotte (0,28), la tomate (0,17), le piment rouge (0,08) pour la pulpe et similaire à celui dans le gombo (0,32) (**Marinova *et al.*, 2005**). Par ailleurs, ces ratios sont également supérieurs à ceux de neuf variétés de grenadine (0,114 à 0,288) pour la pelure (**Reza *et al.*, 2011**).

En outre, exprimées en mg Equivalent Cyandin-3-glucoside/100g MS, les teneurs en anthocyanes de la prune noire sont très faibles ($1,91 \pm 0,08$ à $8,28 \pm 0,83$ mg C2GE/100g de MS). Les quantités d'anthocyanes contenus dans la pulpe des fruits issus de Ferkéssédougou et Tiébissou diffèrent significativement de celle des fruits de Yamoussoukro. Pour ce qui est de la teneur en anthocyane, les pelures de Ferkéssédougou et Yamoussoukro présentent une différence significative par rapport à celle des fruits de Tiébissou. Toutefois, les pelures restent toujours les plus riches.

D'ailleurs, les différences en termes de teneur en composés phénoliques, en flavonoïdes et en anthocyanes seraient dues à de nombreux facteurs tels que le degré de maturité des fruits lors de la récolte, les différences génétiques, les conditions environnementales lors de la croissance

de la plante, les rayons solaires et l'âge de la plante (**Jaakola et Hohtola, 2010; Beato et al., 2011; Tiwari et Cummins, 2013**).

Les teneurs en AA ($1,08 \pm 0,64$ à $13,88 \pm 2,77$ mg/100 g) ne diffèrent pas entre les fruits issus de Ferkéssédougou et Tiébissou. Par contre, une différence s'est avérée significative ($P < 0,05$) entre les fruits de Yamoussoukro et ceux des deux autres localités en ce qui concerne ce paramètre. Cette différence de la teneur en AA entre fruits spontanés de même espèce traités et stockés dans les mêmes conditions trouverait une explication dans l'intensité de la lumière et la température pendant la période de croissance de la plante. **Moor et al. (2005)** ont conclu que parmi les facteurs pré-récolte, l'intensité lumineuse et la température sont les facteurs les plus importants pour déterminer la teneur finale en vitamine C du produit. Plus la lumière est intense pendant la saison de croissance, plus la teneur en vitamine C dans les tissus végétaux est importante. La valeur de l'AA contenue dans les fruits issus de Yamoussoukro est similaire aux données publiées pour la prune noire récoltée dans trois régions de la Côte d'Ivoire (**Soro et al., 2018**) et supérieure à celle de la pêche et de la nectarine ($1,9 - 9,1$ mg/100 g) (**Cantín et al., 2009**). Cependant, les teneurs en Vitamine C des fruits de toutes les localités sont largement inférieures à la teneur moyenne en AA de certains fruits courants, tels que la mangue ($31,7 - 56,7$ mg/100 g) (**Rocha Ribeiro et al., 2007**) ou la papaye (74 mg/100g).

- **Identification et quantification des composés phénoliques dans les extraits de pulpes et de pelures de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro**

Interprétation

Selon les résultats obtenus, le composé phénolique majoritaire dans toutes les pulpes étudiées et dans la pelure des fruits issus de Ferkéssédougou est l'acide cinnamique. Toutefois, l'acide gallique est le composé majoritairement présent dans les pelures des fruits de Tiébissou ($2581,83 \pm 11,09$ mg/100 g de MS) et de Yamoussoukro ($7770,14 \pm 36,98$ mg/100 g de MS). Les travaux de **Zhang et al. (2014)** ont révélé que les acides cinnamiques à certaines concentrations inhibent la croissance et la prolifération des cellules leucémiques (K562) de manière dépendante du temps et de la concentration. De plus, ces auteurs ont observé une disparition de l'état de croissance de l'empilement des cellules K562 après le traitement par les acides cinnamiques, suggérant que l'inhibition par contact de la croissance cellulaire pouvait être restaurée. En plus, des données in vitro ont montré que, comparativement à leur équivalents benzoïques, les acides cinnamiques avaient la plus forte activité antioxydante se traduisant par leur forte capacité à neutraliser les radicaux peroxydes (**Natella et al., 1999**).

En ce qui concerne l'acide gallique, des études *in vitro* et *in vivo* ont montré une forte cytotoxicité de ce polyphénol contre les cellules cancéreuses et induisent la mort cellulaire par apoptose (Strlič *et al.*, 2002; Yen *et al.*, 2002). Verma *et al.* (2013) ont rapporté que l'acide gallique exerce des effets anti cancérogènes par le biais d'un ou de plusieurs mécanismes moléculaires d'action pléiotropes sur le cycle cellulaire, les processus apoptotiques, l'angiogenèse, l'invasion et les métastases.

En outre, l'échantillon contenant la plus forte teneur en phénols acides est donc la pelure des fruits de Yamoussoukro ($8937,65 \pm 57,3$ mg/100g de MS) et celui contenant le moins de phénols acides est la pulpe de Yamoussoukro ($872,47 \pm 46,7$ mg/100 g de MS). La quantité de phénols dans la pelure des fruits de Yamoussoukro est au moins dix fois plus élevée que celle dans la pulpe et, deux fois plus élevée que la quantité de phénols acides contenu dans la pelure des fruits de Tiébissou. La quantité de phénols dans la pelure des fruits de Ferkéssédougou est quatre fois moins élevée que celle de la pelure de Yamoussoukro. Selon Ndhlala *et al.* (2007), les variations de la teneur en acides phénoliques dépendraient de l'état nutritionnel de la plante, du génotype de la plante et des conditions environnementales. Par ailleurs, la teneur plus élevée en composés phénoliques dans les pelures de la prune noire serait due à l'augmentation de la température et aux radiations rencontrées dans les localités pendant le développement des fruits et la maturation (Gautier *et al.*, 2008; Schwartz *et al.*, 2009; Carbone *et al.*, 2009; Rosales *et al.*, 2011). La teneur plus élevée en composés phénoliques protégerait les fruits contre un stress oxydatif plus élevé dans les conditions climatiques prédominantes. Cependant, la teneur en phénols acides constatée plus faibles dans la pelure des fruits issus de Ferkéssédougou, zone pourtant de températures plus élevée au cours de l'année que la zone de Yamoussoukro, pourrait être principalement imputée aux températures trop élevée dans la localité de Ferkéssédougou et au déficit en humidité du sol. En effet, les travaux de Pereira *et al.* (2006), ont démontré que des températures trop élevées induisaient la dégradation de certains composés phénoliques chez le raisin. A ces auteurs, s'ajoutent Jeyaramraja *et al.* (2003) qui ont découvert qu'un déficit en humidité croissant du sol a entraîné une baisse de l'activité de la phénylalanine ammoniac lyase et, par conséquent, une réduction de la synthèse des composés phénoliques notamment l'acide gallique et la caféine dans le thé. Ainsi, l'absence de l'acide gallique dans la pulpe et la pelure des fruits issus de Ferkéssédougou confirme ce constat de Jeyaramraja *et al.* (2003) car la localité de Ferkéssédougou est une zone généralement de forte température et de sécheresse comparée aux autres localités.

En définitive, il convient de retenir que la prune noire dans son entièreté constitue une excellente source de composés phénoliques notamment l'acide cinnamique et l'acide gallique. Ce qui confirmerait leur intérêt dans la prévention de nombreuses maladies dégénératives.

- **Activités antioxydantes des extraits de pulpes et de pelures de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro : capacité de piégeage du radical (DPPH) et capacité de réduction ferrique (FRAP)**

Selon les résultats obtenus, les pelures ayant les plus fortes capacités antioxydantes sont issues de Tiébissou ($0,53 \pm 0,06$ mg/mL) et Yamoussoukro ($0,48 \pm 0,01$ mg/mL). Toutefois, aucune différence significative n'a été notée entre les IC 50 des pulpes ($P > 0,05$). Les valeurs des IC50 obtenues dans notre étude sont inférieures à celles de la prune noire récoltée dans les régions du Bagoué, du Tchologo et du Poro qui variaient de $0,018 \pm 0,02$ à $0,035 \pm 0,01$ mg/mL en Côte d'Ivoire (**Soro et al., 2018**). Cette variation trouverait une explication dans la quantité et la nature des polyphénols contenus dans les fruits. Par ailleurs, l'étude de corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antiradicalaire DPPH révèle que ces deux variables sont négativement corrélées ($r = -0,7997$). Ce qui signifie que les IC 50 des extraits à teneur en polyphénols totaux plus élevées devraient être plus basse. Ce qui n'est pas le cas dans notre étude. Il a été constaté que les teneurs en polyphénols totaux des extraits différaient significativement. Ce résultat pourrait donc être imputé aux types ou à la structure des composés phénoliques contenus dans les extraits. **Lien et al. (1999)** ont démontré que les activités antioxydantes des composés phénoliques variaient en fonction de la structure de la molécule, du nombre de groupes -OH et de leur position sur l'anneau. **Natella et al. (1999)** ont montré par exemple que les acides cinnamiques possèdent une forte capacité antioxydante comparativement à leur homologues acides benzoïques. Par ailleurs, une forte corrélation négative est observée entre la teneur en flavonoïdes totaux et l'activité DPPH des extraits. Des résultats similaires ont été obtenus par **Sariburun et al. (2010)** qui ont également observés que les flavonoïdes contenus dans la framboise et les fruits du mûrier étaient plus corrélés à l'activité DPPH que la teneur en polyphénols totaux. Les IC 50 des extraits de pelures des fruits issus de Yamoussoukro et Tiébissou ne font qu'environ 1/4 de celles des extraits de pulpes. Cette variation de la capacité antioxydante entre les extraits de pelures et de pulpes serait due à la différence entre leur composés phénoliques, à la quantité des composés phénoliques présents dans les extraits et à leur efficacité en tant qu'antioxydant (**Robards et al., 1999**). Seules les pelures de Tiébissou et Yamoussoukro contiennent de l'acide gallique qui de surcroît en est le

composé majoritaire. Comme nous pouvons le constater, le contenu total en composés phénoliques contribue très significativement à la réduction ferrique ($r = 0,97$, $P < 0,05$) dans les extraits qu'au piégeage des radicaux DPPH ($r = -0,80$, $P < 0,05$). Ce qui signifie que les composés phénoliques contenus dans les extraits des fruits étudiés dans ce travail ont plus de capacité à réduire le fer qu'à piéger les radicaux libres. Ils agiraient plus en tant que réducteur ferrique qu'en tant que piégeur de radical. Des résultats similaires ont été obtenus par **Lamien-Meda et al. (2008)**, **Xue et al. (2009)**, **Ma et al. (2011)** et **Sokamte et al. (2019)**.

- **Conclusion partielle**

Les caractéristiques morphologiques de la prune noire et de sa graine pourraient être utiles pour la conception de machines de manutention de ce fruit mais également pour les industriels ou toute personne désireuse de se lancer dans le domaine de la conservation et la transformation de ce fruit.

La pulpe et la pelure des fruits collectés dans les régions de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro sont caractérisées par des teneurs élevées en fibres et en éléments minéraux notamment le potassium, le phosphore, le calcium et le magnésium puis par le bon profil en acides aminés essentiels de leur protéine. Cependant, la pelure reste en général, la partie la plus riche en fibres et en calcium. Ces fruits constituent donc une bonne source de nutriments et de composés bénéfiques importants pour la santé. L'étude détaillée du contenu en composés phénoliques et en acide ascorbique Révèle que les extraits de pulpes et de pelures de la prune noire issue de Yamoussoukro contiennent la teneur en composés phénoliques la plus élevée parmi les fruits issus des trois zones. De même cette étude a démontré que, les extraits de pelures de la prune noire contiennent des concentrations en composés phénoliques supérieures à celles des pulpes. La plus grande capacité de récupération des radicaux libres et de réduction ferrique est observée dans les extraits de pelures des fruits de Yamoussoukro et de Tiébissou. Par ailleurs, des corrélations significatives ont été observées entre les capacités antioxydantes et les teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes. L'analyse préliminaire des extraits de pelures et de pulpes par HPLC a révélé la présence de certains acides phénoliques ayant de bonnes activités biologiques qui pourraient expliquer leur activité antioxydante. Les résultats suggèrent que les pelures de la prune noire pourraient être utilisées comme source peu coûteuse d'antioxydant naturel. Ainsi, de par leur capacité de piégeage de radicaux libres et de leur pouvoir réducteur ferrique, les pelures de la prune noire pourraient contribuer à la prévention

des maladies liées à des taux anormalement élevés d'espèces réactives d'oxygènes dans l'organisme. La consommation de la pulpe et de la pelure de la prune noire est alors recommandée. Par conséquent, nous proposons une intégration des parties de ce fruit dans le régime alimentaire des populations afin que ce fruit contribue au maintien de la santé. Dès lors, la pulpe et la pelure de la prune noire peuvent être transformées en poudre pour servir dans la formulation de bioproduit.

IV. VALORISATION DE LA PRUNE NOIRE EN BIOPRODUIT : GÂTEAU

4.1. RESULTATS

4.1.1. Propriétés fonctionnelles des poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire

Le tableau 22 présente les propriétés fonctionnelles des poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire.

Il ressort que la capacité d'absorption d'eau (CAE) de ces poudres est comprise entre $385,81 \pm 8,55$ % (pelure) et $526,19 \pm 7,27$ % (pulpe). L'indice de solubilité dans l'eau (ISE) de ces poudres est de l'ordre de $43,44 \pm 0,68$ % (pelure) et $56,02 \pm 0,57$ % (pulpe). De plus, la capacité d'absorption d'huile (CAH) des poudres de prune noire est de $102,1 \pm 2,09$ % (pelure) et de $106,58 \pm 5,07$ % (pulpe). Il faut noter que l'analyse statistique a révélée qu'il existe une forte différence ($P < 0,05$) entre le rapport hydrophile – lipophile (RHL) des poudres de la pulpe ($4,64 \pm 0,23$) et de la pelure ($3,78 \pm 0,07$). Les valeurs les plus élevées de CAE, ISE et RHL sont présentées par la poudre de la pulpe de la prune noire.

A partir du même tableau, nous pouvons conclure que les densités apparentes (DA), les pouvoir gonflant (PG), les capacités émulsifiante (CE) et les stabilités d'émulsions (SE) des échantillons (poudres de la pulpe et la pelure) ne présentent aucune différence significative ($P > 0,05$). Leurs valeurs varient de $0,78 \pm 0,03 - 0,81 \pm 0,01$ pour la DA, de $3,56 \pm 0,61 - 2,99 \pm 0,03$ pour le PG, de $48,27 \pm 1,27 - 52,21 \pm 1,95$ pour la CE et de $115,87 \pm 5,57 - 116,95 \pm 2,96$ pour SE.

Tableau 21: Propriétés fonctionnelles des farines de la pulpe et de la pelure de la prune noire

Propriétés fonctionnelles	Farines	
	Pulpe	Pelure
CAE (%)	526,19 ± 7,27 ^b	385,81 ± 8,55 ^a
ISE (%)	56,02 ± 0,57 ^b	43,44 ± 0,68 ^a
PG (g/g de farine sèche)	3,56 ± 0,61 ^a	2,99 ± 0,03 ^a
DA (g/cm ³)	0,78 ± 0,03 ^a	0,81 ± 0,01 ^a
CAH (%)	106,58 ± 5,07 ^a	102,1 ± 2,09 ^a
RHL	4,64 ± 0,23 ^b	3,78 ± 0,07 ^a
CE (%)	48,27 ± 1,27 ^a	52,21 ± 1,95 ^a
SE (%)	115,87 ± 5,57 ^a	116,95 ± 2,96 ^a

Les résultats sont exprimés comme la moyenne ± écartype de trois déterminations distinctes. Les données ont été analysées par le test de student (t-test) à $p < 0,05$, dans chaque ligne, des lettres différentes indiquent des valeurs statistiquement différentes. **CAE** : capacité d'absorption d'eau ; **ISE** : indice de solubilité dans l'eau ; **PG** : pouvoir gonflant ; **DA** : densité apparente ; **CAH** : capacité d'absorption d'huile ; **RHL** : rapport hydrophile-lypophile ; **CE** : capacité émulsifiante et **SE** : stabilité de l'émulsion.

4.1.2. Caractéristiques physiques et rhéologiques des gâteaux réalisés par la farine composée blé-prune noire (pulpe et pelure)

4.1.2.1. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur les caractéristiques physiques des cakes

Les propriétés physiques (la densité spécifique, le taux de pertes, le rendement des pâtes, le volume, l'indice de volume, l'indice de symétrie et l'indice d'uniformité) des pâtes et des gâteaux obtenus à partir des farines composées blé – pelure de prune noire (FVpe) et blé-pulpe de prune noire (FVpu) sont présentés dans le **tableau 23**. Excepté la densité, il n'y a pas de différence significative entre les échantillons de gâteaux préparés en ce qui concerne le taux de perte et de rendement de la pâte. Le taux de perte et le rendement des pâtes sont compris respectivement entre $9,17 \pm 1,34$ et $10,59 \pm 1,33$ et $90,43 \pm 1,08$ et $91,61 \pm 1,13$ g/100g. Selon les résultats observés dans le **tableau 23**, la densité baisse suite à la substitution partielle de la farine de blé par celles de la pelure et de la pulpe de la prune noire. Toutefois aucune différence significative n'est révélée entre les densités des pâtes issues de farine de blé partiellement substituée malgré l'augmentation du taux de substitution, de 0 à 7%, de la farine de blé.

En se référant au même **tableau**, on déduit que le volume du gâteau diminue avec la substitution de la farine de blé par celle de la pulpe de la prune noire. Il est de même pour la pelure. Le volume du gâteau issu de la farine 100% blé est de $492,20 \pm 4,58 \text{ cm}^3$ tandis que ceux issus des farines substituées sont comprises entre $397,85 \pm 9,45$ et $435,00 \pm 11,80 \text{ cm}^3$. De plus, les plus petits volumes de gâteaux, s'observent au niveau du gâteau substitué à 7% de poudre de pulpe de prune noire (FVpu).

S'agissant des indices de volume, les gâteaux à 3%FVpu, 3%FVpe, 5%FVpe, 5%FVpu et le control, présentent pratiquement les mêmes indices de volume. Par contre, les poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire à 7% d'incorporation réduisent significativement l'indice de volume du gâteau.

Il ressort de l'analyse du tableau que l'indice de symétrie des gâteaux augmente tandis que l'indice d'uniformité reste invarié quelle que soit la formulation à l'exception de 3%FVpu et 7%FVpu.

Aussi, pouvons nous conclure que les activités d'eau (A_w) dans les différents gâteaux sont élevées de façon générale. Elles A_w varient de $0,85 \pm 0,00$ à $0,88 \pm 0,00$. La plus faible A_w est observée dans les gâteaux à 7% FVpu tandis que la plus forte valeur est observée dans les gâteaux à 3% FVpu.

Tableau 22: Caractérisation physique des pâtes et des cakes issus de l'incorporation des farines de la pelure et de la pulpe de la prune noire dans la farine de blé.

Sample	Pâtes			Gâteaux				Aw
	Density	Taux de perte (g/100g)	Rendement des pâtes (g/100g)	Volume (cm ³)	Indice de volume (cm)	Indice de symétrie (cm)	Indice d'uniformité (cm)	
Control	1,15 ± 0,03 ^b	10,59 ± 1,33 ^a	90,43 ± 1,08 ^a	492,20 ± 4,58 ^c	21,31 ± 0,90 ^b	-0,61 ± 0,06 ^a	0,16 ± 0,04 ^b	0,87 ± 0,00 ^b
3%FVPu	0,94 ± 0,02 ^a	9,70 ± 0,40 ^a	91,15 ± 0,33 ^a	432,35 ± 4,85 ^b	20,04 ± 2,11 ^b	-0,52 ± 0,06 ^{ab}	-0,15 ± 0,01 ^{ab}	0,88 ± 0,00 ^c
3%FVPe	0,93 ± 0,02 ^a	9,49 ± 0,51 ^a	91,33 ± 0,43 ^a	423,07 ± 14,12 ^b	19,59 ± 0,32 ^b	0,36 ± 0,07 ^{ab}	0,12 ± 0,04 ^b	0,86 ± 0,00 ^b
5%FVPu	0,94 ± 0,02 ^a	9,60 ± 0,69 ^a	91,24 ± 0,58 ^a	430,35 ± 9,15 ^b	19,77 ± 1,86 ^b	0,34 ± 0,06 ^{ab}	0,31 ± 0,01 ^b	0,86 ± 0,00 ^b
5%FVPe	0,92 ± 0,06 ^a	9,37 ± 0,35 ^a	91,43 ± 0,29 ^a	435,00 ± 11,80 ^b	22,85 ± 0,86 ^b	0,32 ± 0,03 ^{ab}	0,14 ± 0,07 ^b	0,87 ± 0,00 ^b
7%FVPu	0,95 ± 0,01 ^a	9,18 ± 0,14 ^a	91,59 ± 0,12 ^a	397,85 ± 9,45 ^a	18,01 ± 0,92 ^a	-0,26 ± 0,09 ^{ab}	-0,14 ± 0,04 ^{ab}	0,85 ± 0,00 ^a
7%FVPe	0,95 ± 0,01 ^a	9,17 ± 1,34 ^a	91,61 ± 1,13 ^a	417,50 ± 12,70 ^b	16,56 ± 1,90 ^a	0,53 ± 0,12 ^b	-0,13 ± 0,02 ^{ab}	0,87 ± 0,00 ^b

Les résultats sont exprimés comme la moyenne ± écartype de cinq répétitions et déterminations distinctes. Les données ont été analysées par ANOVA et, dans chaque colonne de chaque groupe (pulpe et pelure), des lettres différentes indiquent des valeurs statistiquement différentes selon la comparaison Tuckey HSD à p <0,05

4.1.2.2. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la température de gélification et les propriétés rhéologiques des pâtes.

4.1.2.2.1. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la température de gélification de la pâte

La **figure 29**, montre les thermogrammes du test de calorimétrie différentielle à balayage pour les échantillons de farine de blé et de farines de blé – poudres (pulpe et pelure) de la prune noire. Ces thermogrammes révélant le comportement des échantillons recevant de la chaleur, mettent en évidence des pics endothermiques. Les températures moyennes de transition de gélification aussi bien que les gammes de températures de gélification et les indices de hauteur de pics sont calculées et présentées dans le **tableau 24**.

Les pics endothermiques pour l'échantillon témoin et les échantillons avec incorporation de FVPu et FVPe de 3 à 7%, apparaissent entre 58,97 °C et 81,37 °C. Les températures de transition des échantillons analysés (T_0 et T_F) ne montre pas de différences significatives entre elles. De plus, les gammes de gélification des échantillons sont en moyenne de 20,63 °C. Cependant, les indices de hauteur de pics (IHP) des échantillons de farines de blé avec incorporation de FVPu et FVPe sont significativement plus élevés que celui du témoin ($0,88 \pm 0,06$ J/g °C). Les IHP des échantillons avec FVPu et FVPe incorporés ne présentent aucune différence significative entre eux et les valeurs sont en moyenne de 1,06 5 (J/g °C).

Par ailleurs, les températures de pointes (T_p) et les enthalpies de gélification des différents échantillons sont présentés sur la **figure 30**. A l'analyse de cette figure, il ressort que les températures de pointes et les enthalpies de gélification varient respectivement de 65,87 °C à 65,22 °C et de 5,53 J/g à 6,71 J/g. De même, cette figure montre une décroissance significative des températures de pointe des échantillons avec l'augmentation de la quantité de FVPu et FVPe incorporées. Les températures de pointe les plus basses sont observées au niveau des échantillons à 5% et 7% de FVPe. Aussi, l'enthalpie de gélification du témoin est-elle la plus faible (5,583 J/g). Les valeurs de températures de pointes des échantillons à FVPu et FVPe incorporées ne sont pas significativement différent. Les valeurs de l'enthalpie des échantillons à 3 et 5% de FVPu n'ont pas significativement variés, mais, il est observé une légère baisse de l'enthalpie à 7% de FVPu (6,313 J/g). Par ailleurs, l'enthalpie des échantillons à 5 et 7% FVPe baisse avec l'augmentation du taux de FVPe incorporées. Toutefois, ces valeurs d'enthalpies restent supérieures à celle du témoin. En somme, à des taux d'incorporation supérieurs à 3%,

la farine de la pelure de la prune noire influence plus l'enthalpie de gélification et les températures de pointe de la farine de blé.

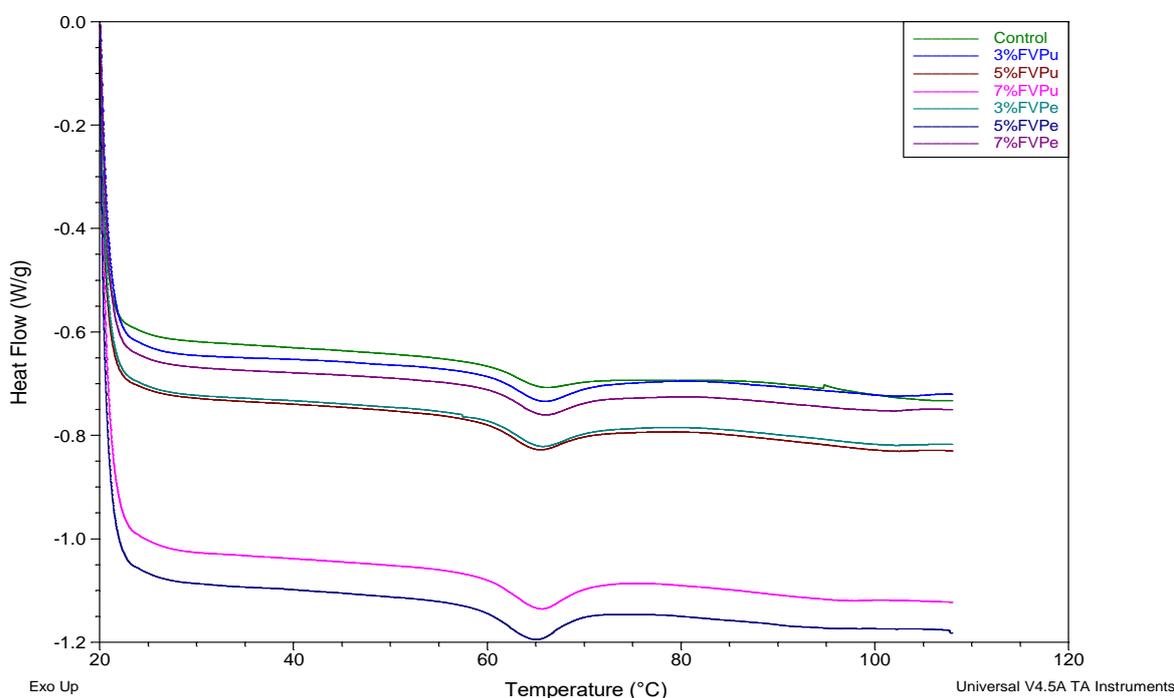


Figure 29: Thermogramme typiques de DSC des échantillons de farine de blé (control) et de farines de blé avec la farine de pulpe et pelure de la prune noire incorporées à différents pourcentages.

Tableau 23: Propriétés thermiques (DSC) de la farine de blé et de la farine de blé avec la farine de la pulpe et de la pelure de la prune noire incorporées à différents pourcentages

Echantillons	T ₀ (°C)	T _c (°C)	IHP	R
Control	59,46 ± 0,26 ^a	81,37 ± 3,39 ^a	0,88 ± 0,06 ^a	21,91 ± 3,13 ^a
3%FVPu	58,97 ± 0,39 ^a	79,55 ± 2,18 ^a	1,08 ± 0,00 ^b	20,58 ± 1,79 ^a
3%FVPe	59,26 ± 0,20 ^a	80,63 ± 0,57 ^a	1,09 ± 0,00 ^b	21,37 ± 0,67 ^a
5%FVPu	59,39 ± 0,00 ^a	78,36 ± 0,68 ^a	1,05 ± 0,02 ^b	18,97 ± 0,68 ^a
5%FVPe	59,13 ± 0,29 ^a	80,07 ± 1,48 ^a	1,08 ± 0,01 ^b	20,93 ± 1,19 ^a
7%FVPu	59,00 ± 0,07 ^a	79,44 ± 0,21 ^a	1,03 ± 0,00 ^b	20,43 ± 0,13 ^a
7%FVPe	59,75 ± 0,30 ^a	80,01 ± 0,83 ^a	1,04 ± 0,00 ^b	20,25 ± 0,53 ^a

To = température de début, TF = température de fin, R = gamme de gélification (T_c - T₀); ΔH = enthalpie de gélification, IHP = indice de hauteur de pic ΔH / (T_p - T₀)

Pour chaque paramètre déterminé, les valeurs suivies de la même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes à p > 0,05, test HSD de Tukey.

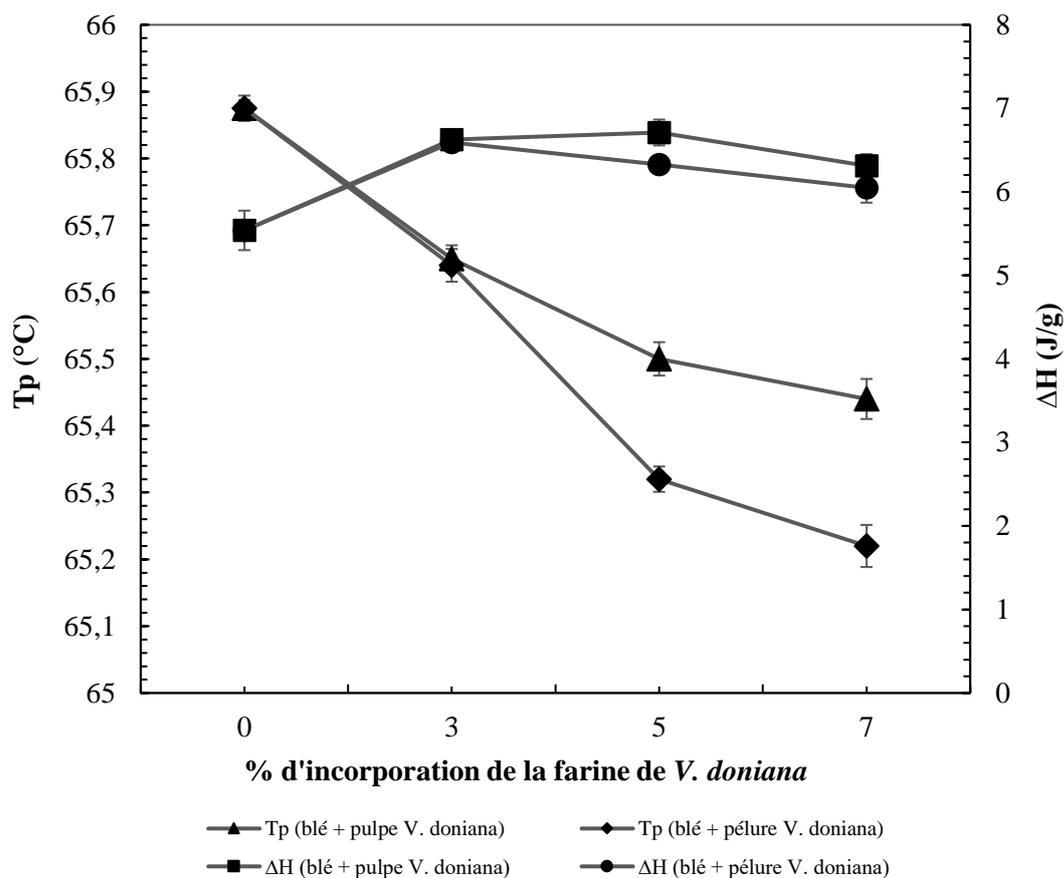


Figure 30: Température de pointe (Tp) et enthalpies (ΔH) des mélanges de farine de blé et de farine de pulpe et de pelure de la prune noire de (0 – 7%).

4.1.2.2.2. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur les propriétés rhéologiques de la pâte

- **Comportement d'écoulement**

Le comportement d'écoulement des pâtes est représenté par les **figures 31** et **32**. Sur ces figures, il est observé que la contrainte de cisaillement (Pa) croît avec le taux de cisaillement (1/s) tandis que la viscosité apparente elle décroît. Par ailleurs, l'augmentation de la quantité des poudres de pulpes et de pelure sde la prune noire n'affecte pas la viscosité apparente de la pâte à gâteau.

A partir de la **figure 31**, il ressort qu'à toutes les valeurs du taux de cisaillement, les contraintes de cisaillement des échantillons à 3%FVPu et 3%FVPe et celles du témoin, sont plus élevées aux réponses des autres pâtes à gâteaux. Par contre, les valeurs de contrainte de cisaillement des pâtes à 5%FVPe et 7%FVPe sont inférieures à celles des autres pâtes.

Les données de contraintes de cisaillement (τ) par rapport au taux de cisaillement ($\dot{\gamma}$) obtenues pour les échantillons de pâtes à gâteaux sont ajustées au modèle de Hershel Bulkley et sont présentées dans le **tableau 25**. Selon ce tableau, les coefficients de détermination des échantillons varient de 0,93 – 0,99. Les valeurs de l'indice du comportement d'écoulement (n) des pâtes à gâteau vont de 0,11 à 0,19 tandis que les valeurs de l'indice de consistance (K) se situent entre 267,31 et 571,54 ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$). Les valeurs de n sont inférieures à 1 pour tous les échantillons. De plus, l'ajout des farines de la pulpe et de la pelure de la prune noire n'a aucun effet significatif ($P>0,05$) sur l'indice du comportement d'écoulement et celui de la consistance des pâtes à gâteau, à l'exception de la pâte à gâteau à 3% de FVPe qui montre des valeurs d'indice de consistance faible par rapport aux autres échantillons.

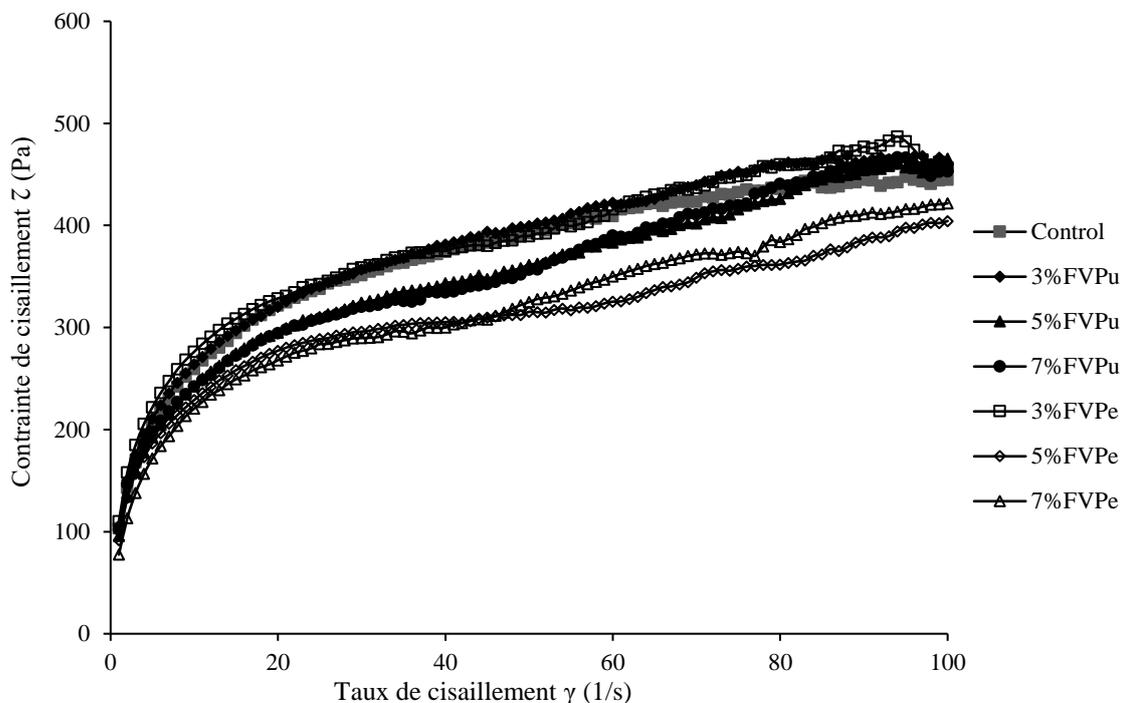


Figure 31: Courbe d'écoulement montrant la relation entre le taux de cisaillement et la contrainte de cisaillement des pâtes à gâteau.

3%FVPu, 5%FVPu et 7%FVPu : farine de pulpe de la prune noire respectivement à 3, 5 et 7% d'incorporation.

3%FVPe, 5%FVPe et 7%FVPe : farine de la pelure de la prune noire respectivement à 3, 5 et 7% d'incorporation.

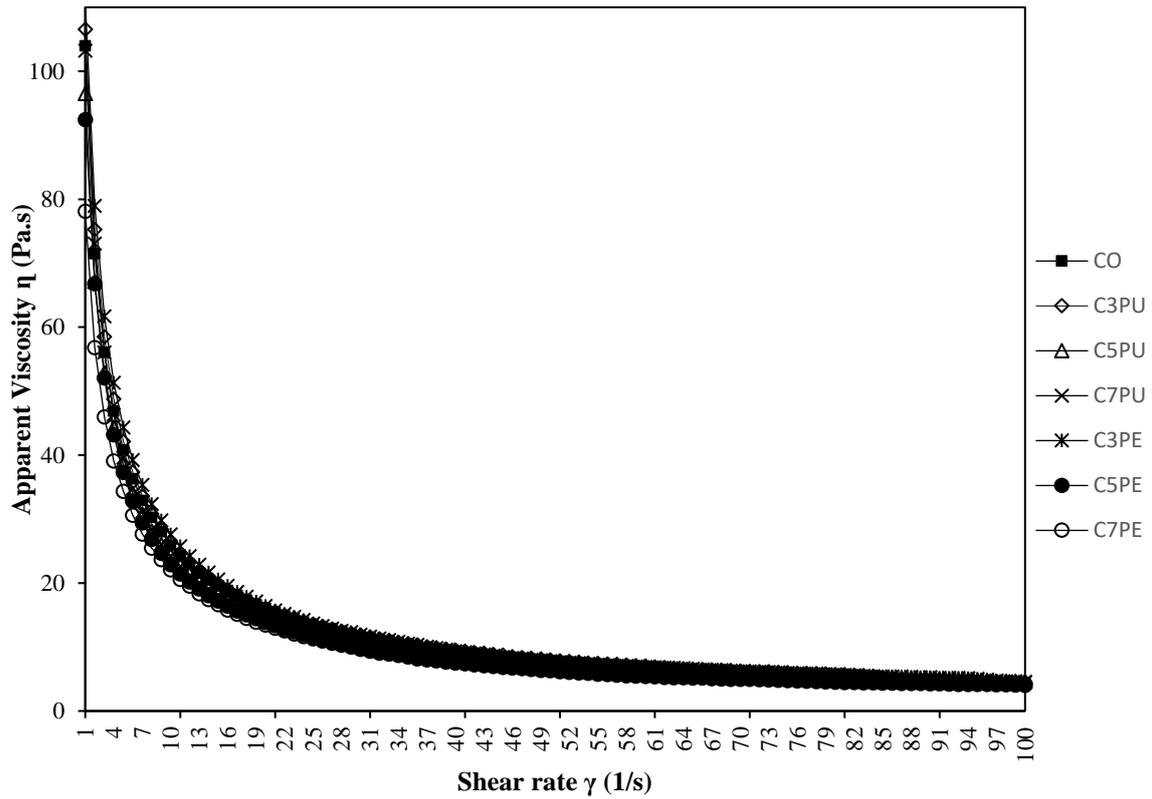


Figure 32: Courbe d'écoulement montrant la relation entre le taux de cisaillement et la viscosité apparente des pâtes à gâteau

C3PU, C5PU et C7PU : farine de pulpe de la prune noire respectivement à 3, 5 et 7% d'incorporation.

C3PE, C5PE et C7PE : farine de la pelure de la prune noire respectivement à 3, 5 et 7% d'incorporation.

CO : Echantillon témoin

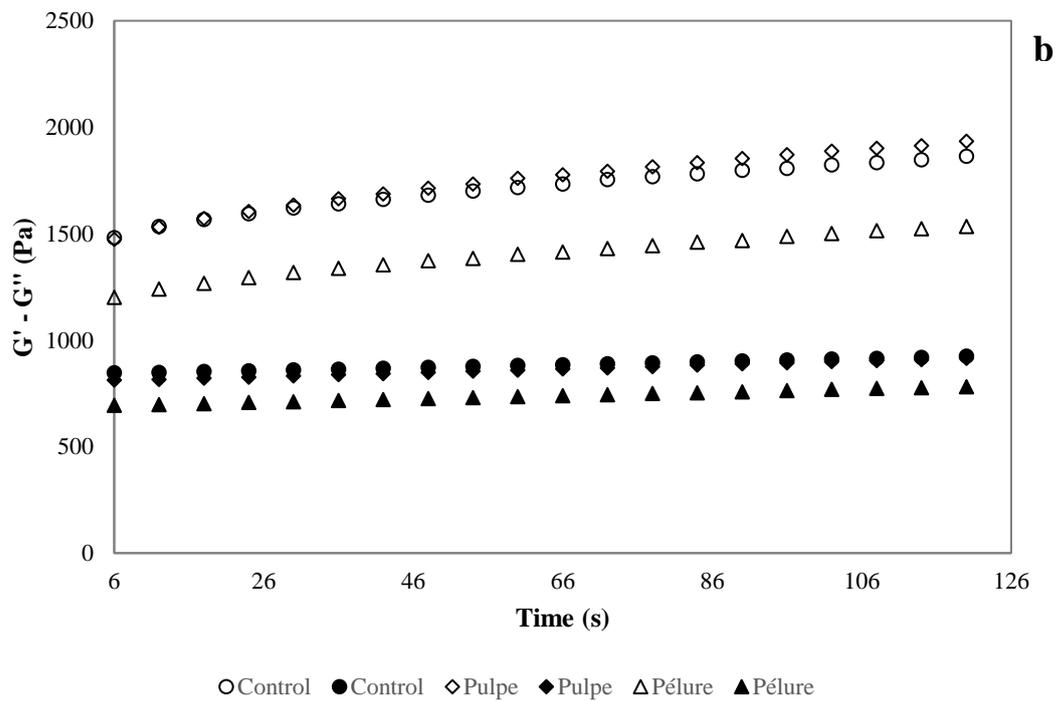
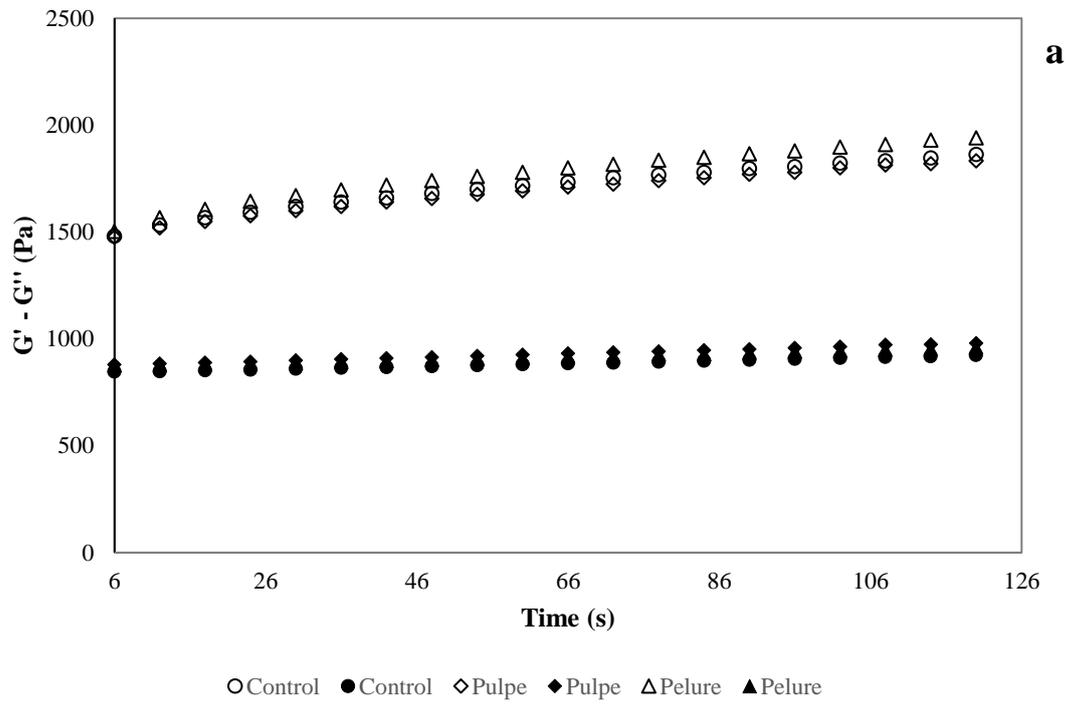
Tableau 24: Constantes du modèle de Herschel Bulkley décrivant les courbes d'écoulement de la pâte à gâteau à différents taux d'incorporation de la farine de la pulpe et de la pelure de la prune noire.

Pourcentage d'incorporation	Farine de la prune noire		<i>n</i>	<i>K</i> (Pa.s ^{<i>n</i>})	<i>r</i> ²
	Pulpe	Pelure			
0	0	0	0,11 ± 0,00 ^a	571,54 ± 1,39 ^b	0,98 ± 0,01 ^a
3	3	0	0,18 ± 0,01 ^a	309,83 ± 39,74 ^{ab}	0,93 ± 0,08 ^a
3	0	3	0,19 ± 0,03 ^a	267,31 ± 66,79 ^a	0,99 ± 0,00 ^a
5	5	0	0,14 ± 0,04 ^a	376,51 ± 43,39 ^{ab}	0,97 ± 0,00 ^a
5	0	5	0,14 ± 0,01 ^a	410,85 ± 46,02 ^{ab}	0,97 ± 0,01 ^a
7	7	0	0,19 ± 0,01 ^a	448,29 ± 52,02 ^{ab}	0,95 ± 0,01 ^a
7	0	7	0,19 ± 0,02 ^a	438,16 ± 62,28 ^{ab}	0,96 ± 0,01 ^a

Pour chaque paramètre déterminé, les valeurs suivies de la même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes à $p > 0,05$, test HSD de Tukey, *K* : indice de consistance ; *n* : indice du comportement d'écoulement

- **Comportement de viscoélasticité**

Les propriétés viscoélastiques de la farine de blé et la farine de blé substituée examinées à l'aide du test d'oscillation dynamique sont illustrées par les **figure 33 a-d**. Le module de stockage (*G'*) de toutes les formulations de pâtes à gâteau donne des valeurs plus élevées par rapport au module de perte (*G''*). Le module de stockage (*G'*) démontre une légère dépendance à la durée de la contrainte de cisaillement (**Figure 33 a-c**), l'incorporation de la farine de la pulpe de la prune noire n'affecte pas significativement l'élasticité (*G'*) et la viscosité (*G''*) de la pâte à gâteau malgré l'augmentation du taux d'incorporation de cette poudre (**figure 33 a-c**). Cependant, une baisse de l'élasticité (*G'*) et de la viscosité (*G''*) par rapport aux autres échantillons avec l'ajout de la poudre de la pelure de la prune noire est observée à 5% et 7% d'incorporation. Par ailleurs, les valeurs de tangente de perte (*Tan δ*) sont inférieures à 1 et dépendante de la durée d'application de la contrainte de cisaillement (**Figure 33d**). Toutefois, aucune différence significative n'est observée entre les valeurs de viscoélasticité de toutes les pâtes à gâteau.



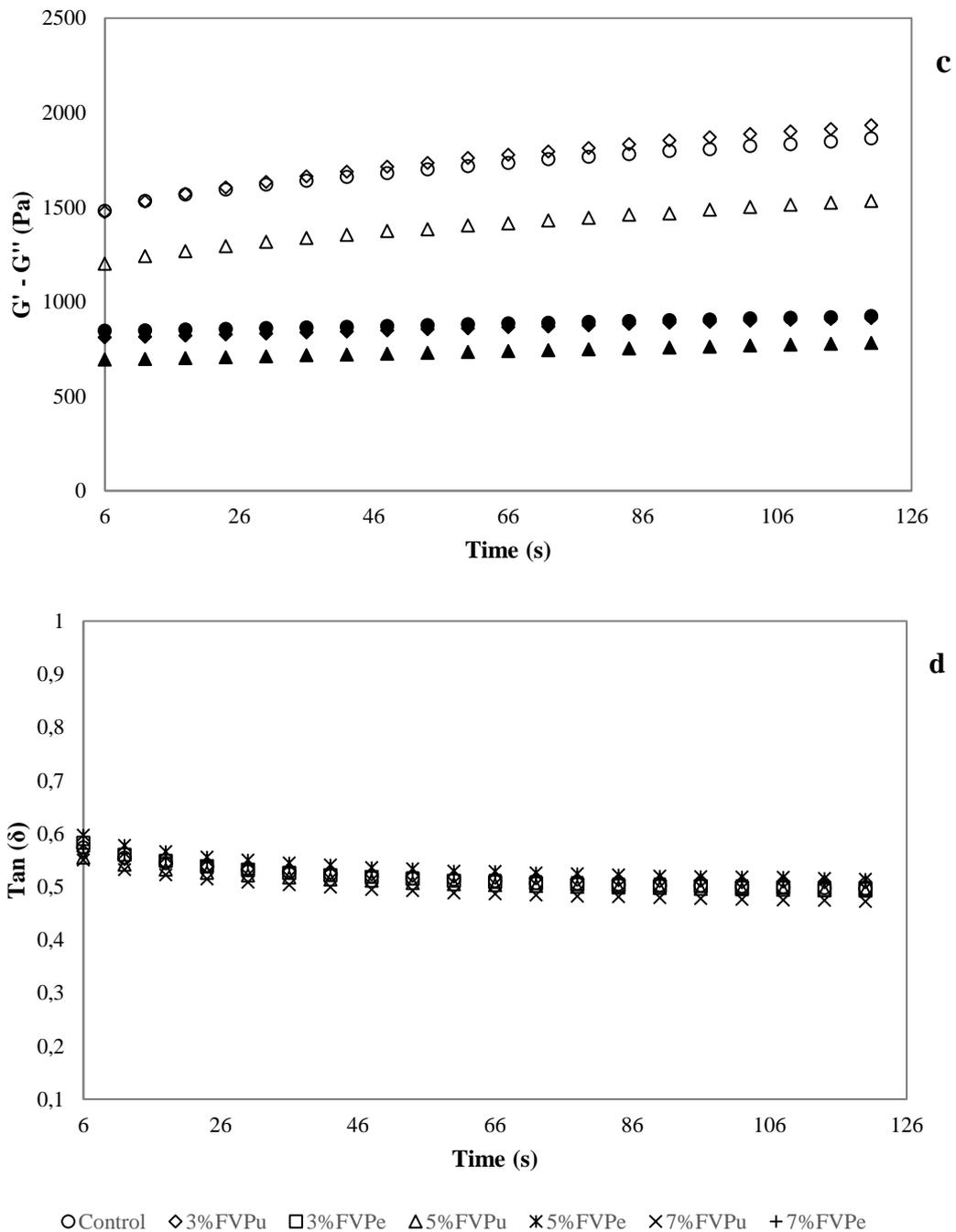


Figure 33: Comportement viscoélastique des pâtes à gâteau.

a, b et c : $G' - G''$ en fonction du temps de cisaillement des pâtes à gâteau de la farine de blé contenant la farine de la pulpe (FVPu) ou pelure (FVPe) de la de la prune noire respectivement à 3 %, 5 % et 7 % ; **d** : $\tan \delta$ en fonction du temps de cisaillements des pâtes à gâteau des échantillons pour **a**, **b** et **c** ; les symboles ouverts font références au module de stockage (G') et les symboles fermés indiquent le module de perte (G'').

4.1.2.3. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la coloration et la texture des gâteaux.

La **figure 34** montre des échantillons de gâteaux préparés avec la farine de blé à 100% et les farines de blé avec poudres de pulpes (FVpu) et de pelures (FVpe) de la prune noire incorporées.

Les données relatives à l'effet de l'ajout de FVpu et FVpe sur la couleur de la croûte et de la mie des gâteaux sont présentées dans le **tableau 26**. Des différences significatives sont observées entre la croûte et la mie du gâteau témoin et celles des gâteaux issus des farines substituées. En ce qui concerne la croûte, le gâteau témoin montre la valeur la plus élevée de L^* (la clarté) est présentée par le gâteau témoin. La croûte des gâteaux est devenue de plus en plus sombre (L^* faible) ($59,22 \pm 9,75 - 37,50 \pm 1,58$) avec l'augmentation du taux d'incorporation de FVpu et FVpe. Et, cette variation graduelle est perceptible à 3 et 7%. La clarté des gâteaux à 5% d'incorporation des farines de pulpe et pelure de prune noire est intermédiaire. De plus, aucune différence significative ($P > 0,05$) n'existe entre les valeurs de couleur a^* (rouge) des croûtes des gâteaux. Ce qui n'est pas le cas pour les valeurs de couleur b^* (jaune) des croûtes. Outre le témoin, les valeurs de couleurs b^* les plus élevées sont notées à 3% de FVpu et 3 et 5% de FVpe. L'effet des incorporations de FVpu et FVpe sur l'angle de teinte (h^*) et la valeur de la chroma (C^*) est plus évident à 7% d'incorporation.

Les résultats concernant la coloration de la mie des gâteaux sont présentés dans le **tableau 27**. Une décroissance significative ($P < 0,05$) des valeurs de L^* ($82,63 \pm 0,21 - 47,09 \pm 0,44$) avec l'augmentation du taux de FVpu et FVpe est constaté. Par ailleurs, de façon générale, l'incorporation des deux poudres de prune noire (pulpe et pelure) induisent une croissance de la valeur des couleurs a^* et une réduction des valeurs de b^* , h^* et C^* des mies des gâteaux. Mais, les valeurs de couleur a^* croissent avec l'augmentation du taux d'incorporation des poudres de prunes noires. Les gâteaux à 3, 5 et 7% d'ajout de FVpu ne révèlent pas de différences ($P > 0,05$) au niveau de l'indice de couleur a^* . Aussi, à 5 et 7% d'ajout de FVpu et FVpe, les valeurs de b^* , h^* et C^* ne varient-elles pas ($P > 0,05$).

Les propriétés de texture des gâteaux à 0%, 3%, 5% et 7% de FVpu et FVpe, sont évaluées par l'analyse des paramètres suivants : dureté, cohésion, guminess, masticabilité, adhésivité, élasticité et résilience (**Tableau 27**). Les résultats obtenus montrent que les propriétés de texture modifiées par l'incorporation de FVpu et FVpe ne sont que la dureté, la cohésion et l'adhésivité. En effet, la dureté des gâteaux à 5% et 7% de FVpu et ceux à 7% de FVpe augmente de manière

significative ($P < 0,05$) par rapport au gâteau témoin. A 5% et 7% de substitution de la farine de blé par FVpu et à 7% d'ajout de FVpe, la dureté augmente respectivement de 14,18%, 21,83% et 22,20% par rapport au témoin. En outre, l'addition de FVpu et FVpe engendre une diminution significative ($P < 0,05$) de la cohésion des gâteaux comparativement au témoin. Cependant, une baisse croissante avec l'augmentation du taux d'incorporation de FVpu et FVpe n'est pas observé, excepté les gâteaux à 7% de FVpu qui présentent une cohésion remarquablement faible. Concernant l'adhésivité des gâteaux, il est noté une absence d'adhésion au niveau du gâteau témoin et celui à 3% de FVpu. Toutefois, l'addition de FVpu à 5% et 7% puis, de FVpe à 3%, 5% et 7%, conduit à une adhésivité des gâteaux. Par ailleurs, toutes les autres propriétés de texture des gâteaux notamment le guminess, la masticabilité, l'élasticité et la résilience ne sont pas affectées par la substitution de la farine de blé par FVpu ou FVpe.

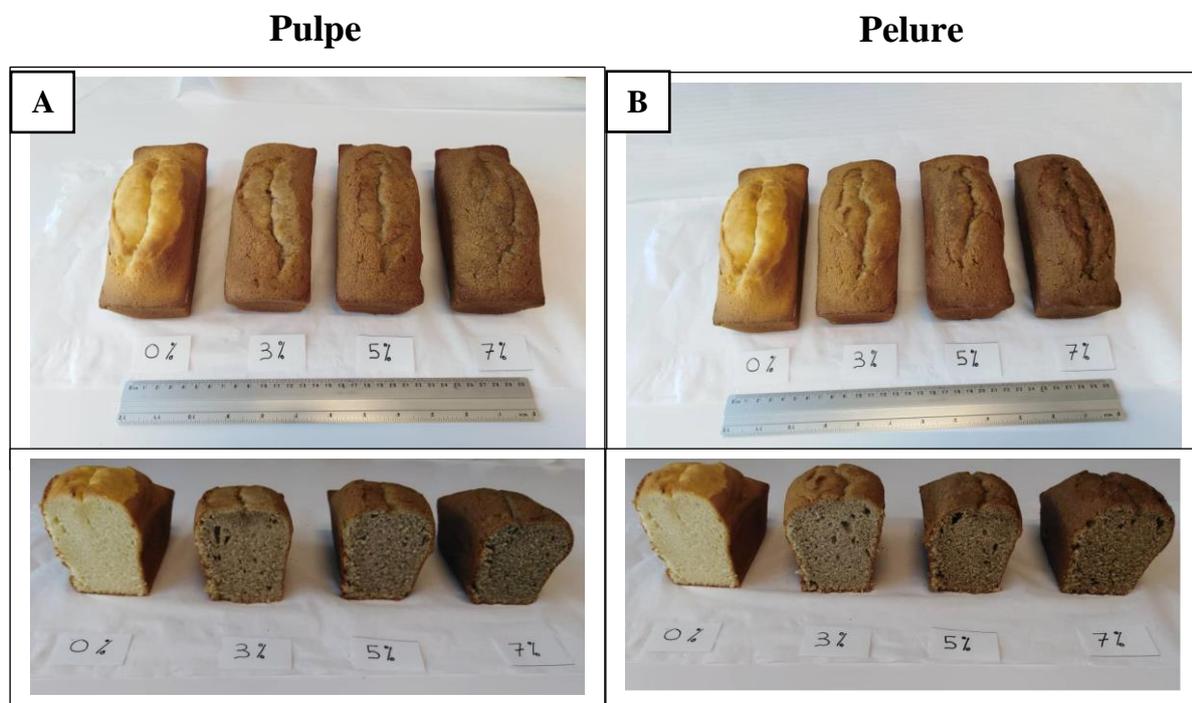


Figure 34: Gâteaux avec différents niveaux d'incorporation de la farine de la pulpe (A) et de la pelure (B) de la prune noire

Tableau 25: Valeurs moyennes de mesures de la couleur des croûtes et des mies de gâteaux partiellement substitués par différents niveaux de farines de la pulpe et de la pelure de la prune noire.

Sample	Croûte					Mie				
	L*	a*	b*	h*	C*	L*	a*	b*	h*	C*
Control	59,22 ± 9,75 ^c	14,44 ± 4,31 ^a	38,72 ± 3,70 ^e	1,21 ± 0,10 ^c	26,20 ± 2,49 ^e	82,63 ± 0,21 ^d	1,45 ± 0,09 ^a	25,63 ± 0,42 ^d	1,51 ± 0,00 ^e	20,30 ± 0,26 ^d
3%VPu	47,19 ± 2,19 ^d	13,00 ± 2,53 ^a	29,84 ± 3,15 ^d	1,16 ± 0,04 ^{bc}	19,52 ± 1,95 ^d	57,97 ± 1,03 ^c	5,56 ± 0,13 ^c	20,44 ± 0,20 ^b	1,31 ± 0,00 ^{cd}	14,61 ± 0,11 ^c
3%VPe	46,16 ± 3,51 ^{cd}	13,17 ± 1,18 ^a	29,22 ± 2,02 ^{bd}	1,15 ± 0,05 ^b	19,22 ± 1,30 ^{cd}	58,71 ± 2,04 ^c	4,38 ± 1,12 ^b	17,36 ± 1,67 ^a	1,33 ± 0,03 ^d	12,67 ± 0,99 ^b
5%VPu	43,19 ± 2,60 ^{bd}	12,38 ± 2,25 ^a	26,44 ± 2,20 ^c	1,14 ± 0,05 ^b	17,32 ± 1,40 ^b	52,83 ± 0,46 ^b	4,81 ± 0,04 ^{bc}	16,39 ± 0,12 ^a	1,28 ± 0,00 ^c	11,63 ± 0,08 ^a
5%VPe	42,27 ± 1,90 ^{bc}	13,24 ± 1,14 ^a	26,87 ± 1,33 ^{bc}	1,11 ± 0,02 ^{ab}	17,67 ± 0,98 ^{bc}	52,05 ± 0,82 ^b	6,82 ± 0,06 ^d	20,97 ± 0,16 ^c	1,26 ± 0,00 ^b	14,46 ± 0,14 ^c
7%VPu	40,85 ± 1,59 ^{ab}	12,58 ± 1,36 ^a	25,30 ± 1,72 ^c	1,11 ± 0,02 ^{ab}	16,59 ± 1,19 ^{ab}	47,12 ± 0,64 ^a	5,40 ± 0,07 ^c	16,25 ± 0,25 ^a	1,25 ± 0,00 ^b	11,11 ± 0,20 ^a
7%VPe	37,50 ± 1,58 ^a	12,61 ± 0,94 ^a	22,60 ± 1,42 ^a	1,06 ± 0,02 ^a	15,13 ± 1,02 ^a	47,09 ± 0,44 ^a	7,79 ± 0,03 ^e	21,47 ± 0,19 ^{bc}	1,22 ± 0,00 ^a	14,28 ± 0,16 ^c

Les résultats sont exprimés comme la moyenne ± écartype de cinq répétitions et déterminations distinctes. Les données ont été analysées par ANOVA et, les valeurs moyennes pour les gâteaux de la même colonne non suivis de la même lettre en exposant sont significativement différentes selon la comparaison Tuckey HSD à p <0,05. h* : angle de teinte et C* : chroma.

Tableau 26: Valeurs moyennes des mesures de la texture des mies de gâteaux partiellement substituées par différents niveaux de farines de la pulpe et de la pelure de la prune noire.

Sample	Dureté (N)	Cohésion	Guminness (N)	Masticabilité	Adhésivité (g/s)	Elasticité (%)	résilience (%)
Control	13,60 ± 1,19 ^a	0,62 ± 0,05 ^c	8,41 ± 0,26 ^b	695,41 ± 35,83 ^b	-	81,10 ± 4,65 ^a	20,04 ± 1,43 ^b
3%FVpu	14,83 ± 1,68 ^{ab}	0,56 ± 0,02 ^b	8,37 ± 0,89 ^b	702,45 ± 79,37 ^b	-	82,25 ± 4,34 ^a	18,66 ± 1,48 ^{ab}
3%FVpe	12,32 ± 1,51 ^a	0,53 ± 0,02 ^{ab}	6,99 ± 0,61 ^{ab}	590,55 ± 69,90 ^{ab}	8,21 ± 1,51 ^a	79,12 ± 2,95 ^a	17,99 ± 1,00 ^a
5%FVpu	13,87 ± 0,68 ^{ab}	0,54 ± 0,01 ^{ab}	7,51 ± 0,40 ^{ab}	597,92 ± 38,27 ^{ab}	4,63 ± 1,50 ^a	78,03 ± 2,17 ^a	19,02 ± 1,16 ^b
5%FVpe	15,53 ± 1,38 ^b	0,51 ± 0,00 ^a	7,90 ± 0,59 ^b	622,73 ± 58,80 ^{ab}	9,34 ± 1,38 ^a	77,18 ± 2,48 ^a	17,04 ± 0,15 ^a
7%FVpu	16,57 ± 2,30 ^b	0,50 ± 0,02 ^a	8,39 ± 1,31 ^b	622,56 ± 63,33 ^{ab}	7,17 ± 2,01 ^a	77,59 ± 4,00 ^a	17,14 ± 1,01 ^a
7%FVpe	16,62 ± 2,15 ^b	0,53 ± 0,01 ^{ab}	8,87 ± 1,12 ^b	694,63 ± 46,12 ^b	8,61 ± 2,15 ^a	80,96 ± 2,00 ^a	19,19 ± 0,67 ^b

Les résultats sont exprimés comme la moyenne ± écartype de cinq répétitions et déterminations distinctes. Les données ont été analysées par ANOVA et, les valeurs moyennes pour les gâteaux de la même colonne non suivis de la même lettre en exposant sont significativement différentes selon la comparaison Tuckey HSD à P <0,05.

4.1.3. Caractéristiques chimiques des échantillons de gâteaux formulés

Les résultats sur la composition de gâteaux incorporés avec différents niveaux (3 à 7%) de poudre de pulpe et de pelure de la prune noire sont indiqués dans le **tableau 28**.

Les teneurs en eau et en protéines ne montrent pas de variations significatives ($P > 0,05$) avec l'augmentation du niveau de la farine de la pulpe et de la pelure de la prune noire. Par ailleurs, une tendance similaire est observée au niveau des teneurs en matières grasses des échantillons de gâteaux, excepté les gâteaux à 3% de FVpu et FVpe qui présentent des teneurs en matières grasses inférieures à celles des autres échantillons. Les gâteaux à 3% FVpe et 7% FVpu présentent des teneurs en cendres supérieures à celles des autres échantillons.

Concernant les glucides totaux, aucune différence significative n'est observée à 7% d'incorporation de poudre de la pulpe de prune noire.

Les teneurs en fibres totales des gâteaux augmentent de manière linéaire avec l'ajout des poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire alors que, les teneurs en calories des échantillons montrent une tendance inverse ($P < 0,05$). Le témoin a une valeur moyenne en fibres totales de 2,32 g/100 g de gâteaux. La teneur en fibre des échantillons de gâteaux substitués à 3, 5 et 7 g/100 g de poudre de pulpes est passée respectivement à 3,46, 4,47 et 8,68 g/100 g de gâteaux. Celle des échantillons de gâteaux substitués à 3, 5 et 7 g/100 g de poudres de pelures est passée à 5,26, 7,06 et 10,01 g/100 g de gâteaux.

Tableau 27: Composition des gâteaux avec des niveaux variés de farines de pulpe et de pelure de la prune noire.

Constituants	Control	3%FVpu	3%FVpe	5%FVpu	5%FVpe	7%FVpu	7%FVpe
Humidité (%)	24,61 ± 0,10 ^a	25,51 ± 1,10 ^a	25,11 ± 0,07 ^a	24,55 ± 0,08 ^a	25,36 ± 0,19 ^a	24,19 ± 0,10 ^a	25,36 ± 0,20 ^a
Matières sèches (%)	75,39 ± 0,10 ^a	74,48 ± 1,10 ^a	74,89 ± 0,07 ^a	75,44 ± 0,08 ^a	74,64 ± 0,19 ^a	76,81 ± 0,10 ^b	74,64 ± 0,20 ^a
Cendres (%)	1,06 ± 0,40 ^{bc}	1,07 ± 0,01 ^{bc}	0,78 ± 0,11 ^a	1,10 ± 0,03 ^{cd}	0,92 ± 0,10 ^{ac}	1,13 ± 0,03 ^d	0,95 ± 0,01 ^{ac}
Protéines (%)	6,53 ± 0,16 ^a	6,43 ± 0,15 ^a	6,44 ± 0,27 ^a	6,46 ± 0,06 ^a	6,33 ± 0,06 ^a	6,46 ± 0,06 ^a	6,47 ± 0,15 ^a
Matières Grasses (%)	12,82 ± 0,04 ^{cd}	12,44 ± 0,03 ^b	12,13 ± 0,24 ^a	12,60 ± 0,01 ^{bc}	12,70 ± 0,11 ^{bce}	12,97 ± 0,00 ^{de}	12,69 ± 0,04 ^{bce}
Glucides totaux (%)	54,98 ± 0,18 ^a	54,54 ± 1,11 ^a	55,53 ± 0,34 ^{ab}	55,28 ± 0,16 ^{ab}	54,70 ± 0,17 ^{ab}	56,32 ± 0,29 ^b	54,54 ± 0,26 ^a
Fibres totales (%)	2,32 ± 0,23 ^a	3,46 ± 0,18 ^b	5,26 ± 0,22 ^d	4,47 ± 0,16 ^c	7,06 ± 0,33 ^e	8,68 ± 0,33 ^f	10,01 ± 0,65 ^g
Valeur énergétique (Kcal/100g)	317,86 ± 0,41 ^a	312,88 ± 0,05 ^a	312,93 ± 1,58 ^a	316,91 ± 0,35 ^a	315,38 ± 0,27 ^a	323,69 ± 0,42 ^b	315,07 ± 0,33 ^a

Les résultats sont exprimés comme la moyenne ± écartype de cinq répétitions et déterminations distinctes. Les données ont été analysées par ANOVA et, les valeurs moyennes pour les gâteaux de la même ligne non suivis de la même lettre en exposant sont significativement différentes selon la comparaison Tuckey HSD à P <0,05.

4.1.4. Caractéristiques organoleptiques des gâteaux formulés

La représentation graphique des résultats du panel des consommateurs des gâteaux, est présentée par la **figure 35**. A l'analyse, les gâteaux dégustés sont diversement estimés quelle que soit l'appréciation hédonique exprimée. Les résultats montrent que la substitution de la farine de blé par FVpu et FVpe influence la coloration de la croûte et celle de la mie des gâteaux. Une différence significative ($P < 0,05$) est observée entre les couleurs de la croûte ($5,77 \pm 0,89$) et de la mie ($5,20 \pm 1,37$) du gâteau témoin et celles de la croûte ($4,50 \pm 1,47$ à $5,12 \pm 1,0$) et de la mie ($3,43 \pm 1,64$ à $4,60 \pm 1,15$) des gâteaux avec FVpu et FVpe incorporées (**annexe 6**).

Au niveau de la croûte, aucun changement de couleur n'est observé avec la croissance du taux d'incorporation des poudres quel que soit le type de poudre. Quant à la couleur de la mie des gâteaux avec substitution, les gâteaux issus de l'incorporation de FVpe, présentent les scores les plus élevés et les plus proches de celui du témoin, tandis que les gâteaux à FVpu montrent les scores les plus faibles. De plus, aucune variation de couleur n'a lieu avec l'augmentation de la quantité de FVpu ou de FVpe (**Figure 34**).

Tout comme la couleur, il n'existe pas de différence significative ($P > 0,05$) au niveau des autres attributs sensoriels du gâteau, notamment le goût, la texture (au touché et en bouche) et la flaveur, à l'exception du gâteau 5%FVpu (**annexe 6**).

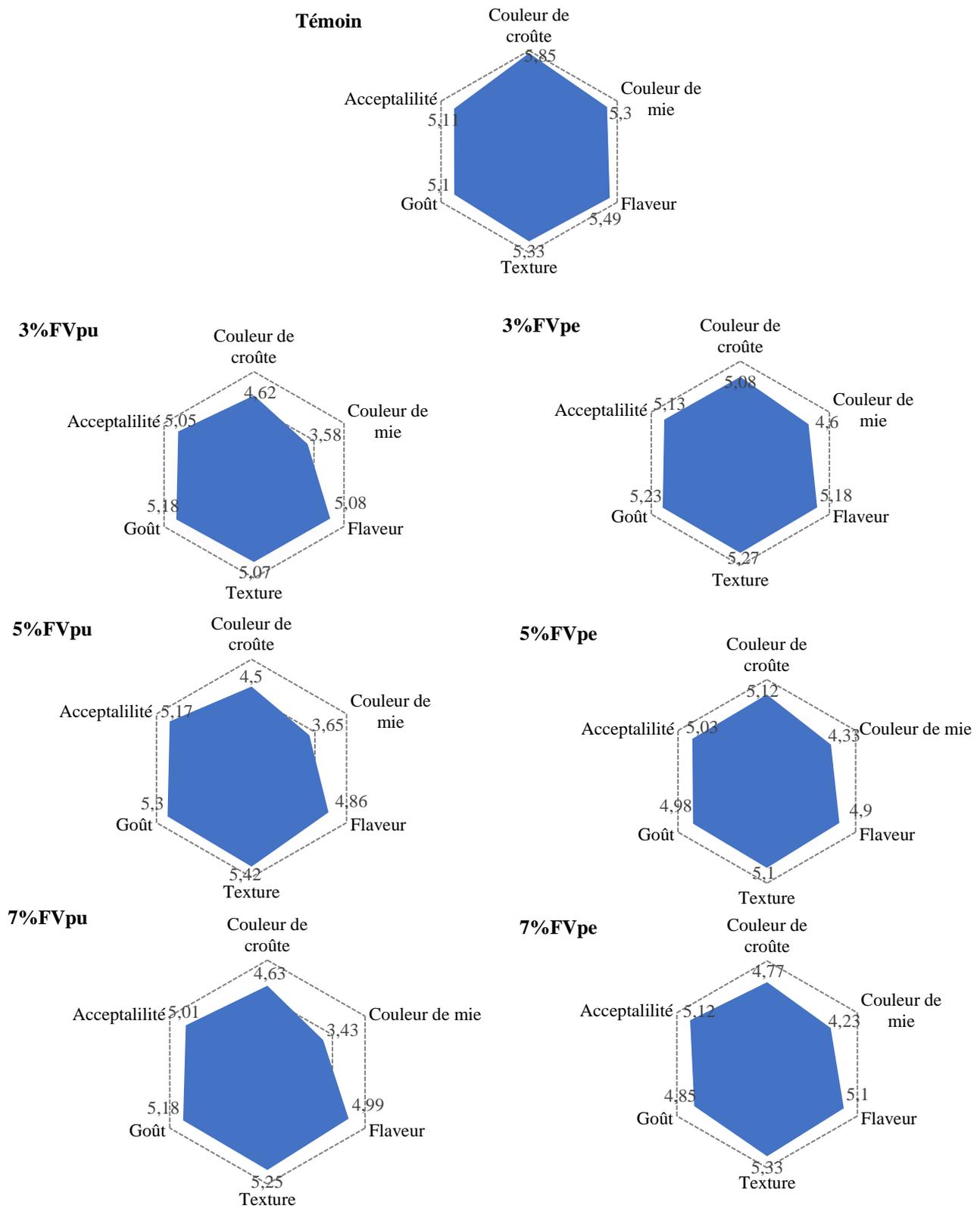


Figure 35: Notes d'évaluation sensorielle des gâteaux préparés avec différents niveaux de supplément de farine de la pulpe et de la pelure de la prune noire

4.2. DISCUSSION

4.2.1. Propriétés fonctionnelles de la pulpe et de la pelure de la prune noire

Les propriétés fonctionnelles sont des caractéristiques physicochimiques intrinsèques d'un aliment donné, qui affectent le comportement de celui-ci durant et après la transformation industrielle. Pour une meilleure utilisation d'une denrée alimentaire transformée en farine, la connaissance de ses propriétés fonctionnelles est donc nécessaire. Elles sont les caractéristiques de base qui dévoilent les relations existantes entre la structure, la composition et l'arrangement moléculaire des composants alimentaires et la nature du milieu dans lequel ces propriétés sont mesurées et associées (**Jamal et al., 2016**).

- **Capacité d'absorption d'eau (CAE)**

La capacité d'absorption d'eau (CAE) des farines de la pulpe et de la pelure de la prune noire sont respectivement de $526,19 \pm 7,27$ et $385,81 \pm 8,55$ %. La valeur de la CAE de la poudre de la pulpe est significativement différente de celle de la pelure. Cette variation observée dans l'absorption d'eau entre les poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire pourrait être imputée à la différence de composition, de conformation, de polarité et hydrophobicité de la surface des protéines dans les poudres étudiées. Selon **Masood et Batool (2010)**, les facteurs intrinsèques des protéines affectent fortement leur capacité d'absorption d'eau et donc celle des farines. D'ailleurs **Kuntz (1971)** a démontré qu'une faible capacité d'absorption d'eau est due à la moindre disponibilité des acides aminés polaires dans les farines. La composition en acides aminés des poudres étudiées montre bien qu'excepté la thréonine, la poudre de la pulpe les autres acides aminés polaires. Or, ces acides aminés, tout étant polaires, pourraient effectivement justifier cette différence comme l'ont démontré les travaux de **Kuntz (1971)**. Par ailleurs, il a également été signalé que les glucides influencent la capacité d'absorption d'eau des aliments (**Adejuyitan et al., 2009**). Ainsi, la teneur en glucides plus élevée dans la poudre de la pulpe de la prune noire, pourrait également expliquer la forte CAE de cette poudre par rapport à celle de la pelure. Cependant, ces deux valeurs sont plus élevées que celles des farines de blé (245 %) et de la patate douce (127%) rapportées par **Adeleke et Odedeji (2010)** et de la farine de niébé ($189 \pm 0,02 - 215 \pm 0,03$ %) rapporté par **Appiah et al. (2011)**. Elles sont également plus élevées que celles des farines de la banane (308 %) et de l'arbre à pain (332 %) rapporté par **Huang et al. (2019)**, de la farine de l'igname d'Afrique ($130,15 - 134,84 \pm 1,92$) et celle de la banane plantain (284 %) rapporté par **Horsfall (2007)**. Ainsi, outre les protéines

hydrophiles, les fortes CAE des poudres de la prune noire seraient attribuable à la présence de plus grande quantité de constituants hydrophiles notamment les fibres, et à une plus faible quantité de matières grasses des poudres (Akubor et Badifu, 2004). En effet, la contribution des fibres aux propriétés d'hydratation est attribuée aux groupes hydroxyles présents dans leur structure qui favorisent davantage d'interactions avec l'eau par la liaison hydrogène (Rosell *et al.*, 2009).

Le résultat obtenu montre que les poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire ont une bonne aptitude à lier l'eau. Ce résultat suggère que ces poudres pourraient être utilisées dans l'industrie de la boulangerie où l'hydratation pour une meilleure manipulation est souhaitée.

- **Indice de solubilité dans l'eau (ISE) et Pouvoir Gonflant (PG)**

L'indice de solubilité dans l'eau (ISE) diffère beaucoup entre les farines de la pulpe ($56,02 \pm 0,57$ %) et de la pelure ($43,44 \pm 0,68$ %) de la prune noire. Cependant, malgré la valeur un peu plus élevée du pouvoir gonflant (PG) de la poudre de la pulpe ($3,56 \pm 0,61$ g/g de farine sèche) de la prune noire, aucune différence significative n'est notée entre cette valeur et celle de la poudre de la pelure ($2,99 \pm 0,03$ g/g de farine sèche). Ces valeurs d'ISE sont par ailleurs élevée par rapport à celles des farines de pois chiches dont les valeurs varient de 20,42 – 22,89% (Kaur et Singh, 2005), du haricot de Lima, de la lentille (Shuang *et al.*, 2013), du taro et du riz (Kaushal *et al.*, 2012), respectivement de $29,14 \pm 0,67$, $26,15 \pm 0,59$, $23,733 \pm 0,832$ et $2,666 \pm 0,230$ %.

L'ISE est une propriété liée à la présence de molécules solubles dans les farines notamment l'amidon. Selon les études menées par Wadchararat *et al.* (2006) et Jamal *et al.* (2016) sur la farine de riz, la teneur en amylose est inversement liée à la solubilité de la farine. Plus le contenu en amylose de la farine est élevé, moins cette farine est soluble. Ainsi, comparativement à celle de la poudre de la pelure de la prune noire, la poudre de la pulpe ayant l'ISE la plus élevée pourrait contenir une faible teneur en amylose. D'ailleurs, l'analyse physicochimique de la pulpe et de la pelure de la prune noire a révélé une teneur en glucides plus élevée dans la pulpe que celle de la pelure. Outre la teneur en amylose, Héou *et al.* (2013) ont montré que la méthode de mouture et la teneur en amidon endommagé sont des principaux facteurs qui affectent la solubilité d'une farine. Cette affirmation expliquerait la grande solubilité des farines des parties de la prune noire par rapport à celles des farines issues d'autres denrées alimentaires. En effet, plus l'amidon contenu dans la farine est endommagé à travers la méthode de mouture, plus des liaisons intramoléculaires sont brisées. Ces liaisons sont ainsi

exposées à la fixation des molécules d'eau. L'on assiste alors à une augmentation de la solubilité de la farine (**Li et al., 2014**). La grande solubilité des poudres de la prune noire (pulpe et pelure) en générale et, en particulier celle de la pulpe suggère qu'elles sont plus digestes et pourraient donc être appropriées pour être utilisées comme ingrédients dans les formulations d'aliments pour nourrissons.

Une autre propriété à laquelle se lie la solubilité est le gonflement. Le pouvoir gonflant d'une farine est la capacité de cette dernière à s'imbiber d'eau lorsqu'elle est chauffée dans une suspension aqueuse. Il est aussi défini comme le poids de sédiments gonflés (l'amidon) par gramme de farine sèche (**Ocloo et al., 2010**). Malgré qu'il n'y a pas de différence significative ($P > 0,05$) entre les pouvoirs gonflant des deux poudres (pulpe et pelure), l'on constate une valeur du PG de la poudre de la pulpe ($3,56 \pm 0,61$ g/g de poudre sèche) légèrement élevée à celle de la pelure ($2,99 \pm 0,03$ g/g de poudre sèche), montrant une tendance similaire à la propriété de solubilité. Cependant, les PG des poudres de la prune noire sont inférieures à ceux de nombreuses farines notamment la farine de blé raffiné ($6,5 \pm 0,10$ g/g de farine sèche), la farine issue de la patate douce ($15,8 \pm 0,09$ g/g de farine sèche) et la farine issue du taro ($12,7 \pm 0,12$ g/g de farine sèche) (**Yadav et al., 2014**). Le gonflement de la farine étant liée à la solubilité, il est clair que le PG dépend également de la teneur en amylose de la farine. Ainsi, les poudres de la prune noire contiendraient plus d'amyloses que les farines auxquelles elles sont comparées réduisant alors la capacité de gonflement des granules d'amidons comme démontré par **Wadchararat et al. (2006)**. Le faible pouvoir gonflant suggère que les farines de la prune noire pourraient être utiles dans les systèmes d'alimentation où le gonflement n'est pas nécessaire.

- **Densité apparente (DA)**

Dans cette étude, les DA pour les poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire sont respectivement de $0,78 \pm 0,03$ et $0,81 \pm 0,01$. Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a aucune différence significative ($P > 0,05$) entre les DA de ces deux poudres. Ces résultats sont en accord avec les travaux réalisés par **Abdul et al. (2012)** qui n'ont trouvé aucune différence significative entre les farines de pelure et pulpe de la mangue. Par ailleurs, les DA des deux parties de la prune noire étudiées sont similaires à celle de la farine de blé (0,78) (**Huang et al., 2019**) et supérieure à celle de la farine de la banane plantain (0,57) (**Horsfall et al., 2007**). Aussi, les DA obtenus dans cette étude sont-elles remarquablement supérieures à celles de bien d'autres farines de fruits et légumineuses tropicaux notamment les farines de la pelure ($0,68 \pm$

0,01) et de la pulpe de la mangue ($0,68 \pm 0,01$) rapportées par **Abdul et al. (2012)**, la farine de l'arbre à pain ($0,56 \pm 0,02$) rapportés par **Adepeju et al. (2011)**, la farine du haricot rouge (0,53) et du soja (0,51) rapportés par **Ratnawati et al. (2019)**. Les fortes densités apparentes observées dans les poudres de la pelure et de la pulpe utilisées dans cette étude indiquent que ces poudres sont lourdes. Et cela serait due à la taille de leurs particules car selon **Appiah et al. (2011)**, la densité apparente est une fonction de la taille des particules. Cette dernière étant inversement proportionnelle à la densité apparente, peut être utilisée pour déterminer le matériau d'emballage requis (**David et al., 2015**). La densité apparente d'une farine est une propriété physique très importante en industrie pour son conditionnement et sa manutention. L'augmentation de la densité apparente est souhaitable dans la mesure où les poudres de la prune noire, pour une grande quantité, occuperaient moins d'espace pour un volume constant. Par conséquent, les poudres nécessiteraient moins de matériel d'emballages par unité de poids, réduisant ainsi les coûts d'emballages (**Adepeju et al., 2011 ; Appiah et al., 2011**). De par leurs DA élevées, les poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire peuvent être utilisées dans la préparation de divers aliments car selon **Padmasshree et al. (1987)**, une farine à DA élevée est facilement dispersible.

- **Capacité d'absorption d'huile (CAH) et Rapport Hydrophile – Lyphophile (RHL)**

La capacité de rétention d'huile est également une propriété importante pour les produits alimentaires car les lipides améliorent la saveur et la texture des aliments. La capacité d'absorption d'huile des poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire est respectivement de $102,1 \pm 2,09$ et $106,58 \pm 5,07$ %. La comparaison des moyennes n'a révélé aucune différence significative ($P > 0,05$) entre ces deux CAH. Les CAH des poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire sont remarquablement plus élevées que celles des farines de papaye (61,50 %) (**Yusufu et Akhigbe, 2014**), la farine de l'arbre à pain ($81,62 \pm 0,94$ %) (**Adepeju et al., 2011**), et de taro ($18,0 \pm 1,2$ %) (**Yadav et al., 2014**). Cependant, elles se rapprochent de celle de la farine de blé dont la CAH est de 110 % (**Horsfall et al., 2007**). Par ailleurs, les CAH issues de notre étude sont similaires à celles de farines obtenues à partir de certains cultivars de pois chiches en Inde, nommés GL-769 et GPF-2 dont les grandeurs sont respectivement de 105 et 108 % (**Kaur et Singh, 2005**). Par contre, elles sont inférieures aux CAH des farines du haricot rouge (**Du et al., 2014**), de la patate douce (**Yadav et al., 2014**), du niébé (**Appiah et al., 2011**) et de la banane plantain (**Horsfall et al., 2007**) respectivement de $120,0 \pm 0,02$, $118,0 \pm 1,5$, $195 \pm 0,03$ – $214 \pm 0,04$ et 130 %. La taille des particules, la teneur en amidon, en protéines et les types de protéines, sont autant de facteurs qui influencent la CAH d'une farine (**Sathe et al.,**

1982). Ce qui pourrait justifier la CAH supérieure ou inférieure à celles des autres farines. Les protéines hydrophobes sont celles-là mêmes qui jouent le rôle principal dans l'absorption de l'huile.

La capacité d'absorption d'huile des farines est importante pour le développement de nouveaux produits alimentaires. Elle participe à la stabilité des produits alimentaires lors du stockage. Car, elle favorise la liaison des saveurs et empêche le développement du rancissement oxydatif (Siddiq *et al.*, 2010). Ainsi, vu les fortes CAH des poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire, l'on peut conclure que ces poudres pourraient être utilisées en pâtisserie particulièrement dans les préparations de gâteaux, biscuits, soupes etc, où la capacité d'absorption d'huile est une propriété importante. Ces poudres seraient aptes à faciliter une bonne rétention de la saveur, la sensation en bouche et une durée de conservation prolongée des aliments lorsqu'elles seront utilisées dans des préparations alimentaires (Chel-Guerrero *et al.*, 2002).

Le Rapport Hydrophile – Lipophile permet de comparer les propriétés d'absorption d'eau et d'absorption d'huile d'une farine. Dans ce travail, les CAH des poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire, mêmes étant élevées, sont faibles d'au moins 3 fois, comparativement à leur CAE. Ce qui indique que ces poudres ont plus d'affinité pour l'eau que pour l'huile et par conséquent contiennent plus de molécules hydrophiles que lipophiles. Cette conclusion est confirmée par les RHL des poudres de la pelure ($3,78 \pm 0,07$) et de la pulpe ($4,64 \pm 0,23$) largement supérieurs à 1.

- **Capacité émulsifiante (CE) et Stabilité de l'émulsion (SE)**

Les capacités émulsifiantes des poudres de la pelure ($52,21 \pm 1,95$ %) et de la pulpe ($48,27 \pm 1,27$ %) de la prune noire sont faibles. Aucune différence significative ($P > 0,05$), entre ces deux poudres, n'a été révélée par le traitement statistique. Par contre, de fortes propriétés de stabilité de l'émulsion ont été notées chez les poudres avec également pas de différences significatives ($P > 0,05$) entre elles. Ces valeurs sont de $116,95 \pm 2,96$ % pour la poudre de la pelure et de $115,87 \pm 5,57$ % pour celle de la pulpe. Les CE des poudres de la prune noire obtenues dans ce travail sont faibles par rapport à celles de la farine de blé ($99,38 \pm 1,88$ %), de la farine de pelure ($89,80 \pm 2,72$ %) et de pulpe ($78,77 \pm 3,28$ %) de la mangue (Abdul Aziz *et al.*, 2012) et des farines de certaines légumineuses (haricot rouge, les lentilles et le pois chiches) qui variaient de $61,14 \pm 0,6$ à $92,20 \pm 0,9$ % (Du *et al.*, 2013). Par contre, elles sont largement supérieures à celle de la farine de banane plantain (3,5 %) (Horsfall *et al.*, 2007). Contrairement

aux propriétés émulsifiantes, les propriétés de SE des poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire sont fortement élevées par rapport à celles du blé ($36,15 \pm 1,42$ %), de la pelure et la pulpe de la mangue ($26,75 \pm 0,83$ et $83,07 \pm 2,44$ %), de haricots rouges, des lentilles et du pois chiches ($91,99 \pm 4,75$ à $94,19 \pm 1,64$ %).

Il est bien connu que la CE et la SE d'une farine sont principalement liées à la capacité des protéines contenues dans celle-ci à se lier dans la zone d'interface eau – huile, à l'eau et à l'huile dans une émulsion, puis de conférer à cette émulsion une résistance au stress et aux changements (Singh *et al.*, 2010 ; Du *et al.*, 2013). Ainsi, la faible CE des poudres de la prune noire serait due à leur faible teneur en protéines. Selon Du *et al.* (2013), outre la teneur et la nature des protéines, la CE et la SE peuvent être liées à d'autres composants notamment les hydrates de carbones, la graisse et les stérols de la farine. De ce fait, les fortes SE des poudres de la prune noire, indiqueraient que, les agents émulsifiants et stabilisants dans ces poudres seraient des polymères d'hydrates de carbones notamment les fibres. En effet, les polymères d'hydrates de carbones auraient non seulement augmenté la viscosité de la phase aqueuse empêchant ainsi les globules d'huile dispersés à migrer et à se coalescer, mais encore, auraient formé un revêtement autour des particules dispersées stabilisant alors les émulsions par absorption à l'interface (Abdul Aziz *et al.*, 2012). Au vu de ces résultats, l'on peut conclure que les poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire pourraient être utilisées comme émulsifiant dans certains produits transformés notamment la mayonnaise, les sauces pour salades et les desserts congelés.

4.2.2. Caractéristiques des pâtes et des gâteaux partiellement substitués avec différents niveaux de poudre de pelure (FVpe) et de poudre de pulpe de la prune noire

4.2.2.1. Effet de des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur les caractéristiques physiques des pâtes et des gâteaux

- **Effet sur la densité des pâtes**

L'effet de l'incorporation des poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire sur la pâte est traduit par la réduction de la densité de cette dernière. La densité est une mesure clé en industrie pour caractériser l'aération de la pâte (Chaiya et Pongsawatmanit, 2011). Elle est généralement relative à la quantité d'air incorporée dans la pâte au cours du mélange (Oliete *et al.*, 2008 ; Chaiya et Pongsawatmanit, 2011). La viscosité de la pâte, est la propriété qui détermine sa capacité à contenir une certaine quantité d'air. En effet, selon Ronda *et al.* (2011), une pâte à viscosité élevée résiste mieux au cisaillement obstruant ainsi à l'incorporation de

l'air lors du processus de mélange. Ce qui entrainerait l'incorporation d'une quantité d'air plus faible. Donc, plus la viscosité d'une pâte est élevée, plus sa densité l'est également. De ce fait, l'on peut conclure que la baisse de la densité des pâtes après incorporation des poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire peut être directement reliée à l'augmentation du volume d'air incorporé dans les pâtes. Ce fait pourrait être alors expliqué par la diminution de la viscosité des pâtes causée par les poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire à travers la réduction du taux de gluten dans les pâtes. Des résultats similaires ont été obtenus par de nombreux auteurs notamment **Gomez et al. (2007)**, **Abdul Aziz et al. (2012)** et **Ghaboos et al. (2018)**. Par ailleurs, il est constaté que les densités des pâtes n'ont pas significativement variées malgré la croissance de la quantité de poudres de la prune noire incorporée. Les pourcentages d'incorporation des poudres de la prune noire dans les pâtes seraient assez faibles pour réduire davantage leur viscosité, par conséquent, leur densité.

En définitive, une pâte à faible densité fournit un gâteau à volume final élevée (**Ronda et al., 2011 ; Rahmati et Mazaheri, 2014 ; Tan et al., 2014**). Ce qui représente un critère de qualité recherché dans les produits de boulangerie notamment les génoises, les viennoiseries etc.. Ainsi, les poudres de prunes noires (pulpe et pelure) peuvent être utilisées dans la préparation des produits de boulangerie en vue d'améliorer leurs densités.

- **Effet sur le volume et la forme des gâteaux**

L'effet des incorporations des poudres de la prune noire (Pulpe et pelure) sur le volume des gâteaux est significatif ($P < 0,05$). Tous les niveaux d'incorporation effectués ont conduit à la baisse du volume des gâteaux. **Gomez et al. (2007)** et **Ghaboos et al. (2018)** ont rapporté une baisse du volume des gâteaux avec l'augmentation du taux d'incorporation des farines respectivement de pelures de pommes, de pois chiches et de pulpe de citrouilles. Cependant, de façon générale, dans notre étude, aucune variation significative ($P > 0,05$) n'est observée entre les volumes des gâteaux obtenus après incorporation des poudres de la prune noire de 3 à 7 %. Cela serait dû au fait que ces taux d'incorporations sont assez faibles pour induire une baisse graduelle des gâteaux. Par ailleurs, on aurait pu s'attendre à ce qu'une densité de pâtes plus faibles entraîne un volume de gâteau plus important comme l'ont démontré les travaux de **Tan et al. (2014)**. Mais le phénomène inverse est observé dans notre étude. Il est donc remarquable de constater l'absence de relation entre la densité des pâtes à base des poudres de la prune noire et les volumes des gâteaux obtenus avec celles-ci. Nous pouvons ainsi conclure que le volume final des gâteaux contenant la prune noire ne dépend pas principalement de la quantité

d'air initiale présente dans la pâte mais de la capacité de ces pâtes à la rétenir l'air initial pendant la cuisson. L'influence des poudres de la prune noire sur le volume final des gâteaux peut alors s'expliquer par la baisse de la force du réseau protéique des pâtes. Cette baisse de la force du réseau protéique est causée par la réduction du taux de gluten à partir de la substitution de la farine de blé par celles de la prune noire. Ainsi, les poudres de la prune noire renfermant une faible teneur en protéine, ne renforcent pas le réseau protéique. D'ailleurs, le réseau de protéines formé contribue à la rétention de l'air incorporé dans la pâte lors de la levée du gâteaux (**Tan et al., 2014**). L'épaisseur modeste du produit final est recherché dans la fabrication de biscuits. Ainsi, les poudres de prunes noires pourraient être utilisées à des concentrations même élevées, dans les préparation de biscuits. Cependant, malgré la baisse significative de leur volume final, les gâteaux à poudres de prunes noires ajoutées ont été acceptés et appréciés par les consommateurs.

Basé sur la mesure des dimensions après une coupe transversale du gâteau, l'indice de volume est un indicateur du volume de celui-ci. Il est aussi un indicateur de qualité d'un gâteau. Selon **Gomez et al. (2007)**, en générale, l'indice de volume suit une tendance similaire à celle du volume. Ce qui n'a pas été observé dans notre étude. Exceptés les gâteaux avec 7% d'incorporation, aucune différence significative ($P>0,05$) n'a été obtenue entre les indices de volumes des différents gâteaux y compris le témoin.

L'indice de symétrie révèle les différences de hauteur entre la partie centrale et les parties latérales du gâteau. Selon **De la Hera et al. (2012)** et **Chesterton et al. (2014)**, un indice de symétrie élevé indique que la partie centrale du gâteau a plus de hauteur que les autres parties. Il est donc convexe. Ce qui signifie que, le gonflement de la pâtes lors de la cuisson s'est effectué au niveau de la zone centrale. Cependant, un indice de symétrie négatif indique que le volume du gâteau baisse à la fin du processus de cuisson. Ainsi, à l'exception du gâteau à 7 % d'incorporation de la poudre de pelure de la prune noire (7% FVpe), les gâteaux possèdent les mêmes indices de symétrie. Les gâteaux à 7% FVpe montrent l'indice de symétrie le plus élevé ($0,53 \pm 0,12$). Ce résultat indiquerait que la poudre FVpe à 7%, contribue à la stabilité de la structure du gâteau après la gélification de l'amidon lors de la cuisson (**De la Hera et al., 2012**).

En général, les gâteaux de faibles volumes montrent également des indices de symétrie faibles (**Gomez et al., 2007 ; Lee, 2015**). Cependant, les résultats obtenus dans cette étude ne présentent pas cette tendance. Des résultats similaires ont été observés par **Levent et Bilgiçli**

(2011) et De la Hera *et al.* (2012) lors de leurs études sur la farine de blé contenant respectivement la farine de grains de lupin et de lentilles. Par ailleurs, l'indice d'uniformité est un indicateur de la symétrie d'un gâteau. Les indices d'uniformité des gâteaux sont compris entre $-0,15 \pm 0,01$ et $0,16 \pm 0,04$. Cette étude a donné des résultats d'indices d'uniformités des gâteaux compris entre $-0,15 \pm 0,01$ et $0,31 \pm 0,01$. L'indice d'uniformité du gâteau témoin ne diffère pas de ceux des gâteaux avec poudres de fruit de *V. doniana* incorporées. Les gâteaux présentent tous les mêmes indices d'uniformité. De plus, un indice d'uniformité nul caractérise un gâteau de bonne qualité (Majzoobi *et al.*, 2016). De ce fait, les valeurs des indices d'uniformité des gâteaux étudiés, proches de zéro signifient que les gâteaux obtenus sont de bonne qualité.

4.2.2.2. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la température de gélification et les propriétés rhéologiques des pâtes

4.2.2.2.1. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la température de gélification des pâtes

Une bonne compréhension des transitions de phase d'amidon contenu dans certains produits est extrêmement importante dans la transformation alimentaire. La transition thermique moyenne de l'amidon est la gélification. La gélification est une transition de phase ordre-désordre qui implique la diffusion de l'eau dans les granules d'amidon, l'hydratation, le gonflement, l'absorption de chaleur, la perte de biréfringence et de cristallinité, et le lessivage de l'amylose (Biliaderis *et al.*, 1980). Le processus de gélification est présenté dans la DSC comme un pic endothermique. Les résultats de l'analyse thermique ont montré que la température de pointe de la gélification du mélange farine de blé - poudre de pulpe ou pelure de la prune noire diminuait avec l'augmentation du taux d'incorporation des poudres de la prune noire. En revanche, une tendance inverse a été observée pour l'enthalpie de gélification de l'amidon. Ces résultats pourraient être dus à la réduction croissante de la quantité d'amidon contenue dans la farine de blé à travers l'incorporation de quantité croissante de poudre de la prune noire (pulpe et pelure). En d'autres termes, la baisse et l'augmentation respectivement du T_p et de ΔH (enthalpie) observées seraient dues à la dilution de l'amidon de blé avec la poudre de pulpe et de pelure de la prune noire. A ce niveau, les granules d'amidon de blé avaient d'avantage la possibilité d'absorber l'eau, exposant ainsi une plus grande proportion de zone cristalline, principalement en raison de la teneur en amylose. Cela explique qu'une énergie plus élevée était nécessaire (enthalpie de fusion) pour rompre les liaisons intermoléculaires dans les granules d'amidon contenu dans la farine de blé pour obtenir la gélification (Singh *et al.*, 2004).

D'ailleurs, plusieurs études ont montré des corrélations négatives entre les paramètres (T_p et ΔH) d'une DSC et la teneur en eau du produit.

Wang et Kim (1998) ont rapporté que l'amidon contenu dans la fécule de maïs cireuse sèche a fondu à 230 °C, lors du balayage DSC à une quantité d'eau ajoutée inférieure à 61%. Le même amidon a gélatinisé à la température de 65°C à une quantité d'eau ajoutée supérieure à 61%. Pour la matière sèche de la pomme de terre, la température de pointe endothermique est passée à une température plus élevée de 72, 88, 97 et 103 °C lorsque les teneurs en humidité étaient respectivement de 40%, 30%, 23% et 18% (p/p) (**Liu et al., 2002**). Selon **Louaer et al. (2008)**, plus la teneur en eau est élevée, plus l'augmentation de la capacité thermique pendant la gélification est importante. Ainsi, la chaleur se transmet plus vite aux granules d'amidon. Ce qui conduit alors à leur fusion à des températures plus basses. Par ailleurs, **Ottenhof et Farhat (2004)** lors de leurs travaux sur l'amidon de maïs ont révélé que lorsque la quantité d'eau est insuffisante, la température de pointe augmente, ce qui fait baisser l'enthalpie de gélification indiquant ainsi une gélification incomplète. Cependant, l'évolution des T_p et des ΔH dans notre étude indiquerait une gélification plus complète de l'amidon contenu dans la farine de blé avec poudres de pulpe et de pelure de la prune noire incorporée par rapport à celle de l'amidon de la farine témoin. De plus, la légère baisse de l'enthalpie de gélification de l'amidon contenu dans la farine de blé avec 5 et 7% de poudres (pulpe et pelure) de la prune noire incorporées suggère un effet possible d'autres composants de la poudre de la prune noire sur la gélification de l'amidon ou la dilution par les composants non amylicés.

Pour les mêmes gammes de températures de gélification, l'échantillon témoin a présenté une valeur de IHP plus faible. L'indice de hauteur de pic (IHP) indique la forme relative de l'endotherme (**Correia et Beirão-Da-Costa, 2012**). Selon **Krueger et al. (1987)**, un IHP élevé indique un endotherme grand et étroit et un IHP faible indique un endotherme court. Ainsi, compte tenu du résultat obtenu en ce qui concerne le IHP des échantillons, l'on peut conclure que les échantillons avec poudres de la prune noire (pulpe et pelure), ont tous présenté des endothermes grands et étroits significativement de même forme tandis que celui de l'échantillon témoin a présenté un endotherme court.

En outre, la gamme de température de gélification de l'amidon de la farine de blé n'a pas significativement varié malgré l'incorporation des poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire. Ce résultat suggère que l'incorporation des poudres (pulpe et pelure) de la prune noire n'a entraînée aucune transformation dans les régions cristallines de l'amidon.

4.2.2.2.2. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur les propriétés rhéologiques de la pâte

- **Comportement d'écoulement**

Les courbes d'écoulement des échantillons de pâtes à gâteau ont montré un comportement d'amincissement par cisaillement (pseudo-plastique). En effet, pour les matériaux pseudo-plastiques, la viscosité apparente diminue au fur et à mesure que le cisaillement exercé sur le liquide augmente. Et, cela parce que les interactions intermoléculaires du système s'effondrent sous l'action du cisaillement, en raison d'un alignement microstructuraux avec la direction de l'écoulement (Song *et al.*, 2006 ; Demirkesen *et al.* ; 2010). Ce qui induit alors une diminution de la viscosité apparente avec l'augmentation du cisaillement. Le même comportement a été observé par Kirbaş *et al.* (2019) dans la pâte à gâteau de blé contenant des résidus de pomme, d'orange et de carotte, par Demirkesen *et al.* (2010) dans la pâte de pain sans gluten et par Turabi *et al.* (2008) dans la pâte à gâteau du riz.

Pour l'effet de l'incorporation des poudres de pulpe et pelure de la prune noire sur les propriétés rhéologiques de la pâte, tous les échantillons de pâtes étaient bien ajustés au modèle, comme le montre les valeurs élevées des coefficients de détermination (0,93 – 0,99). L'indice de comportement de l'écoulement (n) nous fournit des informations sur le fait que l'écoulement est un amincissement ($n < 1$) ou un épaissement ($n > 1$) par cisaillement (Sakiyan *et al.*, 2004). Si $n=1$, le modèle reflète le comportement newtonien. Comme pour toutes les formulations de gâteaux, les valeurs de n étaient inférieures à 1. On peut conclure que la pâte à gâteau était amincie par cisaillement (pseudo-plastique). Ce qui confirme l'écoulement pseudo-plastique des pâtes à gâteau, démontré par l'allure des courbes d'écoulement. L'indice de consistance (K) est un paramètre important permettant l'évaluation de la capacité de rétention d'air de la pâte lors du mélange (Sakiyan *et al.*, 2004 ; Gomez *et al.*, 2010 ; Tan *et al.*; 2015). Il influe sur la qualité du produit notamment son volume. Dans cette étude, l'indice de consistance des pâtes à gâteau variait de 267,31 à 571,57 Pa.sⁿ. Tous les échantillons contenant les poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire avaient les mêmes indices de consistance que la pâte du témoin. La pâte à 3% de FVPe avait l'indice de consistance (K) la plus faible. Cependant cette faible valeur de la consistance de la pâte à 3% de FVPe n'a eu aucun impact significatif ($P > 0,05$) sur son indice d'écoulement.

Lebesi et Tzia (2011) et **Aydogdu et al. (2018)** ont observé une croissance de l'indice de consistance des pâtes avec l'ajout de fibres composés principalement de fibres insolubles. Selon ces auteurs, en raison de la capacité de liaison à l'eau plus élevée des fibres, l'absorption d'eau augmente. Ce qui réduit la quantité d'eau libre disponible responsable du mouvement des particules dans les pâtes et donne par conséquent un indice de consistance élevé. Cependant, dans notre étude, malgré la capacité d'absorption d'eau et la teneur en fibres élevées des poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire, aucun impact significatif n'a été observé de façon générale, sur l'indice de consistance de la pâte. Ce résultat pourrait alors être imputé à l'effet des fibres contenues dans les poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire sur la structure interne de la pâte. En effet, l'observation de la microstructure de la pâte contenant des fibres par **Martinez et al. (2014)** a révélé que, les fibres insolubles restaient presque inaltérées et devenaient plus arrondies par la présence d'amidon. Les structures devenaient ainsi plus grandes et plus irrégulières. En revanche, les fibres solubles quant à elle, se dissolvaient dans l'eau et enveloppaient les granules d'amidons, réduisant ainsi la capacité d'hydratation des amidons. Par conséquent, la consistance de la pâte se voyait réduite. En outre, **Sabanis et al. (2009)** ont précédemment indiqué que les fibres insolubles augmentaient la consistance de la pâte. Par ailleurs, **Turkut et al. (2016)** ont aussi rapporté que l'augmentation de la quantité de fibres entraînait une augmentation de la capacité d'absorption d'eau de la pâte en raison de la grande quantité de fibres alimentaires solubles contenus dans ces fibres. Un résultat similaire a également été obtenu par **Gomez et al. (2010)**. En clair, les poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire n'affectent pas les propriétés d'écoulement de la pâte.

- **Comportement de viscoélasticité**

Le test d'oscillation et les valeurs du module de stockage (G') et du module de perte (G'') de la pâte à gâteau à 3, 5 et 7% de poudres (pulpe et pelure) de la prune noire incorporées ont révélés que dans tous les échantillons, les valeurs G' ont augmenté avec la durée de cisaillement et les valeurs G'' sont presque que restées inchangées. Le module de stockage s'est avéré plus élevé que le module de perte, ce qui indique un comportement de type solide - élastique des pâtes à gâteau. Cependant, une diminution simultanée des propriétés viscoélastiques (G' et G'') de la pâte a été observée avec l'ajout de la poudre de la pelure de la prune noire à 5 et 7% d'incorporation. Ce qui serait due à la capacité d'absorption d'eau de la poudre de la pelure de la prune noire plus faible que celle de la pulpe. L'ajout de cette poudre (pelure de la prune noire) aurait provoqué un effet de dilution du gluten, une interruption de la matrice amidon-gluten et

un changement de la réticulation et de la structure des biopolymères contenus dans la pâte (**Balestra et al., 2011 ; Liu et al., 2016 ; Pathak et al. ; 2017**). Ainsi à 3% d'incorporation de cette poudre, la quantité n'était pas assez élevée pour induire une modification des propriétés rhéologiques de la pâte à gâteau. Des études antérieures (**Rosell et al., 2009 ; Lebesi et Tzia, 2011 ; Bchir et al., 2014 ; Turkut et al., 2016**), ont également révélé des modifications des propriétés viscoélastiques de la pâte à gâteau avec l'addition d'extrait de fibres ou de produits alimentaires riches en fibres. Cependant, ces modifications étaient constatées au niveau du modules G' et de la tangente de perte ($\text{Tan } \delta$), traduit par respectivement une augmentation et une diminution de ceux-ci. Et cela, en raison de la quantité réduite d'eau libre disponible due à l'addition de fibres ou de produits alimentaires riches en fibres. Ainsi, les fibres de par leur capacité d'absorption d'eau élevée, rentrent en compétition avec les biopolymères (gluten et amidon) contenus dans la farine de blé et absorbent une partie de l'eau contenue dans la formulation. Ce qui implique la diminution de la quantité d'eau disponible rendant ainsi la pâte à gâteau plus consistante donc plus élastique (**Sabanis et al., 2009 ; Gomez et al., 2010 ; Martinez et al., 2014**). Toutefois, des facteurs comme les conditions ou l'environnement du système alimentaire dans lequel les fibres alimentaires sont incorporées peuvent influencer leur capacité d'absorption d'eau. Ces conditions comprennent le pH, la concentration en fibres alimentaires et d'autres ingrédients (tels que l'amidon et les sucres) présents dans le système alimentaire ayant une capacité d'absorption d'eau élevée **Charis (2019)**. Ce qui pourrait justifier l'effet non significatif ($P > 0,05$) des deux poudres (pulpe et pelure) de la prune noire sur les propriétés rhéologiques de la pâte notamment la tangente de perte ($\text{Tan } \delta$) et l'indice d'écoulement, malgré les capacités d'absorption d'eau élevée de ces poudres (pulpe et pelure). Les conditions du système alimentaire dans lequel les poudres de la prune noire sont incorporées, auraient réduit la capacité d'absorption d'eau des fibres contenues dans ces poudres. Ce qui aurait alors conduit à une stabilité de la quantité d'eau libre disponible. L'eau joue un rôle important dans la détermination des propriétés viscoélastiques de la pâte. **Amjid et al. (2013)** ont révélé que, les modules G' et G'' diminuent tous deux au fur et à mesure que la teneur en eau de la pâte augmente.

Un faible effet des fibres alimentaires sur le comportement viscoélastique de la pâte est souhaitable, car il peut indiquer des changements mineurs dans la performance de la panification (**Balestra et al., 2011**).

4.2.2.3. Effet des farines composées blé -pelure et blé -pulpe de prune noire sur la coloration et la texture des gâteaux

- Effet sur la coloration des gâteaux

Toutes les données de couleur ont été exprimées en valeurs CIELAB L*, a* et b*, correspondant respectivement à la clarté, aux couleurs rouge et jaune. Au niveau de la croûte, au fur et à mesure que le taux de FVpu et FVpe augmentait, les valeurs L* et b* diminuaient, tandis que celles de a* ne variaient pas (en moyenne $13,06 \pm 2,10$). Ce résultat indique une couleur de la croûte des gâteaux issus de FVpu et FVpe plus sombres et moins jaunâtre. Par ailleurs, les valeurs de l'angle de teinte (h*) et la chroma (C*), révèlent un ton de plus en plus rougeâtre (h* proche de 0) et atténué (C* décroissant) de la croûte des gâteaux à FVpu et FVpe. Ainsi, cet impact de FVpu et FVpe sur la coloration de la croûte des gâteaux, trouverait une explication dans la composition en acides aminés différente des farines composites par rapport à la farine de blé 100% (Gomez *et al.*, 2007 ; Noor *et al.*, 2011). En effet, lors de la cuisson, à température élevée (100°C), les réactions de Maillard entre les sucres et les acides aminés et celle de la caramélisation des sucres surviennent, conduisant ainsi à la formation de pigments bruns responsables de la coloration de la croûte des gâteaux.

Pour ce qui est de la couleur de la mie, les échantillons ont aussi été significativement ($P < 0,05$) affectés par l'incorporation de FVpu et FVpe. Une augmentation des valeurs de a* et une diminution de celles de L*, b*, h* et C*, avec l'augmentation des quantités de FVpu et FVpe était constatée. Les mies à FVpu et FVpe étaient ainsi de moins en moins claire, plus rougeâtre et moins jaunâtre avec l'ajout de FVpu et FVpe. De plus, les gâteaux à FVpu et FVpe étaient de ton rougeâtre atténué (h* et C*). Et, la mie du gâteau témoin était claire et de ton jaunâtre prononcé. Ici, la température au niveau de la mie étant généralement moins élevée ($T < 100^\circ\text{C}$), les réactions de Maillard et de caramélisation n'ont donc pas lieu. Ainsi, la couleur de la mie des gâteaux est plutôt imputée à la coloration de base des farines FVpu et FVpe. La caractérisation physique de la prune noire, effectuée par Traoré *et al.* (2019), a révélé une coloration violet foncée de ceux-ci. Des résultats similaires ont été obtenus par Noor *et al.* (2011) et Mrabet *et al.* (2016) sur les mies des gâteaux contenant des farines respectivement de pulpe et de pelure de mangue et de concentrés de fibres issus de dattes.

- **Effet sur la texture des gâteaux**

La texture est une propriété organoleptique qui influence l'acceptation du produit de boulangerie par les consommateurs. Sa détermination constitue l'une des analyses les plus utiles pour le développement des produits. La texture permet de mettre en évidence l'impact des mélanges de farines et des autres intrants sur les propriétés physiques des produits (**Ben Jeddou et al., 2017**). Dans ce travail, des changements significatifs sont intervenus dans seulement trois attributs de la texture. Ce sont entre autre la dureté, la cohésion et l'adhésivité. Dans l'analyse du profil de texture, la dureté des échantillons mesurée a montré que les gâteaux ont durcis à partir de 5% pour FVpe et à 7% pour FVpu. La dureté d'un produit se définit comme la résistance de celui-ci à la déformation. Il constitue un facteur important en boulangerie car, il constitue l'un des paramètres de la qualité du produit pour le consommateur (**Ahlborn et al., 2005**). L'étude de corrélation entre la dureté des gâteaux et leur volume réalisé par **Noorliala et al. (2017)** n'a révélé aucune corrélation. Cela a été constaté dans notre étude où une augmentation de la dureté des gâteaux à partir de 5% pour FVpe et à 7% pour FVpu a été notée malgré leurs volumes similaires aux autres gâteaux avec poudres de prunes noires incorporées. Des résultats similaires ont été obtenus par **Kim et al. (2012)**, où la dureté des gâteaux avait augmenté à partir de 5% de substitution de la farine de blé avec celle du figuier de l'Inde (*Opuntia humifusa*). Cette augmentation de la dureté des gâteaux à 5% FVpe et 7% FVpu et FVpe pourrait être attribuée non seulement à la dilution significative des protéines de gluten contenues dans la farine de blé mais encore, à l'interaction entre les fibres et le gluten (**Noor Azia, 2011 ; Kim et al., 2012**). En effet, le gluten a pour fonction de stabiliser les produits de boulangeries notamment les gâteaux, à travers la formation d'un réseau gluténique permettant ainsi une rétention accrue de l'air. La réduction de la quantité de gluten dans la farine de blé par la substitution partielle modifierait la structure de la mie et nuirait à la rétention de l'air. Le réseau de gluten se voit ainsi perturbé pendant la cuisson (**Pometanz et al.; 1977**).

La cohésion représente la résistance interne d'une structure alimentaire (**Kouhanestani et al., 2019**). Une croissance du taux d'incorporation de FVpu et FVpe a significativement ($P < 0,05$) diminué la cohésion et créé une adhésivité des gâteaux en raison de l'effet perturbateur de ces farines sur la structure gluténique (**Noorliala et al., 2017**). Les poudres FVpu et FVpe ont certes augmenté la dureté des gâteaux (5% pour FVpe et 7% FVpu et FVpe), réduit leur cohésion et induit l'adhésivité des gâteaux mais les valeurs restent proches de celles du témoin. Ce qui rend tout les gâteaux acceptables.

4.2.2.4. Caractéristiques chimiques des échantillons de gâteaux formulés

L'humidité est l'une des composantes n'ayant significativement pas variée avec l'augmentation du taux d'incorporation des poudres de pulpe et de pelure de la prune noire. Ce qui implique que les farines de la pulpe et de la pelure de prune noire pouvaient retenir l'eau lors de la cuisson, tout comme la farine de blé. **Kim et al. (2012)** ont démontré qu'avec une capacité d'absorption d'eau (CAE) plus élevée, l'humidité du gâteau pourrait augmenter avec l'ajout de fibres, comme cela a été le cas avec les fibres de cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*). Où, l'humidité a augmenté de façon significative de 30 à 32 % en ajoutant jusqu'à 9 % de ces fibres. Dans le même temps, **Mrabet et al. (2016)** ont également imputé la non variation de l'humidité des gâteaux contenant des fibres de dattes à la faible capacité d'absorption d'eau de ces dernières. Cependant, dans notre cas, malgré les CAE élevées des poudres de la pulpe (526,19 %) et de la pelure (385,81 %) de la prune noire et leur contenu en fibres également élevée, aucune augmentation significative de l'humidité n'a été observée entre les échantillons de gâteaux. Ce qui signifie qu'outre la CAE des f poudres ajoutées, d'autres composants notamment l'amidon endommagé et les protéines de gluten pourraient influencer l'humidité des échantillons de gâteaux de par leur capacité à se lier et à retenir l'eau. D'ailleurs, aucune différence significative n'a été observée entre les échantillons de gâteaux avec l'ajout croissant des poudres en ce qui concerne les protéines. Cela serait dû à la faible teneur en protéines des poudres de la pulpe et de pelure de la prune noire. Toutefois, l'augmentation de la teneur en glucides totaux dans les gâteaux à 7% de FVpu était due à leur teneur plus élevée dans la poudre de pulpe utilisée (pulpe de la prune noire issus de Yamoussoukro).

La teneur en fibres totales des gâteaux a augmenté de manière significative. Les valeurs des fibres dans les gâteaux formulés étaient plus élevées que celles du témoin. Des observations similaires ont également été rapportés par des chercheurs (**Noor Aziah et al., 2011 ; Kim et al., 2012 ; Mrabet et al., 2016 ; Ben Jeddou et al., 2017**) lors de leurs études sur les gâteaux, contenant respectivement des farines de pelures et de pulpes de mangues, des farines de cheonnyuncho, des fibres de datte et des farines de pelure de patates. Ces résultats impliquent clairement que, la pulpe et la pelure de prune noire peuvent être une source alternative de fibres alimentaires dans la fabrication de gâteaux. Par ailleurs, les farines de pulpe et de pelure de prune noire contenant des teneurs intéressantes de fibres alimentaires pourraient être également une alternative pour les personnes ayant des besoins caloriques particuliers. Toutefois, cet aspect doit être confirmé par des études complémentaires sur les fibres alimentaires insolubles

et solubles contenus dans la pulpe et la pelure de la prune noire, puis sur les concentrées de fibres issues de ces farines.

4.2.2.5. Caractéristiques organoleptiques des gâteaux formulés

En général, pour que l'incorporation d'un produit dans un aliment soit valide, ce produit doit améliorer ou au moins préserver les propriétés physiques et sensorielles de l'aliment dans lequel il sera incorporé (**Ben Jeddou et al., 2017**). Excepté la couleur de croûte et de mie et la flaveur à 5% FVpu, aucune différence significative n'a été observé par les panélistes entre les échantillons en ce qui concerne les autres attributs sensoriels notamment le goût, la texture (au toucher et en bouche) et l'acceptabilité globale.

La coloration et la flaveur sont les premiers attributs sensoriels qui attirent et incitent le consommateur à le découvrir davantage. Cependant, la couleur de la croûte et la couleur de la mie des gâteaux à incorporation de FVpu et FVpe ont été moins appréciés par rapport à celles de la croûte et de la mie du témoin. Malgré ce fait, les notes attribuées à la couleur des gâteaux à FVpu et FVpe sont supérieures à la moyenne selon l'échelle hédonique qui est de sept points. Ces gâteaux ont donc été jugés agréables en terme de couleur de croûte et de mie.

La texture de la mie est un attribut important de l'évaluation de la qualité sensorielle d'un gâteau. Car, elle influence l'acceptabilité de celui-ci (**Noor Aziah et al., 2011**). Nonobstant la texture plus légère du gâteau témoin, dû à la quantité d'air retenue dans ce dernier lors de la cuisson, les dégustateurs n'ont pas perçu de différences significatives ($P > 0,05$) entre le gâteau témoin et les gâteaux avec FVpu et FVpe incorporées. Sur une base hédonique de sept points d'échelle, les scores de l'attribut sensoriel texture au toucher et en bouche des gâteaux à FVpu et FVpe sont en moyenne respectivement de 5,21 et 5,11. Ces scores indiquent que la texture (au toucher et en bouche) des gâteaux est agréable.

Toute tentative d'amélioration ou préservation de propriétés soit nutritionnelles, fonctionnelles ou sensorielles d'un aliment n'a de portée que si ce dernier est accepté par les consommateurs après amélioration ou préservation de ses propriétés. Liée aux caractéristiques texturales et sensorielles, l'acceptabilité globale d'un aliment par le consommateur, constitue donc un point important (**Heinio et al., 2013**). Basée sur la couleur, la texture et le goût, elle est un indicateur de la qualité globale d'un gâteau. Aucune différence significative ($P > 0,05$), en terme d'acceptabilité globale n'a été constatée entre tous les échantillons de gâteaux. Des notes légèrement supérieures à celle du gâteau témoin ont même été attribuées aux gâteaux à 3% FVpe

(5,13) et 5% FVpu (5,17). Mais, les scores attribués aux gâteaux FVpu et FVpe auraient été largement supérieurs à celui du témoin si les consommateurs étaient informés de l'enrichissement des gâteaux en fibres. En effet, **Baixaoui et al. (2008)**, ont rapportés à l'issue de travaux réalisés sur des muffins enrichis en fibres, que l'information donnée aux consommateurs était un facteur pertinent pour leur acceptation. Ils ont constaté que sans information, les consommateurs ont attribué un faible score aux muffins enrichis, mais avec l'information, le score augmentait. Il est donc clair que plusieurs facteurs influencent l'acceptabilité d'un nouvel aliment sains dont l'information et la sensibilisation des consommateurs à la santé.

Globalement, excepté l'acceptabilité, le gâteau témoin a obtenu le meilleur score pour toutes les caractéristiques sensorielles évaluées. Des résultats similaires ont été obtenus par **Das et al. (2019)** ;

Au vu des caractéristiques sensorielles observées, l'on retient que, pour une meilleure satisfaction des consommateurs, la substitution partielle de la farine de blé par celles de la pulpe et de la pelure de la prune noire peut se faire jusqu'à 5% d'incorporation.

- **Conclusion partielle**

Cette étude a permis de mettre en évidence les propriétés fonctionnelles des poudres de la pelure et de la pulpe de la prune noire. La poudre de la pulpe a présenté la plus forte capacité d'absorption d'eau (CAE). Toutefois, les deux poudres (pelure et pulpe), n'ont montré aucune différence entre elles, en ce qui concerne les autres propriétés fonctionnelles : la capacité d'absorption d'huile (CAH), la densité apparente (DA), le pouvoir gonflant (PG), l'indice de solubilité dans l'eau (ISE), la capacité émulsifiante (CE) et la stabilité de l'émulsion (SE). Par ailleurs, ces deux v possèdent de fortes capacités de liaison à l'eau et à l'huile. Sur la base de ces résultats, il serait raisonnable de conclure que ces deux poudres peuvent servir d'ingrédients dans la préparation de nombreux produits alimentaires notamment les produits de boulangerie et pâtisserie (pains, gâteaux, biscuits etc), les mayonnaises, les sauces de salades, les saucisses etc... afin de non seulement améliorer les propriétés organoleptiques de ces produits mais aussi, d'augmenter leur stabilité lors du stockage.

Il a été observé que les poudres de la pulpe (FVPu) et de la pelure (FVPe) de prune noire peuvent être partiellement incorporées dans la farine de blé dans l'élaboration de gâteaux en vue d'un enrichissement en fibres. Néanmoins, lorsque le pourcentage de substitution de la farine de blé par la poudre de la pulpe et de la pelure de la prune noire a augmenté, il a été observé une diminution de la densité de la pâte à gâteau et du volume des gâteaux. L'étude des indices de symétrie et d'uniformité des gâteaux a révélé que les gâteaux avaient tous une forme convexe et étaient aussi tous de bonne qualité, compte tenu de leur indice d'uniformité proche de zéro. Par ailleurs, les résultats de l'analyse thermique (DSC) ont montré une diminution et une augmentation respectivement de la température de pointe (T_p) et de l'enthalpie de gélification (ΔH) du mélange farine de blé - poudre de pulpe ou pelure de la prune noire. Cependant, la gamme de température de gélification ($T_c - T_i$) de l'amidon de la farine de blé n'a pas significativement ($P > 0,05$) varié, malgré l'incorporation des poudres de la pulpe et de la pelure de prune noire. Ce résultat suggère que ces poudres (pulpe et pelure de la prune noire) n'ont causé aucune transformation dans les régions cristallines de l'amidon.

Les pâtes à gâteau formulées à différents taux d'incorporation des poudres de pulpe et de pelure de la prune noire, ont montré un amincissement par cisaillement (pseudo-plastique) et un comportement typique de solide - élastique. Les deux poudres (pulpe et pelure) n'ont pas eu d'effets significatifs ($P > 0,05$) sur les propriétés rhéologiques (écoulement et viscoélasticité) de la pâte à gâteau. Le modèle de Hershel Bulkley a permis d'expliquer avec succès le comportement d'écoulement et le comportement viscoélastique des pâtes à gâteau.

L'analyse de la coloration de la croûte des gâteaux a indiqué une couleur plus sombre et moins jaunâtre, avec un ton de plus en plus rougeâtre atténué, pour les gâteaux avec poudres (pulpe et pelure) de la prune noire incorporées. Pour ce qui est de la couleur de la mie, les échantillons ont aussi été significativement ($P < 0,05$) affectés par l'incorporation de la poudre de la pulpe de la prune noire et celle de la pelure. Les mies des gâteaux étaient ainsi de moins en moins claires, plus rougeâtres et moins jaunâtres avec l'ajout de des poudres (pulpe et pelure) de la prune noire. Au niveau texturale, les poudres FVpu et FVpe ont augmenté la durété des gâteaux (5% pour FVpe et 7% FVpu et FVpe), réduit leur cohésion et induit une adhésivité des gâteaux, mais les valeurs restent proches de celles du témoin. Ce qui rend tout les gâteaux acceptables.

Du point de vue nutritionnel, une augmentation de la teneur en fibres totales a été constaté avec l'augmentation du taux d'incorporation de FVPu et FVPe dans la formulation de gâteaux. Des augmentations plus grandes ont été observées avec l'incorporation de FVPe.

En ce qui concerne l'évaluation sensorielle, le gâteau témoin a obtenu le meilleur score pour toutes les caractéristiques sensorielles évaluées à l'exception de l'acceptabilité globale. Tous les échantillons ont obtenu le même score au niveau de l'acceptabilité globale.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le travail abordé ici s'inscrit dans le contexte de la valorisation des prunes noires à travers une collecte de renseignements au près des consommateurs, une caractérisation physicochimique et une transformation de celles-ci en bioproduit.

L'enquête menée dans le département de Bondoukou, a permis de connaître la prune noire, l'absence de méthodes de conservation et de transformation, respectivement de son fruit et de sa graine. Ainsi, la prune noire accessible (63, 50%) et disponible (89, 50%) pendant la période de production est beaucoup consommée et appréciée dans ce département. Cependant, la pulpe et la graine de ce fruit ne font objet respectivement d'aucune conservation et transformation pour une disponibilité de la pulpe en dehors de la période de production. L'initiation de pratiques nouvelles contribuera à leur accorder un plus grand intérêt notamment la fabrication de boisson fraîche à partir de la pulpe, sa transformation en farine et sa déshydratation.

La pulpe représente la plus grande partie de la prune noire issu du département de Bondoukou suivie de la graine (31, 54 ± 9 , 64 %). Elle représente à elle seule 57, 38 ± 10 , 66 % du fruit entier. La prune noire est de coloration rouge violassé foncée avec une masse volumique de $121, 33 \pm 55, 44 \text{ g/cm}^3$.

La perte en eau de la prune noire après 56h de séchage intermittent était de 22,34 %. Par ailleurs, l'activité de l'eau dans les fruits après séchage était toujours supérieure à 0,8. Eu égard ce constat, il serait nécessaire de procéder à un prétraitement des fruits avant séchage afin de non seulement permettre un séchage rapide de ceux-ci, mais encore, de préserver leurs caractéristiques organoleptiques.

L'analyse de la composition en macronutriments de la pulpe et de la pelure de la prune noire a montré des teneurs élevées en fibres et en cendres. L'analyse des minéraux a révélé que la pulpe et la pelure de la prune noire sont particulièrement riches en potassium, en phosphore, en calcium et en magnésium. Par ailleurs, elles se caractérisent par le bon profil en acides aminés essentiels. Toutefois, la pelure reste de façon général, la partie la plus riche en fibres et en calcium.

Une étude détaillée du contenu en composés phénoliques montre que la prune noire contient des quantités élevées de polyphénols. Les composés phénoliques majoritaires dans les pulpes et les pelures sont respectivement l'acide cinnamique et l'acide gallique à l'exception des pelures des fruits issus de Ferkéssédougou dont le phénol majoritaire est l'acide cinnamique. Les extraits de pulpes et de pelures de la prune noire issu de Yamoussoukro contiennent la teneur en composés phénoliques la plus élevée parmi les fruits issus des trois

zones. Il a été aussi démontré que, les extraits de pelures de la prune noire possèdent des concentrations en composés phénoliques supérieures à celles des pulpes. La plus grande capacité de récupération des radicaux libres et de réduction ferrique est observée dans les extraits de pelures des fruits de Yamoussoukro et de Tiébissou.

La composition nutritionnelle de ce fruit peut être prise en compte dans la reconstitution de gâteau. Dès lors, les poudres de pulpes et de pelures de prunes noires peuvent être partiellement incorporées dans la farine de blé dans l'élaboration de gâteaux en vue d'un enrichissement en fibres. L'enrichissement du gâteau en fibres a causé une diminution de la densité de la pâte à gâteau et du volume des gâteaux. D'après les résultats des paramètres thermiques (DSC), l'incorporation des poudres de la pulpe et de la pelure de la prune noire a modifié significativement ($P < 0,05$) la température de pointe (T_p) et l'enthalpie de gélification (ΔH) de l'amidon. En revanche, cette incorporation n'a pas d'effet significatif sur la gamme de température de gélification ($T_c - T_0$) de l'amidon de blé. L'étude des propriétés rhéologiques des pâtes enrichis en fibre par les poudres de la prune noire et de la pâte de farine de blé a montré un comportement pseudo-plastique (amincissement par cisaillement) et solide – élastique. Les deux poudres (pulpe et pelure) n'ont pas eu d'effets significatifs ($P > 0,05$) sur les propriétés rhéologiques (écoulement et viscoélasticité) de la pâte à gâteau. Par ailleurs, des paramètres de couleur (L^* , a^* , b^*) ont indiqué une couleur de croûte des gâteaux contenant les poudres de la prune noire plus sombres et moins jaunâtre, avec un ton de plus en plus rougeâtre atténué. La couleur de la mie des gâteaux a également été significativement ($P < 0,05$) affectés par l'incorporation de la poudre de la pulpe de la prune noire et celle de la pelure. En outre, l'incorporation de ces poudres (pulpe et pelure de la prune noire) a eu un effet significatif ($P < 0,05$) de réduction sur la dureté des gâteaux à partir de 5% de poudre de pelure incorporée et à 7% de farine de pulpe incorporée. Toutefois, les valeurs sont restées proches de celle du témoin. Du point de vue nutritionnel, il est effectivement observé une augmentation de la teneur en fibres totales dans les gâteaux avec l'augmentation du taux d'incorporation des poudres de la prune noire dans les formulations. Des augmentations plus grandes ont été observées avec l'incorporation de la poudre de la pelure de la prune noire. Quant à l'évaluation sensorielle, le gâteau témoin a obtenu le meilleur score pour toutes les caractéristiques sensorielles évaluées à l'exception de l'acceptabilité globale. Tous les échantillons de gâteaux ont obtenu le même score au niveau de l'acceptabilité globale. Sur une échelle de notation de 7 points, un score de 5,03 en moyenne a été attribué à tous les échantillons de gâteaux. Toute amélioration organoleptique ou nutritionnelle d'un aliment, n'a de valeur que si elle est acceptée par le

consommateur. Il est donc impérieux de conclure que les poudres de pulpe et de pelure de la prune noire de par leur bonne valeur nutritionnelle notamment les fibres peuvent être utilisées dans la formulation de gâteaux en vue d'un enrichissement de ceux-ci en fibres, sans que les propriétés physiques et rhéologiques de ces gâteaux ne soient affectées. Toutefois, l'utilisation de la pelure de la prune noire est plus recommandée car, elle apporte une quantité plus élevée de fibres aux gâteaux que la pulpe.

Les résultats suggèrent que les pelures de la prune noire pourraient être utilisées comme source peu coûteuse d'antioxydant naturel. Ainsi, de par leur capacité de piégeage de radicaux libres et de leur pouvoir réducteur, les pelures de la prune noire pourraient contribuer à la prévention des maladies liées à des taux anormalement élevés d'espèces réactives d'oxygènes dans l'organisme.

Ces fruits pourraient constituer donc une bonne source de nutriments importants et de composés bénéfiques pour la santé.

Perspectives

En dépit des résultats obtenus et des premiers tests encourageants, des problèmes dont la résolution est préalable à une éventuelle vulgarisation de la prune noire dans les différents domaines sont identifiés. Il conviendrait sur le plan alimentaire de :

- déterminer la Date Limite d'Utilisation Optimale (DLUO) et la Date Limite de Consommation (DLC) des gâteaux enrichis en fibres par l'incorporation de la poudre de la pulpe et de la pelure de la prune noire suivi d'une analyse microbiologique de ces gâteaux ;
- produire un nouveau concentrés de fibres alimentaires avec de bonnes propriétés antioxydantes à partir de la prune noire en vue d'une meilleure utilisation industrielles ;
- Mener des recherches complémentaires pour identifier les composés phénoliques à aires de peak important présents dans la prune noire n'ayant pas été identifier sur la base de notre library. Aussi, une évaluation de l'effet inhibiteur de peroxydation lipidique des composés phénoliques dans la pelure de la prune noire devrait être effectuée ;
- faire une caractérisation nutritionnelle et fonctionnelle de la graine puis de la transformer en un produit alimentaire consommable notamment en succédané du café en vue de valoriser cette partie de la prune noire qui représente environ 49% de la prune noire entière ;
- Etudier l'influence du séchage sur les propriétés nutritionnelles et organoleptiques de la prune noire ;
- Identifier les méthodes de conservation et de transformation de la prune noire pouvant existées dans d'autres localités de la Côte d'Ivoire ;
- estimer le prix au kilogramme des fruits séchés

Recommandations

La consommation des deux parties de la prune noire notamment la pelure et la pulpe est alors recommandée. Par conséquent, nous proposons une intégration des parties de ce fruit dans le régime alimentaire des populations afin que ce fruit contribue au maintien de la santé.

Sur le plan socio-économique, il serait intéressant que le prix (estimé) des fruits séchés soit inférieur à celui de la farine de blé pour les rendre accessibles et compétitifs. La reconstitution sous forme de gâteaux étant une chose nouvelle, serait-elle assez intéressante pour être introduite dans les pratiques culinaires traditionnelles ?

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdul Aziz N. A., Wong L. M., Bhat R. & Cheng L. H. (2012). Evaluation of processed green and ripe mango peel and pulp flours (*Mangifera indica* var. Chokanan) in terms of chemical composition, antioxidant compounds and functional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92(3), 557–563. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4606>
- Abdulrahman F., Ismail A., Abdul A., Azlan A. & Al-sheraji S. H. (2011). Characterisation of fibre-rich powder and antioxidant capacity of *Mangifera pajang* K . fruit peels. *Food Chemistry*. 126(1), 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.019>
- Abu J. D. (2002). Development of a sweetener from black plum (*vitex doniana*) fruit. *International Journal of Food Properties*. 5(1), 153–159. <https://doi.org/10.1081/JFP-120015598>.
- Ackermann, J., Fischer, M., & Amadb, R. (1992). Changes in Sugars, Acids, and Amino Acids during Ripening and Storage of Apples (Cv. Glockenapfel). *J. Agric. Food Chem*, 40, 1131-1134.
- Adepeju A. B., Gbadamosi S. O., Adeniran A. H. & Omobuwajo T. O. (2011). Functional and pasting characteristics of breadfruit (*Artocarpus altilis*) flours. *African Journal of Food Science*. 5(9), 529–535. Retrieved from <http://www.academicjournals.org/AJFS>.
- Adeleke R. O. & Odedeji J. O. (2010). Functional Properties of Wheat and Sweet Potato Flour Blends. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9 (6): 535-538.
- Afam I.O., Jideani T. A. A., Godwin R.A., Mchau,E. O. U. & Onipe (2017). Processing and Preservation of Fresh-Cut Fruit and Vegetable Products. INTECH Open science. 29p. <dx.doi.org/10.5772/intechopen.69763>.
- AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) (2002). Fiche de description de dangers transmissibles par les aliments : *Salmonella* spp. AFSSA, 6p. <http://www.infectiologie.com>
- Agbede J. O. & Ibitoye A. A. (2007). Chemical composition of black plum (*Vitex doniana*): An under-utilized fruit. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 5(2), 95–96.
- Ahlborn GJ., Pike OA., Hendrix SB., Hess WM. & Huber CS. (2005). Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads. *Cereal Chemistry* 82, 328–335.
- Ajenifujah-Solebo & Aina (2011). Physico-Chemical Properties and Sensory Evaluation of Jam Made From Black-Plum Fruit. *African Journal of Food, Agri., Nutrition and Dev.*, 11(3),

4772–4784.

- Ajila C. M., Bhat S. G. & Rao U. J. S. P. (2007). Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, 102, 1006–1011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.036>.
- Akmel C. (2010). Séchage solaire des fèves de cacao: étude expérimentale et modélisation de la cinétique de séchage. Mémoire de doctorat. Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire.
- Akbulut A. & Durmuş A. (2010). Energy and exergy analyses of thin layer drying of mulberry in a forced solar dryer. *Energy*. 35(4), 1754-1763.
- Akubor P. I. & Badifu G. I. O. (2004). Chemical composition, functional properties and baking potential of African breadfruit kernel and wheat flour blends. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 223–229.
- Al-dmoor H. M. (2013). Cake flour : functionality and quality (review). *European Scientific Journal*, 9(3), 166–180.
- Ali H.M. & Sakr I.A. (1983). Le Séchage des Légumes en Egypte. In: G. Yaciuk, (Ed.), *Le Séchage des Produits Alimentaires*, Ottawa, IDRC, 195 f.
- Ali A., Shehzad A., Khan M. R., Shabbir M. A. & Amjid M. R. (2012). Yeast , its types and role in fermentation during bread making process-A Review. 22(3), 171–179.
- Ali D. O. M., Ahmed A. R. & Babikir E. B. (2014). Physicochemical and Nutritional Value of Red and White Guava Cultivars Grown in Sudan. *J. Agric. Fd. Applied Sci.* 2(2), 27–30.
- Aliyu, A. B., Musa, A. M., Oshanimi, J. A., Ibrahim, H. A., & Oyewale, A. O. (2008). Phytochemical analyses and mineral elements composition of some medicinal plants of northern. *Nig. Journ. Pharm. Sci.*, 7(1), 119–125.
- Alleoni ACC & Antunes. AJ. (2004). Albumen Foam Stability and S-Ovalbumin. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 105–110.
- Allou A. & Yao-Kouamé A. (2008). Propriétés du sol et domestication de lippia multiflora (verbenaceae) en cote d'ivoire. *Agronomie Africaine*. 20(1), 97–107.
- Ambé G. A. (2000). Les fruits sauvages comestibles des savanes guinéennes de Côte-d'Ivoire: état de la connaissance par une population locale, les Malinké. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 5 (1): 43–58.
- American Diabetes Association. (2004). Preventive foot care in diabetes. *Diabetes Care*, 27(suppl 1), s63-s64.
- Amjid M. R., Shehzad A., Hussain S., Shabbir M. A. & Khan M. R. (2013). A comprehensive review on wheat flour dough rheology A comprehensive review on wheat flour dough rheology. *Pakistan Journal of Food Sciences*. 23(2), 105–123.

-
- Anderson R.A., Conway H.F., Pfeifer V.H. & Griffin E.L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14: 4-7, 11-12.
- Andrade R. M. S. & Gonçalves É. C. B. A. (2015). Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. *J. Food Sci Technol*, 52, 822–830. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1061-4>
- AOAC (1990). Official methods of analysis, vol 2, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. 37.
- AOAC (1984). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 14th edition. Washington, DC, Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC 991.43. Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fiber in Foods Enzymatic-Gravimetric Method, MES -Tris Buffer.
- Appiah F., Asibuo J. Y. & Kumah P. (2011). Physicochemical and functional properties of bean flours of three cowpea (*Vigna unguiculata* L . Walp) varieties in Ghana. *African Journal of Food Science*, 5, 100–104.
- Arendhirakannan, R. T. N., & Ubramanian, S. S. (2005). Mineral Content of Some Medicinal Plants Used in the Treatment of Diabetes Mellitus. *Biological Trace Element Research*, 103(1), 109–115.
- Aryee F., Oduro I., Ellis W. & Afuakwa J. (2005). The physicochemical properties of flour samples from the roots of 31 varieties of cassava. *J. Food Control*, 17: 916 – 922.
- Ashoush I. S. & Gadallah M. G. E. (2011). Utilization of Mango Peels and Seed Kernels Powders as Sources of Phytochemicals in Biscuit. *World Journal of Dairy & Food Sciences*. 6(1), 35–42.
- Ataei F. & Hojjatoleslami M. (2017). Physicochemical and sensory characteristics of sponge cake made with olive leaf. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 2259–2264. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9610-6>
- Athamena S. (2009). Etude quantitative des flavonoïdes des graines de Cuminum cyminum et les feuilles de Rosmarinus officinalis et l'évaluation de l'activité biologique. Thèse de Magistère en Biochimie Appliquée. Université El Hadj Lakhdar .Batna. 88p.
- Aydogdu A., Sumnu G. & Sahin S. (2018). Effects of addition of different fibers on rheological characteristics of cake batter and quality of cakes. *Journal of Food Science and Technology*. 55(2), 667–677. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2976-y>.
- Badaoui O., Hanini S., Djebli A. & Haddad B. (2019). Experimental and modelling study of

-
- tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse : Evaluation of new drying models. *Renewable Energy*.133, 144–155.
- Baldwin R. L. (1975). Intermediates in protein folding reactions and the mechanism of protein folding. *Annual review of biochemistry*. 44(1), 453-475.
- BakeTran. (2012). A Guide to the Effects of the Main Ingredients Used in Cake and Sponge Recipes. Bookshelf of the main ingredients used. 3p.
- Balestra F., Cocci E., Pinnavaia G. G. & Romani S. (2011). Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT - Food Science and Technology*, 44(3), 700–705. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.10.017>.
- Balla, A., Blecker, C., Oumarou, M., Paquot, M., & Deroanne, C. (1999). Mise au point de pains composites à base de mélanges de farines de sorgho-blé et analyse texturale. *BASE*, 3(2), 69–77.
- Basunia M. A. & Abe T. (2001). Thin-layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. *Journal of food engineering*, 47, 295–301.
- Bchir B., Rabetafika H. N., Paquot M. & Blecker C. (2014). Effect of Pear , Apple and Date Fibres from Cooked Fruit By-products on Dough Performance and Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology*, 1114–1127. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1148-y>.
- Beato V. M., Orgaz F., Mansilla F. & Montañó A. (2011). Changes in Phenolic Compounds in Garlic (*Allium sativum* L.) Owing to the Cultivar and Location of Growth. *Plant Foods for Human Nutrition*. 66(3), 218–223. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0236-2>
- Becila Abdelhakim (2009). Préventions Des Altérations et Des Contaminations Microbiennes des Aliments. Mémoire de Post-graduation spécialisée. 90p.
- Beentje H J (1994): Kenya Trees, Shrubs and Lianas. National Museums of Kenya. Nairobi, Kenya. 42.
- Ben Jeddou K., Bouaziz F., Zouari-Ellouzi S., Chaari F., Ellouz-Chaabouni S., Ellouz-Ghorbel R. & Nouri-Ellouz O. (2017). Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food Chemistry*. 217, 668–677. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.081>.
- Bennion E. B. & Bamford G. S. (1997). The technology of cake making. London, UK: Blackie Academic and Professional.
- Beto J. A. (2015). The Role of Calcium in Human Aging. *Clinical Nutrition Research*. 4, 1-8.

-
- Beye C. Tounkara L. S., Seck M. A., Thonart P. & Fickers P. (2015). Opportunités pour la valorisation des végétaux riches en anthocyanes comme sources de colorants alimentaires (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Env.* 19(4): 392-401.
- Billiaderis C. G., Maurice T. J. & Vose J. R. (1980). Starch gelatinisation phenomena studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science*. 45: 1669-1674.
- Bloksma A. H. & Bushuk W. 1988. Rheology and Chemistry of Dough. In: "Wheat Chemistry and Technology II", (Ed.): Pomeranz, Y.. AACC, St Paul, Minnesota, USA, 131-217.
- Blumenthal J. M., Baltensperger D. D. & Cassman K. G. (2008). Chapter 3 . Importance and Effect of Nitrogen on Crop Quality. *Nitrogen in the Environment*, 51–70.
- Bohé J., Low A., Wolfe R. R. & Rennie M. J. (2003). Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability: a dose-response study. *The Journal of physiology*, 552(1), 315-324.
- Bolaji, B. O., & Olalusi, A. P. (2008). Performance Evaluation of a Mixed-Mode Solar Dryer, *II(4)*, 225–231.
- Bolaji B. O. & Olalusi A. P. (2008). Performance Evaluation of a Mixed-Mode Solar Dryer. *AU J.T.*, *11(4)*, 225–231.
- Boskey A. L. (2007). Mineralization of Bones and Teeth. *Element*. (3), 385–392.
- Boubeghal A., Benhammou M., Omari B., Amara S. & Amer L. (2007). Etude numérique d'un séchoir solaire fonctionnant en convection naturelle. *Revue des Energies Renouvelables ICRESD-07 Tlemcen*, 315–320.
- Boulemtafes A. (2011). Recherche et Développement Le séchage solaire des produits agricoles. *Recherche et Développement*, 10–12.
- Boughali S., Bouchekima B. & Nadir N. (2008). Expérience du séchage solaire dans le Sahara Septentrional Est Algérien. *Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger*. 105–110.
- Brand-Williams W., Cuvelier M. E. & Berset C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Bronner F., & Pansu D. (1995). Recent Advances in Nutritional Science. *Recent Advances in Nutritional Science*. 9–12.
- Brooker B. E. (1993). The Stabilisation of Air in Cake Batters - The Role of Fat. *Food Structure*, *12(3)*.
- Burubai W. & Amber B. (2014). Some Physical Properties and Proximate Composition of Ngologolo Fruits. *J Food Process Technol*. 5(6): 1 – 5.

-
- Cantín C. M., Moreno M. A. & Gogorcena Y. (2009). Evaluation of the antioxidant capacity, phenolic compounds, and vitamin C content of different peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) batsch] breeding progenies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(11), 4586–4592. <https://doi.org/10.1021/jf900385a>
- Carbone F., Preuss A., De Vos R. C. H., D’Amico E., Perrotta G., Bovy A. G. & Rosati C. (2009). Developmental, genetic and environmental factors affect the expression of flavonoid genes, enzymes and metabolites in strawberry fruits. *Plant, Cell and Environment*. 32(8), 1117–1131. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01994.x>
- Cauvain S. P. (2003). Bread making. Improving quality. 608p.
- Cavalcante R. S. (2015). Effects of sucrose reduction on the structural characteristics of sponge cake. *Revista Ciência Agronômica*, 1, 718–723. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150058>
- Černiauskiene J., Kulaitienė J., Danilčenko H., Jariene E. & Juknevičienė E. (2014). Pumpkin Fruit Flour as a Source for Food Enrichment in Dietary Fiber. *Not Bot Horti Agrobo*, 42(1), 19–23.
- Chaiya B. & Pongsawatmanit R. (2011). Quality of Batter and Sponge Cake Prepared from Wheat-Tapioca Flour Blends. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, 313, 305–313.
- Chandra S. & Shamsheer (2013). Assessment of functional properties of different flours. *African Journal of Agricultural*. 8(38), 4849–4852. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.6905>
- Charalambides M. N., Wanigasooriya L., Williams J. G. & Goh S. M. (2006). Large deformation extensional rheology of bread dough. *Rheol Acta*, 239–248. <https://doi.org/10.1007/s00397-006-0104-4>.
- Chel-Guerrero L., Pérez-Flores V., Betancur-Ancona D. & Dávila-Ortiz G. (2002). Functional properties of flours and protein isolates from *Phaseolus lunatus* and *Canavalia ensiformis* seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(3), 584–591. <https://doi.org/10.1021/jf010778j>.
- Cherrak S. A., Mokhtari-Soulmane N., Berroukeche F., Bensenane B., Cherbonnel A., Merzouk H. & Elhabiri M. (2016). In vitro antioxidant versus metal ion chelating properties of flavonoids: A structure-activity investigation. *PLoS ONE*. 11(10), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165575>.
- Chesterton A. K.S., Wilson D. I., Sadd P. A. & Moggridge G. D. (2014). A novel laboratory scale method for studying heat treatment of cake flour. *Journal of Food Engineering*. 144, 36–44.

-
- Chiado K., Nina J., Ghislaine D. C., Hubert K. K., Yapi A., Patrice D. & Alphonse K. (2017). Biochemical and Functional Properties of Yam Flour during the Post-harvest Conservation of *Dioscorea alata* Cultivar «Azaguié». *Current Journal of Applied Science and Technology*. 21, 1–10. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2017/32404>
- Chibane H., Benamara S., Noui Y., Djouab A. (2007). Some physicochemical and morphological characterizations of three varieties of Algerian dates. *European Journal of Scientific Research*. 15(1), 134-140.
- Chinma C. E. & Gernah D. I. (2007). Physicochemical and sensory properties of cookies produced from cassava/soyabean/mango composite flours. *J. Food Technol.* 5(3), 256-260.
- Chun S. S., Vatterm D. A., Lin Y. T. & Shetty K. (2005). Phenolic antioxidants from clonal oregano (*Origanum vulgare*) with antimicrobial activity against *Helicobacter pylori*. *Process Biochemistry*. 40(2), 809–816. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.02.018>
- Cieślak E., Gręda A. & Adamus W. (2006). Contents of polyphenols in fruit and vegetables. *Food Chemistry*. 94(1), 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.015>
- Cisse M. (2012)**. Caractérisation de quelques fruits du Sénégal, stabilisation et concentration de jus de fruits tropicaux par des techniques membranaires, Thèse de Doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Sénégal. 210 p.
- Cissé M., Sakho M., Dornier M., Diop M.C., Reynes M. & Sock O. (2009). Caractérisation de ladu baobab et étude de sa transformation en nectar. *Fruits, CIRAD/EDP Sciences*. 64, 19–34.
- Clément P. (2015). Hyperactivité et troubles de la concentration : de la théorie à la pratique. *Acupuncture & Moxibustion*. 14(1): 43 – 49.
- Codjia, J. T. C., Assogbadjo, A. E., & Ekué, M. R. M. (2003). Diversité et valorisation au niveau local des ressources végétales forestières alimentaire du Bénin. *Cahiers Agricultures*, 12, 1-12.
- Contreras-Calderón J., Calderón-Jaimes L., Guerra-Hernández E. & García-Villanova B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*. 44(7), 2047–2053. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.003>.
- Correia P. & Beirão-Da-Costa M. L. (2012). Effect of drying temperatures on starch-related functional and thermal properties of chestnut flours. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.008>.

-
- Coulibaly L., Kouassi K. H., Soro G. E. & Savane I. (2016). Analyse du processus de savanisation du nord de la Côte d'Ivoire par télédétection : Cas du département de Ferkessedougou [Analysis of the savannization process by remote sensing method of northern Côte d'Ivoire : Case study of Ferkessedougou County. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17(1), 136–143.
- Curie M. (2006). Université Pierre et Marie Curie Biochimie : structure des glucides et lipides. 48p.
- Dadda B. & Serir S. K. L. (2008). Réalisation d'un séchoir solaire indirect. *Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger*, 127–134.
- Damila R. M., Eliza M. R., Sheisa C. S., B., Elton G. B., Rubia M. S., Nilson E. S., Makoto M. & Jesuí V. V. (2017). Proximate Composition, Mineral Contents and Fatty Acid Composition of the Different Parts and Dried Peels of Tropical Fruits Cultivated in Brazil. *J. Braz. Chem. Soc.* 28(2), 308–318.
- Dadjo C., Assogbadjo A. E., Fandohan B., Kakaï G. R., Chakeredza S., Thierry Dèhouégnon Houehanou T. D, Damme P. V., Sinsin B. (2012). Uses and management of black plum (*Vitex doniana* Sweet) in Southern Benin. *fruits*. (67), 239-248.
- Das P. C., Khan M. J., Rahman M. S., Majumder S. & Islam M. N. (2019). Comparison of the physico-chemical and functional properties of mango kernel flour with wheat flour and development of mango kernel flour based composite cakes. *NFS Journal*. 17, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.10.001>
- David O., Arthur E., Kwadwo S. O., Badu E. & Sakyi P. (2015). Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 4(2), 753–758. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0402097>.
- Davis A. (2018). Functionality in foods of sugars : physicochemical interactions. *The American journal of clinical nutrition*, 62(January), 170–177.
- De la Hera ., Elena R-P., Bonastre O. & Gómez M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flour. *LWT - Food Science and Technology*. 49, 48-54 .
- DeLuca H. F. (2004). Overview of general physiologic features and functions of vitamin D. *The American journal of clinical nutrition*, 80(6), 1689S-1696S.
- Demirkesen I., Mert B., Sumnu G. & Sahin S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96(2), 295–303.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004>.

- Déprez S., Brezillon C., Rabot S., Philippe C., Mila I., Lapierre C. & Scalbert A. (2000). Polymeric Proanthocyanidins Are Catabolized by Human Colonic Microflora into LowMolecular-Weight Phenolic Acids. *The Journal of Nutrition*, 130: 2733 – 2738.
- Deshpande A. P. (2010). Techniques in oscillatory shear rheology. *Indian Institute of Technology Madras, Chennai*, 1–23.
- Dhingra D., Michael M. & Rajput H. (2012). Dietary fibre in foods : a review. *J Food Sci Technol*, 49(June), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
- Diakabana P., Kobawila S. C., Massengo V. & Louembé D. (2013). Effet du degré de maturation sur la cinétique de fermentation éthylique de la pulpe de mangue cultivar BOKO. *Cameroon J. Exp. Biol.* 9(1): 1-8.
- Diop N. (2013). Caractérisation du ditax (*detarium senegalense* j.f.gmel) et étude de sa transformation en nectar. Mémoire de doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Sénégal. 165p.
- Diop N. (2010). Amélioration de la compétitivité des boissons et nectars à base de fruits locaux au Sénégal, Rapp. Tech. n°2, Proj. FNRAA-ITA. 13p.
- Dissa A. O., Desmorieux H., Bathiebo J. & Koulidiati J. (2011). A comparative study of direct and indirect solar drying of mango. *Global journal of pure and applied sciences*, 17(2), 273–294.
- Dixon R. A. & Paiva N. L. (1995). Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The plant cell*, 7(7), 1085.
- Djakalia O., Djaha K. & Marie-solange T. (2016). Diversité floristique et usages des plantes dans la zone soudanienne du Nord-ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*. 31(1), 4815–4830.
- Dobraszczyk B. J. & Morgenstern M. P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38, 229–245. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00059-6](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00059-6)
- Doukani K. & Tabak S. (2015). Profil Physicochimique de la "Lendj" (*Arbutus unedo* L.). *Nature & Technology*. 53 – 66.
- Doymaz I. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*. 79, 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.049>

-
- Dreon D. M., Vranizan K. M., Krauss M. A. A. & Wood P. D. (1990). L'effet des huiles polyInsaturées et monosaturées sur Les lipoprotéines plasmatiques. *J. Am. Med. Assoc.* 263: 2462.
- Drummond M. J., Dreyer H. C., Pennings B., Fry C. S., Dhanani S., Dillon E. L. & Rasmussen B. B. (2008). Skeletal muscle protein anabolic response to resistance exercise and essential amino acids is delayed with aging. *Journal of applied physiology*, 104(5), 1452-1461.
- Du S., Neiman A., Batis C., Wang H., Zhang B., Zhang J. & Popkin B. M. (2014). Understanding the patterns and trends of sodium intake , potassium intake , and sodium to potassium ratio and their effect on hypertension. *Am J Clin Nutr* . 334–343. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.059121.1>.
- Du S., Jiang H., Yu X. & Jane J. (2013). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT - Food Science and Technology*, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.001>.
- Egbekun M. K., Akowe J. I. & Ede R. J. (1996). Physico-chemical and sensory properties of formulated syrup from black plum (*Vitex doniana*) fruit. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 49(4), 301–6. <https://doi.org/10.1007/BF01091979>
- Ekechukwu O. V. & Norton B. (1999). Review of solar-energy drying systems II : an overview of solar drying technology, 40.
- Ekué M. R. M., Codjia J. T. C., Fonton B. K. & Assogbadjo A. E. (2008). Diversité et préférences en ressources forestières alimentaires végétales des peuples Otammari de la région de Boukoubé au Nord-Ouest du Bénin. *Bulletin Recherche Agronomique du Bénin*. 60: 1-12.
- Elbadrawy E. (2016). Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arabian Journal of Chemistry*. 9, S1010–S1018. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.11.011>
- Elleuch M., Besbes S., Roiseux O., Blecker C., Deroanne C., Drira N. & Attia H. (2008). Date flesh : Chemical composition and characteristics of the dietary fibre. *Food Chemistry*. 111, 676–682. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.036>
- Ercisl, S. (2007). Chemical composition of fruits in some rose (*Rosa spp* .) species. *Food Chemistry*. 104, 1379–1384. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.053>

-
- Ercisli S. & Orhan E. (2007). Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*. *103*, 1380–1384. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.054>
- Esper A. & Miihlbauer W. (2000). *Renewable energy*, *5*(1998).
- Espiard E. (2002). Introduction à la transformation industrielle des fruits, Lavoisier. Editions TEC & DOC. 360 p.
- Eruvbetine D. (2003). Canine Nutrition and Health. A paper presented at the seminar organized by Kensington Pharmaceuticals Nig. Ltd., Lagos on August 21, 2003.
- FAO (1970) Amino Acid Content of Foods and Biological Data on Proteins. FAO Nutritional Studies. Food and Agric Org of the UN, Rome, Italy, p 285.
- Feumba D. R., Ashwini R. P. & Ragu S. M. (2016). Chemical composition of some selected fruit peels. *European Journal of Food Science and Technology*. *4*(4), 12–21.
- Ferhoum F. (2010). Analyses physico chimiques de la propolis locale selon les étages bioclimatiques et les deux races d'abeille locales (*Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*) (Doctoral dissertation, Thèse de magister en Technologie Alimentaire. Université M'hamed Bougara. Boumerdès).
- Figueroa-Méndez R, & Rivas-Arancibia S. (2015). Vitamin C in health and disease: its role in the metabolism of cells and redox state in the brain. *Frontiers in physiology*, *6*, 397.
- Foster S. A. (2013). Construction and Performance Testing of a Mixed Mode Solar Food Dryer for Use in Developing Countries.
- Gatel R. (1982). *L'aliment à l'humidité intermédiaire : Concept fondamental et fonction scientifique*. Ed. APRIA. **39-50**.
- Gao X., Ohlander M., Jeppsson N., Bjo L. & Trajkovski V. (2000). Changes in Antioxidant Effects and Their Relationship to Phytonutrients in Fruits of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L .) during Maturation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 1485–1490.
- Garau M. C., Simal S., Rosselló C. & Femenia A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*. *104*(3), 1014–1024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.009>
- Garruti S. & Virginia H. (1999). Sensory Evaluation in Fruit Product Development. 416 *Advances in Fruit Processing Technologies*, 29p.

-
- Gautier-Béguin D. (1992). Plantes de cueillette alimentaires dans le sud du V-Baoulé en Côte d'Ivoire : description, écologie, consommation et production, Boissiera. 46. 341p.
- Gautier D., Hautdidier B., Ntoupka M., Onana J., Perrot N. & Tapsou T. (2002). Fiches techniques des arbres utiles aux paysans du Nord Cameroun. Caractéristiques de l'arbre, ce qu'en font les paysans et ce qu'ils pourraient en faire. 125 p.
- Gautier H., Diakou-Verdin V., Bénard C., Reich M., Buret M., Bourgaud F. & Génard M. (2008). How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(4), 1241–1250. <https://doi.org/10.1021/jf072196t>
- Ghaboos H. S. H., Seyedain A. S. M. & Kashaninejad M. (2018). Physico-chemical, textural and sensory evaluation of sponge cake supplemented with pumpkin flour. *International Food Research Journal*. 25(2): 854-860.
- Giddey C. (1982). Les produits à humidité intermédiaire : Cas particulier du problème de la conservation des produits à humidité intermédiaire. Ed.APRIA. 21- 28.
- Glew, R. H., Ayaz, F. A., Sanz, C., Vanderjagt, D. J., Huang, H., Chuang, L., & Strnad, M. (2003). Changes in sugars , organic acids and amino acids in medlar (*Mespilus germanica* L .) during fruit development and maturation. *Academic Press*, 83, 363–369. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00097-9)
- Godon B. & Willm C. (1998). Industrie des premières transformations des céréales, Tec et doc, Lavoisier. Paris
- Gómez A., Ferrero C., Calvelo A., Añón M. C., Puppo M. C., Ferrero C. & Añón M. C. (2011). Effect of Mixing Time on Structural and Rheological Properties of Wheat Flour Dough for Breadmaking. *International Journal of Food Properties*, 2912. <https://doi.org/10.1080/10942910903295939>.
- Gomez M., Ronda F., Caballero P. A., Blanco C. A. & Rosell C. M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*. 21, 167–173.
- Gomez C. (2009). Etude des mecanismes de stockage des anthocyanes dans la baie de raisin caracterisation fonctionnelle des genes impliquees dans ces mecanismes. Mémoire de thèse. Montpellier SUPAGRO. France. 202p.
- Gomez M., Moraleja A., Oliete B., Ruiz E. & Caballero P. A. (2010). Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *LWT - Food Science and Technology*. 43, 33–38.

-
- Goranova Z., Baeva M., Stankov S. & Zsivanovits G. (2016). Sensory Characteristics and Textural Changes during Storage of Sponge Cake with Functional Ingredients. *J. Food Physics*, 28, 70–79.
- Gorinstein S., Martin-belloso O., Lojek A., Milan C., Soliva-fortuny R., Park Y. & Trakhtenberg S. (2002). Comparative content of some phytochemicals in Spanish apples, peaches and pears. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1166–1170. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1178>
- Goulas V. & Manganaris G. A. (2012). Exploring the phytochemical content and the antioxidant potential of Citrus fruits grown in Cyprus. *Food Chemistry*. 131(1), 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.007>.
- Goyal R. K., Kingsly A. R. P., Manikantan M. R. & Ilyas S. M. (2006). Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. *Biosystems Engineering*. 95, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.05.001>
- Graille J.P. (2003). Lipides et corps gras alimentaire. Edition LAVOISIER. 51-66.
- Grigelmo-miguel N. & Martõân-belloso O. (1999). Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Research International*. 31(5).
- Gross D. & Parthier B. (1994). Novel natural substances acting in plant growth regulation. *Journal of plant growth regulation*, 13(2), 93.
- Gularte MA., De la Hera E., Gomez M., Rosell CM. (2012) Effect of different fibres on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT Food Sci Technol* 48:209–214.
- Gunasekaran S. & Ak M. M. (2000). Dynamic oscillatory shear testing of foods & selected applications. *Trends in Food Science & Technology*, 11.
- Gupta C. P. (2014). Role of Iron (Fe) in Body. *Journal of Applied Chemistry*. 7(11), 38–46.
- Hadna M., Dap T. & Filip B. (2013). Empirical and Fundamental Rheological Properties of Wheat Flour Dough as Affected by Different Climatic Conditions. *J. Agr. Sci. Tech.*, 15, 1381–1391.
- Hafez A. A. (2012). Physico-Chemical and Sensory Properties of Cakes Supplemented with Different Concentration of Marjoram. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(13), 463–470.
- Hagerman A. E., Riedl K. M., Jones G. A., Sovik K. N., Ritchard N. T., Hartzfeld P. W. & Riechel T. L. (1998). High Molecular Weight Plant Polyphenolics (Tannins) as Biological Antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(5), 1887–1892. <https://doi.org/10.1021/jf970975b>.

-
- Hamad S. H. (2012). 20 Factors Affecting the Growth of Microorganisms in Food. *Progress in food preservation*, 405.
- Harrak H., Boujnah M. & Hamouda A. (2003). physiques et Caractérisations de variétés des principales morphologiques marocaines dattes Résumé Abstract: Physical and morphological varieties of Moroccan dates. *Al Avantia* 107.
- Hassam A. (2011). La prévention des intoxications alimentaires en restauration collective. Mémoire de doctorat en médecine. 245p.
- Hayet A. & Salem B. (200). Vacuum drying of common date pulp cubes. *Drying Technology. Technology*. 26 (3).
- Heim K. E., Tagliaferro A. R. & Bobilya, D. J. (2002). Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 13(10), 572–584. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)
- Heinio R-L., Liukkonen K-H., Katina K., Myllymaki O., Poutanen K. (2003). Milling fractionation of rye produces different sensory profiles of both flour and bread..*Food Sci Tech*. 36, 577–583.
- Henríquez C., Almonacid S., Chiffelle I., Valenzuela T., Araya M., Cabezas L. & Speisky H. (2010). Determination of antioxidant capacity , total phenolic content and mineral composition of different fruit tissue of five apple cultivars grown in chile. *Chilean journal of agricultural research*, 70(4):523-536.
- Heo S., Lee S. M., Shim J. H., Yoo S. H. & Lee S. (2013). Effect of dry- and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles. *Journal of Food Engineering*. 116(1), 213–217. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.11.017>.
- Hermansson A. M. & Akesson C. (1979). Functional properties of added proteins correlated with properties of meat systems: Effects of various parameters, *J. Food Sci.*, 40, 595, 603, 611.
- Honfo F. G., Tenkouano A. & Coulibaly O. (2011). Banana plantain-based foods consumption by children and mothers in Cameroon and Southern Nigeria: A comparative study. *Afr. J. Food Sci.*, 5, 287-291.
- Horsfall D., Mepba, L. E. & Nwaojigwa S. U. (2007). Chemical composition, functional and baking properties of wheat-plantain composite flours. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 7(1), 0–22.
- Horsfall D., Mepba, L. E. & Nwaojigwa S. U. (1995). Chemical composition, functional and

-
- baking properties of wheat-plantain composite flours. Horsfall. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Développement*, 44(8), 821–822. https://doi.org/10.15036/arerugi.44.821_2
- Huang H. & Kokini J. L. (2008). Measurement of biaxial extensional viscosity of wheat flour doughs Measurement of biaxial extensional viscosity of wheat flour doughs. *Journal of Rheology*, 879(1993). <https://doi.org/10.1122/1.550400>.
- Hussain M. & Choudhry M. A. (2013). Functional properties of maize flour and its blends with wheat flour : optimization of preparation conditions by response surface methodology. *Pak. J. Bot.*, 45(6), 2027–2035.
- Hseu Y. C., Chang W. H., Chen C. S., Liao J. W., Huang C. J., Lu F. J. & Yang H. L. (2008). Antioxidant activities of Toona Sinensis leaves extracts using different antioxidant models. *Food and Chemical Toxicology*, 46(1), 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.07.003>.
- Hwan J., Jung H., Lee H., Lim E., Imm J. & Joo H. (2012). LWT - Food Science and Technology Physical and sensory characteristics of fi bre-enriched sponge cakes made with Opuntia humifusa. *LWT - Food Science and Technology*, 47(2), 478–484. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.011>.
- Idlimam A., Lamharrar A., Kane C. S. E., Akkad S. & Kouhila M. (2008). Valorisation de trois plantes médicinales par séchage solaire convectif en couches minces. *Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger*. 151–156.
- Ife F. J. & Bas K. (2003). La conservation des fruits et des légumes. Série Agrodok N°3.
- Ikem I. A., Aondover I. H., Nyong O. E. & Adie A. J. (2016). Thermodynamic Analysis of a Mixed-Mode Solar Dryer. *International Journal of Engineering and Technology*, 8(1), 38–47.
- Jaakola L. & Hohtola A. (2010). Effect of latitude on flavonoid biosynthesis in plants. *Plant, Cell and Environment*. 33(8), 1239–1247. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02154.x>
- Jacob J. O., Mann A., Adeshina O. I. & Ndamitso M. M. (2016). Nutritional composition of selected wild fruits from Minna area of Niger State, Nigeria. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*. 10(1), 37-42.
- Jairaj K. S., Singh S. P. & Srikant K. (2009). A review of solar dryers developed for grape drying. *Solar Energy*, 83(9), 1698–1712. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.06.008>.
- Jamal S., Qazi I. M. & Ahmed I. (2016). Comparative studies on flour proximate compositions

-
- and functional properties of selected Pakistani rice varieties. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: Part B*. 53(1B), 47–56.
- Jaspher O. 2010. Morphological and nutritional characteristics of *Tamarindus inadica* (Linn) fruits in Uganda. Master of Science in Agroforestry. University of Uganda 76p.
- Jeyaramraja P. R., Pius P. K., Raj Kumar R. & Jayakumar D. (2003). Soil moisture stress-induced alterations in bioconstituents determining tea quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 83(12), 1187–1191. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1440>
- Jithender B., Vyas D. M., Abhisha S. & Rathod P. J. (2017). Determination of Physical and Mechanical Properties of Pomegranate (Var . bhagwa) *Fruit and Aril*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(10), 879–885.
- Joëlle Perreault L. Bs. (2014). Les effets d'une consommation en acides aminés essentiels combinée à l'entraînement musculaire sur la capacité physique d'hommes sarcopéniques. Mémoire de doctorat. Université de SHERBROOKE. 144p.
- Jorgensen F., Bailey R., Williams S., Henderson P., Wareing DR., Bolton FJ., Frost JA., Ward L. & Humphrey TJ. (2002). Prevalence and numbers of *Salmonella* and *Campylobacter* spp. on raw, whole chickens in relation to sampling methods. *Int. J. Food Microbiol.* 76: 151-164.
- Kaci M. Z., Driss E. & Boutekrabt B. L. (2016). Morphological and physicochemical characteristics of three pomegranate cultivars (*Punica granatum* L .) grown in northern Algeria. *Fruits*. 71(1), 17–26.
- Kader A. A. (2004). Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. In *V International Postharvest Symposium 682* (pp. 2169-2176).
- Kalaivani R., Renuka C., Saravanan K. & Elavarasi S. (2015). Preservation of vegetable by traditional and natural methods. *Environmental Research*, 10–12. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26139.16161>.
- Katsumi S., Junko H. & Tsutomu F. (2014). Relationship Between Urinary Concentrations of Nine Water-soluble Vitamins and their Vitamin Intakes in Japanese Adult Males. *Nutrition and Metabolic Insights*. 7, 61–75. doi:10.4137/NMi.s17245.
- Kaur M. & Singh N. (2005). Food Chemistry Studies on functional , thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L .) cultivars. *Food chemistry*. 91, 403–411. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.015>.
- Kaushal P., Kumar V. & Sharma H. K. (2012). Comparative study of physicochemical , functional , antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice

-
- (*Oryza sativa*) flour , pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *LWT - Food Science and Technology*. 48(1), 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.028>.
- Kempka A. P. (2015). Foaming and emulsifying capacity , foam and emulsion stability of proteins of porcine blood : determination at different values of ph and concentrations revista brasileira de tecnologia agroindustrial foaming and emulsifying capacity , foam and emulsion. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, <https://doi.org/10.3895/rbta.v9n1.2065>.
- Khapre A. P., Satwadhkar P. N. & Deshpande H. W. (2015). Studies on standardization of fig fruit (*Ficus carica* L .) powder enriched cookies and its composition. *Asian J. Dairy & Food Res.*, 34(1), 71–74. <https://doi.org/10.5958/0976-0563.2015.00015.9>.
- Kim J.H., Lee H.J., Lee H.-S., Lim E.-J., Imm J.-Y. & Suh H.J. (2012). Physical and sensory characteristics of fibre-enriched sponge cakes made with *Opuntia humifusa*. *LWT-food Science and Technology*. 47 (2), 478-484.
- Kim H., Moon J. Y., Kim H., Lee D. S., Cho M., Choi H. K. & Cho S. K. (2010). Antioxidant and antiproliferative activities of mango (*Mangifera indica* L.) flesh and peel. *Food Chemistry*. 121(2), 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.060>.
- Kini F., Saba A., Ouedraogo S., G, Sanou T. B. & Guissou IP. (2008). Potentiel Nutritionnel Et Therapeutique De Quelques Especies Fruitieres « Sauvages » Du Burkina Faso. *Pharmacopée et Médecine Traditionnelle Africaines*, 15, 32–35.
- Kinsella JE. (1976). Functional properties of protein in food- A survey. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 5:219.
- Kinsella J. E. & Melachouris N. (2018). Functional properties of proteins in foods : A survey. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 248. <https://doi.org/10.1080/10408397609527208>.
- Kiosseoglou V. (2003). Egg yolk protein gels and emulsions. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 8, 365–370.
- Kirbaş Z., Kumcuoglu S. & Tavman S. (2019). Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*. 56(2), 914–926. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03554-z>.
- Klont R. (2000). Fiber in the new millennium. *World Food Ingrid.* 52-59.
- Kohajdová Z., Karovičová J., Jurasová M. & Kukurová K. (2011). Effect of the addition of commercial apple fibre powder on the baking and sensory properties of cookies. *Acta Chimica Slovaca*, 4(2), 88-97.

-
- Kouhanestani S. B., Abbasi H. & Zamindar N. (2019). The effects of oleaster flour, active gluten and sucrose replacement with potassium acesulfame and isomalt on the qualitative properties of functional sponge cakes. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22, 1–16. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.14218>.
- Krueger B.R., Knutson C.A., Inglett G.E., Walker C.E. (1987). A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behaviour of corn starch. *J. Food Sci.* 52, 715–718.
- Kumar M., Sansaniwal S. K. & Khatak P. (2016). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 346–360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.158>.
- Kuntz J. I. D. (1971). Hydration of macromolecules. III. Hydration of polypeptides. *Journal of the American Chemical Society*, 93(2), 514-516.
- Ky K. J. M. (2008). Plant resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l’Afrique tropicale. PROTA.
- Ladeji O. & Okoye Z. S. C. (1993). Chemical Analysis of the Fruit of *Vitex doniana*. *Sci Food Agric*, 63, 483–484.
- Lahnine L., Idlimam A., Mahrouz M., Mghazli S. & Hidar N. (2015). Caractérisation et lissage de la cinétique de séchage Solaire Convectif de Thymus satureioides conservé. 5ème Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies. 6p.
- Lakes R. S. I. (2004). Viscoelastic measurement techniques. *Review of scientific instruments*, 75(4), 797–810. <https://doi.org/10.1063/1.1651639>.
- Lamghari R., Kossori E. L., Villaume C., Boustani E. E. L., Sauvaire Y. & Méjean L. U. C. (1998). Composition of pulp , skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp .). *Plant Foods for Human Nutrition*, 52, 263–270.
- Lamien-Meda A., Lamien C. E., Compaoré M. M. Y., Meda R. N. T., Kiendrebeogo M., Zeba B. & Nacoulma O. G. (2008). Polyphenol content and antioxidant activity of fourteen wild edible fruits from Burkina Faso. *Molecules*. 13(3), 581–594. <https://doi.org/10.3390/molecules13030581>.
- Laurent D., Georges D., Ysabelle A., Sébastien C. & Antoine C. (2012). Modèles de croissance en microbiologie prévisionnelle pour la maîtrise de la sécurité des aliments (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 16(3), 369 - 381.
- Lawrence D., Folayan C. O. & Pam G. Y. (2013). Design , Construction and Performance Evaluation of A Mixed- Mode Solar Dryer, 8–16.

-
- Leach, HW, McCowen, LD and Schoch, TJ. (1959). Structure of the starch granules. In: Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.* 36: 534 – 544.
- Lebesi D. M. & Tzia C. (2011). Effect of the Addition of Different Dietary Fiber and Edible Cereal Bran Sources on the Baking and Sensory Characteristics of Cupcakes. *Food and Bioprocess Technology.* 4(5), 710–722. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0181-3>.
- Lecerf J. M. (2008). Acides gras et maladies cardiovasculaires. *Sciences des Aliments*, 28(1), 53.
- Lecomte J. (2009). Les cires végétales : sources et applications. *Innovation – technologie*, 5p.
- Le Heuzey M.-F. (2012). Trouble déficit de l'attention/hyperactivité chez l'enfant. In : EMC Traité de Médecine Akos. Paris: Elsevier Masson SAS.8-0870.
- Le Moël G., Saverot-Dauvergne A., Gousson T., Guéant J. L. & Raoul Y. (1998). Le statut vitaminique. EM Inter, Tec et Doc, Paris, p. 175.
- Lee J. H. (2015). Physicochemical and sensory characteristics of sponge cakes with *Rubus coreanus* powder. *Preventive Nutrition and Food Science.* 20(3), 204–209. <https://doi.org/10.3746/pnf.2015.20.3.204>.
- Lee S. M., Lee Y. J., Kim Y. C., Kim J. S., Kang D. G. & Lee H. S. (2012). Vascular Protective Role of Vitexicarpin Isolated from *Vitex rotundifolia* in Human Umbilical Vein Endothelial Cells. *Inflammation.* 35(2), 584–593. <https://doi.org/10.1007/s10753-011-9349-x>.
- Lee Seung K. & Kade A. (2000). Pre-harvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology.* 20(3), 207–220.
- Lefebvre A., Bassereau J. F., Pensé-Lheritier A. M., Rivère C., Harris N. & Duchamp R. (2010). Recruitment and training of a sensory expert panel to measure the touch of beverage packages: Issue and methods employed. *Food quality and preference*, 21(1), 156-164.
- Léonard A. (2002). Étude du séchage convectif de boues de station d'épuration - suivi de la texture par microtomographie à rayons X. Mémoire de doctorat. Université de Liège, Belgique. 273p.
- Leontowicz H., Leontowicz M., Gorinstein S., Martin-belloso O. & Trakhtenberg S. (2007). Apple peels and pulp as a source of bioactive compounds and their influence on digestibility and lipid profile in normal and atherogenic rats. *Medycyna Wet.* 63(11), 1434–1436.

-
- Leterme P., Estrada F. & London A. M. (2006). Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. *Food Chemistry*. 95, 644–652. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.003>.
- Levaj B., Verica D. U., Kovačević D. B. & Krasnići N. (2009). Determination of flavonoids in pulp and peel of mandarin fruits. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 4(3), 221–225.
- Levent H. & Bilgiçli N. (2011). Effect of Gluten-Free Flours on Physical Properties of Cakes. *Journal of Food Science and Engineering*. 1, 354-360.
- Li E., Dhital S. & Hasjim J. (2014). Effects of grain milling on starch structures and flour/starch properties. *Starch/Staerke*. 66(1–2), 15–27.
- Lien E. J., Ren S., Bui H. H. & Wang R. (1999). Quantitative structure-activity relationship analysis of phenolic antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*. 26(3–4), 285–294. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00190-7](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00190-7).
- Lieu P. T., Heiskala M. & Peterson P. A. (2001). The roles of iron in health and disease. *Molecular aspect of medecine*. 22, 1-87.
- Lim Y. Y., Lim T. T. & Tee J. J. (2007). Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry*. 103(3), 1003–1008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.038>.
- Lindroth P., Hamberger A. & Sandberg M. (1985). Liquid chromatographic determination of amino acids after precolumn fluorescence derivatization. In *Amino Acids* (pp. 97-116). Humana Press.
- Liu X. L., Mu T. H., Sun H. N., Zhang M. & Chen J. W. (2016). Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread. *Journal of Integrative Agriculture*. 15(11), 2666–2676. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61388-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61388-6).
- Liu H., Cao J. & Jiang W. (2015). Evaluation and comparison of vitamin C, phenolic compounds, antioxidant properties and metal chelating activity of pulp and peel from selected peach cultivars. *LWT - Food Science and Technology*. 63(2), 1042–1048. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.052>.
- Liu X. L., Mu T. H., Sun H. N., Zhang M. & Chen J. W. (2016). Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(11), 2666–2676. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61388-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61388-6).
- Iiyama K., Lam T. B. T. & Stone B. A. (1994). Covalent cross-links in the cell wall. *Plant physiology*, 104 (2), 315.
- Louaer W., Meniai AH., Grolier JPE. (2008). Thermal analysis of the influence of water content

-
- on glass transitions. *J Therm Anal Calorim.* 93:605–10.
- Longhurst R. (1985). Cropping systems and household food security : Evidence from three west African countries. *Food and Nutr.* 121: 10 - 6.
- Loss C. R. & Hotchkiss J. (2002). Effect of dissolved carbon dioxide on thermal inactivation of microorganisms in milk. *Journal of food protection*, 65(12), 1924-1929.
- Lu T., Lee C., Mau J. & Lin S. (2010). Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. *Food Chemistry.* 119(3), 1090–1095. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.015>.
- Luthria D. L., Mukhopadhyay S. & Krizek D. T. (2006). Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *Journal of Food Composition and Analysis.* 19(8), 771–777. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.04.005>.
- Ma X., Wu H., Liu L., Yao Q., Wang S., Zhan R. & Zhou Y. (2011). Polyphenolic compounds and antioxidant properties in mango fruits. *Scientia Horticulturae.* 129(1), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.015>.
- Macheix J. J., Fleuriet A. & Sarni-Manchado P. (2006). Composés phénoliques dans la plante- Structure, biosynthèse, répartition et rôles. *Les polyphénols en agroalimentaire. Coordonnatrices Sarni-Manchado P et Cheynier V, TEC et DOC. (Eds), Lavoisier, Paris,* 390-399.
- Macheix J. J. (1996). Les composés phénoliques des végétaux: quelles perspectives à la fin du XXème siècle. *Acta botanica gallica*, 143(6), 473-479.
- Majzoobi M., Poor,Z. V., Jamaljan J. & Farahnaky A. (2016). International Journal of Food Science and Technology. 6 (51), 1369-1377.
- Makalao M. M., Savadogo A., Cheikna Z. & Traore A. (2016). Composition nutritionnelle de 10 fruits sauvages consommés dans trois départements du Tchad. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(5): 2385-2400. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.11>.
- Malhotra VK (1998). Biochemistry for Students. Tenth Edition. Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd, New Delhi, India.
- Malki R. (2016). Détermination des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des différents passages d'un moulin industriel ERIAD TADEMAIT. Mémoire de Master. Université de M'hamed Bouguara Boumerdes. Algérie, 87p.
- Manzoor, M., Anwar, F., Saari, N., & Ashraf, M. (2012). Variations of Antioxidant Characteristics and Mineral Contents in Pulp and Peel of Different Apple (*Malus*

-
- domestica Borkh.) Cultivars from Pakistan. *Molecules*, 390–407. <https://doi.org/10.3390/molecules17010390>.
- Mapongmetsem P. M., Djoumessi M. C., Tonleu Y. M., Fawa G., Doumara D. G., Tchiagam N. J B., Tientcheu A. M. L. & Belle fontaine R. (2012). Domestication de *Vitex doniana* Sweet. (Verbenaceae): influence du type de substrat, de la stimulation hormonale, de la surface foliaire et de la position du nœud sur l'enracinement des boutures uninodales. *Journal of Agriculture and Environment for International Development – JAEID*. 106 (1): 23 – 45.
- 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*. 255–260.
- Martial-Didier A. K., Hubert K. K., Jean Parfait K. E. & Kablan T. (2017). Phytochemical Properties and Proximate Composition of Papaya (*Carica papaya* L. var solo 8) Peels. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. 5(6), 676. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i6.676-680.1154>.
- Martínez R., Torres P., Meneses M. A., Figueroa J. G., Pérez-álvarez J. A. & Viuda-martos M. (2012). Chemical , technological and in vitro antioxidant properties of mango , guava , pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food Chemistry*, 135(3), 1520–1526. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.057>.
- Martínez M. M., Díaz A. & Gómez M. (2014). Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making. *Journal of Food Engineering*. 142 (2014) 49–56.
- Mashavhathakha K. L., Soundy P. & Ngezimana W. (2014). Evaluation of physico – chemical properties of pomegranate (*Punica granatum* L .) cultivar 'Wonderful'on three locations of South Africa. *Trop. Agric. (Trinidad)* 91(3).
- Masood S. B. & Rizwana. (2010). Nutritional and functional properties of some promising legumes protein isolates. *Pakistan Journal of Nutrition*. 9(4), 373–379.
- Masuyama R., Nakaya Y., Katsumata S., Kajita Y., Uehara M., Tanaka S. & Kato S. (2003). Dietary Calcium and Phosphorus Ratio Regulates Bone Mineralization and Turnover in Vitamin D Receptor Knockout Mice by Affecting Intestinal Calcium and Phosphorus Absorption. *Journal of bone and mineral research*. 18(7).
- Meda A., Lamien C. E., Romito M., Millogo J. & Nacoulma O. G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their

-
- radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 91(3), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006>.
- Missang, C. E., & Silou, T. (2009). Classification of *Dacryodes edulis* (G . Don) H . J . Lam by using morphological and physical characteristics of the fruits : a statistical approach. *Forests, Trees and Livelihoods*, 19, 99–109.
- Mohamed S., Lajis S. M., Hamid N. A. & Sains F. (1995). Effects of Protein from Different Sources on the Characteristics of Sponge Cakes , Rice Cakes (Apam), Doughnuts and Frying Batters. *J Sci Food Agric*, 271–277.
- Moiraghi M., Hera D. & Gabriela T. P. (2013). Effect of wheat flour characteristics on sponge cake quality. *J Sci Food Agric*, 542–549. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5821>.
- Montiel-herrera M., Camacho-hern I. L. & Delgado-vargas F. (2004). Partial physicochemical and nutritional characterization of the fruit of *Vitex mollis* (Verbenaceae). *Journal of Food Composition and Analysis*.17, 205–215. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2003.09.001>.
- Moor U., Karp K., Pöldma P. & Pae A. (2005). Cultural systems affect content of anthocyanins and vitamin C in strawberry fruits. *European Journal of Horticultural Science*. 70(4), 195–201.
- Mrabet A., Rodríguez-Gutiérrez G., Rodríguez-Arcos R., Guillén-Bejarano R., Ferchichi A., Sindic M. & Jiménez-Araujo A. (2016). Quality Characteristics and Antioxidant Properties of Muffins Enriched with Date Fruit (*Phoenix Dactylifera* L.) Fiber Concentrates. *Journal of Food Quality*, 39(4), 237–244. <https://doi.org/10.1111/jfq.12194>.
- Muanda F.N. (2010). Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques. Thèse de doctorat de l'Université Paul Verlaine-Metz, 295 p.
- Murray J. M., Delahunty C. M. & Baxter I. A. (2001). Descriptive sensory analysis : past , present and future. *Food Research International*, 34, 461–471.
- Mustayen A. G. M. B., Mekhilef S. & Saidur R. (2014). Performance study of different solar dryers : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.020>.
- Nandwa B. O. & Ochieng B. O. (2010). Proximate composition, phenolic content and antioxydant activities of three Black plums (*Viex* sp.) fruits: Preliminary results. *Journal of Food Technology*. 8(3).
- Narayana K. & Narasimha R. N. M. S. (1982). Functional propertie of raw and heat processed winged bean flour.*J. of Food Sci*. 47:1534-1538.

-
- Natella F., Nardini M., Di Felice M. & Scaccini C. (1999). Benzoic and cinnamic acid derivatives as antioxidants: Structure- activity relation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47(4), 1453–1459. <https://doi.org/10.1021/jf980737w>.
- Ndhlala A. R., Kasiyamhuru A., Mupure C., Chitindingu K., Benhura M. A. & Muchuweti M. (2007). Phenolic composition of *Flacourtia indica*, *Opuntia megacantha* and *Sclerocarya birrea*. *Food Chemistry*. 103(1), 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.066>.
- Neto N., J.B., Silyia N. & Bora P. S. (2001). Functional properties of raw and heat processed cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) kernel protein isolate. *Nahrung*, 45: 258-262.
- N'Guessan K. A., Diarrassouba N. & Alui K. A. (2015). Indicateurs de dégradation physique des sols dans le Nord de la Côte d ' Ivoire : cas de Boundiali et Ferkéssédougoussédougou Résumé. *Afrique SCIENCE*. 11(3), 115–128.
- Ngwamashi E. (2009). Inventaire des espèces ligneuses locales pour le reboisement à des fins énergétiques. Université de Kinshasa. 19p.
- Njintang Y. N., Mbofung C. M. F. & Waldron K. W. (2001). In vitro protein digestibility and physico-chemical properties of dry red bean (*Phaseolus vulgaris*) flour: effect of processing and incorporation of soybean and cowpea flour. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 49, 2465-2471.
- Nkhili E. (2009). Polyphénols de l'Alimentation : Extraction, Interactions avec les ions du Fer et du Cuivre, Oxydation et Pouvoir antioxydant. *Free Radical Biology & Medicine*, 52, 1075–1085.
- Nobile M. A. Del., Chillo S., Mentana A. & Baiano A. (2007). Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. *Journal of Food Engineering*. 78, 978–983. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.011>.
- Noor Aziah A. A., Lee Min W. & Bhat R. (2011). Nutritional and sensory quality evaluation of sponge cake prepared by incorporation of high dietary fiber containing mango (*Mangifera indica* var. Chokanan) pulp and peel flours. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 62(6), 559–567. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.562883>.
- Norulfairuz D., Zaidel A., Chin N. L. & Yusof Y. A. (2010). A Review on Rheological Properties and Measurements of Dough and Gluten. *Journal of Applied Sciences*, <https://doi.org/10.3923/jas.2010.2478.2490>.
- Nout R., Hounhouigan J. & Boekel T. (2003). Les aliments: transformation, conservation et qualité. In: Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, Germany, 279 p.

-
- Nzikou JM., Mvoula-Tsieri M., Matos L., Matouba E., Ngakegni-Limbili AC., Linder M. & Desobry S. (2007). *Solanum nigrum* L. Seeds as an Alternative source of Edible lipids and Nutrient in Congo Brazzaville. *J. Appl. Sci.*, 7: 1107-1115.
- Ochieng C. O. & Nandwa B. O. O. (2010). Proximate composition, phenolic content and antioxidant activities of three Black plums (*Viex* sp.) fruits: Preliminary results. *Journal of Food Technology*, 8(3).
- Ocloo F. C. K., Bansa D., Boatin R., Adom T., Agbemavor W. S. & Lg P. O. B. (2010). Physico-chemical, functional and pasting characteristics of flour produced from Jackfruits (*Artocarpus heterophyllus*) seeds. *Agriculture and biology journal of north america*, 903–908.
<https://doi.org/10.5251/abjna.2010.1.5.903.908>
- Ogunjobi M.A. & Ogunwolu S.O. (2010). Physico-chemical and sensory properties of cassava flour biscuits supplemented with cashew apple powder. *Journal of Food Technology*. 8(1): 24-29.
- Ogunsua A. O. & Adebona M. B. (1983). Chemical composition of *Tetracarpidium conophorum* (conophor nut). *Food Chemistry*. 10(3), 173–177.
[https://doi.org/10.1016/0308-8146\(83\)90053-5](https://doi.org/10.1016/0308-8146(83)90053-5).
- Okigbo R. N. (2003). Fermentation of black plum (*Vitex doniana* Sweet) juice for production of wine. *Fruits*. 58 (6): 363–369.
- Oleson B. T. (1994). World wheat production, Utilization and trade. The Canadian Wheat Board, 423 Main Street, Winnipeg; Manitoba R3C 2P5, Canada.
- Oliete B. & Rosell, C. M. (2008). Studies on cake quality made of wheat e chickpea flour blends. *LWT - Food Science and Technology*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.024>.
- Oliete B., Gomez M., Pando V., Fernandez-Fernandez E., Caballero P.A. & Ronda F. (2008). Effect of Nut Paste Enrichment on Physical Characteristics and Consumer Acceptability of Bread. *Food Science and Technology International*. 14(3), 259–269.
<https://doi.org/10.1177/1082013208095691>.
- Omobuwajo T.O., Akande E.A. & Sanni L.A. (1999). Selected physical, mechanical and aerodynamic properties of African breadfruit (*Treculia africana*) seeds. *J. Food Engineering*. 40(4) : 241 – 244.
- Ondo-Azi A. S., Missang C. E. & Silou T. (2009). Classification of *dacryodes edulis* (g. don) h.j. lam by using morphological and physical characteristics of the fruits: A statistical

-
- approach. *Forests Trees and Livelihoods*. 19(2), 99–109. <https://doi.org/10.1080/14728028.2009.9752658>.
- Oumarou M., Sinadouwirou T., Kiki M., Glèlè K. R., Mensah G. A. & Sinsin B. (2010). Disturbance and population structure of *Vitex doniana* Sw. in northern Benin, West Africa. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4 (3): 624-632.
- Ottenhof M. A. & Farhat I. A. (2004). The effect of gluten on the retrogradation of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 40(3), 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.07.002>.
- 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*. 9284–9300.
- Ozcan M. (2003). Mineral Contents of some Plants used as condiments in Turkey. *Food Chemistry*, 84: 437-440.
- Ozkahraman, B. C., Sumnu, G., & Sahin, S. (2016). Effect of different flours on quality of legume cakes to be baked in microwave-infrared combination oven and conventional oven. *Journal of Food Science and Technology*, 53(March), 1567–1575. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2101-z>.
- Padmashree TS, Vijayalakshim L, Pultaraj S. (1987). Effect of traditional processing on the functional properties of cowpea (*Vigna catjany*) flour. *J. Food Sci. Technol.* 24: 221-224.
- Pal J. & Amritpal,S. (2016). Composition , bioactive compounds and antioxidant activity of common Indian fruits and vegetables. *Journal of Food Science and Technology*. 53(11), 4056–4066. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2412-8>.
- Palafox-carlos H., Yahia E. M. & González-aguilar G. A. (2012). Identification and quantification of major phenolic compounds from mango (*Mangifera indica* , cv . Ataulfo) fruit by HPLC – DAD – MS / MS-ESI and their individual contribution to the antioxidant activity during ripening. *Food Chemistry*, 135(1), 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.103>.
- Palé É., Kouda-Bonafos M. & Nacro M. (2004). Caractérisation et mesure des activités anti-radicalaires d'anthocyanes de plantes du Burkina Faso. *Comptes Rendus Chimie*, 7(10-11), 973-980.
- Pansu M. & Gautheyrou J. (2006). Redox potential. *Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*, 581-591.

-
- Parkouda C., Tenkouano A. & Kanga R. T. (2016). *Légumes Traditionnels Africains : Guide de Bonnes Pratiques de Conservation et de Transformation*.
- Pathak D., Majumdar J., Raychaudhuri U. & Chakraborty, R. (2017). Study on enrichment of whole wheat bread quality with the incorporation of tropical fruit by-product. *International Food Research Journal*. 24(1), 238–246.
- Pearson A. (1994). Vitamins in Fruits. *The Biochemistry of Fruit and Other Products*. Academic Press; New York, 369 - 384.
- Pereira G. E., Gaudillere J. P., Pieri P., Hilbert G., Maucourt M., Deborde C. & Rolin D. (2006). Microclimate influence on mineral and metabolic profiles of grape berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(18), 6765–6775. <https://doi.org/10.1021/jf061013k>.
- Pérez-jiménez J., Serrano J. & Tabernero M. (2008). Effects of grape antioxidant dietary fiber in cardiovascular disease risk factors. *Nutrition*. 24, 646–653. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2008.03.012>.
- Perez V. & Chang E. T. (2014). Sodium-to-Potassium Ratio and Blood Pressure , Hypertension , and Related Factors 1 , 2. *American Society for Nutrition. Adv. Nutr.* 8, 712–741. <https://doi.org/10.3945/an.114.006783.712>.
- Peroumal A. (2014). *Caractérisation des fruits et de la pulpe de six accessions de mammea americana. aptitude a la transformation des fruits et caractérisation des composés phénoliques de la pulpe. Mémoire de doctorat. Université des Antilles et de la Guyane.* 194p.
- Pietta P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *J. natural products*. 63(7): 1035-1042.
- Phillips R. D., Chinnan M. S., Branch A. L., Miller J. & McWatters K. H. (1988). Effects of pretreatment on functional and nutritional properties of cowpea meal. *J. Food Sci.* 53:805-809.
- Pomeranz Y., Shogren M., Finney K. & Bechtel D. (1977). Fiber in breadmaking effects on functional properties. *Cereal Chemistry*. 54, 25-41.
- Purkayastha M. Das & Nath A. (2013). Thin layer drying of tomato slices. *J Food Sci Technol*. 50, 642–653. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0397-x>.
- Rabeniarifeno J. (2010). *Projet de création d’une entreprise de production d’ananas et de papayes confits sis à Antananarivo Renivohitra. Département Gestion, Université d’Antananarivo, 1p.*
- Rahmati N. F. & Tehrani M. M. (2014). Influence of different emulsifiers on characteristics of

-
- eggless cake containing soy milk: Modeling of physical and sensory properties by mixture experimental design. *J Food Sci Technol*. 51(9):1697–1710. DOI 10.1007/s13197-013-1253-y.
- Raikos V., Campbell L. & Euston S. R. (2007). Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. *Food Research International*, 40, 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.008>.
- Rangkadilok N., Worasuttayangkurn L., Bennett R. N. & Satayavivad J. (2005). Identification and quantification of polyphenolic compounds in longan (*Euphoria longana* Lam.) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(5), 1387–1392. <https://doi.org/10.1021/jf0403484>.
- Rao, B. D., & Bhargavi, G. (2017). Technology Involved in Quality of Biscuits : Influence of Factors and Impact on Processing – A Critical Review, 5(4), 532–542.
- Rapusas R. S. & Driscoll R. H. (2007). Drying Technology : An International Journal The Thin-Layer Drying Characteristics of White Onion Slices. 37–41. <https://doi.org/10.1080/07373939508917056>.
- Ratnawati L., Desnilasari D., Surahman D. N. & Kumalasari R. (2019). Evaluation of Physicochemical, Functional and Pasting Properties of Soybean, Mung Bean and Red Kidney Bean Flour as Ingredient in Biscuit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 251(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012026>.
- Reardon T., Tschirley D., Minten B., Haggblade S., Liverpool-Tasie S., Dolislager M. & Ijumba C. (2015). Transformation of African agrifood systems in the new era of rapid urbanization and the emergence of a middle class. Beyond a middle income Africa: transforming African economies for sustained growth with rising employment and incomes. *IFPRI, Washington DC*. <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/130005>.
- Reza M., Ardekani S., Hajimahmoodi M., Reza Oveisi M., Sadeghi N., Jannat B. & Moridi T. (2011). Comparative Antioxidant Activity and Total Flavonoid Content of Persian Pomegranate (*Punica granatum* L .) Cultivars. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 10(3), 519–524.
- Riaz M. N., Asif M. & Ali R. (2009). Stability of vitamins during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(4), 361-368.
- Rios R. V., Durigan M., Pessanha F., Almeida P. F. De, Viana C. L. & Caetano S. (2014). *Food Science and Technology ISSN 0101-2061*, 6255, 3–15.
- Riou E. (2009). Utilisation des huiles et matières grasses végétales dans les aliments céréaliers :

-
- un défi continu pour LU France. *ocl-journal*, 16, 201–204.
- Rita H. J., Laaksonen M. M. L., Outila T. A., Kemi V. E., Ka M. U. M. & Lamberg-allardt C. J. E. (2010). Low calcium : phosphorus ratio in habitual diets affects serum parathyroid hormone concentration and calcium metabolism in healthy women with adequate calcium intake. *British Journal of Nutrition*. 25, 561–568. <https://doi.org/10.1017/S0007114509992121>.
- Robards K., Prenzler P. D., Tucker G., Swatsitang P. & Glover W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*. 66(4), 401–436. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00093-X).
- Rocha Ribeiro S. M., De Queiroz J. H., Lopes Ribeiro De Queiroz M. E., Campos F. M. & Pinheiro Sant’Ana H. M. (2007). Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*. 62(1), 13–17. <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0035-3>.
- Rodríguez-garcía J., Sahi S. S. & Hernando I. (2014). Optimizing Mixing during the Sponge Cake Manufacturing Process. *Cereal foods world*, 287–292.
- Rogers D. (2004). Functions of fats and oils in bakery products. *Food technology*, 15, 572–574.
- Romani A., Pinelli P., Galardi C., Mulinacci N. & Tattini M. (2002). Identification and quantification of galloyl derivatives, flavonoid glycosides and anthocyanins in leaves of *Pistacia lentiscus* L. *Phytochemical Analysis*. 13(2), 79–86. <https://doi.org/10.1002/pca.627>.
- Ronda F., Oliete B., Gómez M., Caballero P. A. & Pando V. (2011). Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 102(3), 272–277. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.09.001>.
- Rosales M. A., Cervilla L. M., Sánchez-Rodríguez E., Rubio-Wilhelmi M. del M., Blasco B., Ríos J. J. & Ruiz J. M. (2011). The effect of environmental conditions on nutritional quality of cherry tomato fruits: Evaluation of two experimental Mediterranean greenhouses. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91(1), 152–162. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4166>.
- Rosell C. M., Santos E. & Collar C. (2009). Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International*, 42(1), 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.10.003>.
- Roussel C. (2015). Compréhension des mécanismes physiologiques et génétiques impliqués dans l'activité réductrice de *Lactococcus lactis*. Mémoire de thèse. Université de Bourgogne. France. 181p.

-
- Roylance D. (2001). Engineering viscoelasticity. Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials, Dover Publications, New York, 1–37.
- Ruiz-Rodriguez BM., Morales P. & Fernandez-Ruiz V. (2011). Valorization of wild strawberry-tree fruits (*Arbutus unedo* L.) through nutritional assessment and natural production data. *Food Research International*. 44: 1244-1253.
- Sabanis D., Lebesi D. & Tzia C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, 1–10. doi:10.1016/j.lwt.2009.03.010.
- Sabanis D. & Tzia C. (2011). Selected Structural Characteristics of HPMC-Containing Gluten Free Bread: A Response Surface Methodology Study for Optimizing Quality. *International Journal of Food Properties*. 14:2, 417-431. DOI: 10.1080/10942910903221604.
- Saeid A. (2017). wheat flour in Bangladesh Comparative studies on nutritional quality characteristics of commercial wheat flour in, (January). Mémoire de Bachelor of science in food and process engineering. 57p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13096.78084>.
- Sahi S. S. & Alava J. M. (2003). Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *J Sci Food Agric*, 1429, 1419–1429. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1557>.
- Sakiyan S., Sumnu G., Sahin S. & Bayram G. (2004). Influence of fat content and emulsifier type on the rheological properties of cake batter. *Eur Food Res Technol.*, 219:635–638. DOI 10.1007/s00217-004-1020-4.
- Salifou C. F. A., Boko K. C., Ahounou G. S., Tougan P. U., Kassa S. K., Houaga I. & Youssao A. K. I. (2013). Diversité de la microflore initiale de la viande et sécurité sanitaire des consommateurs. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 7(3), 1351–1369.
- Salih N. K. M. & Yahia E. M. (2015). Phenolics and fatty acids compositions of vitex and baobab seeds used as coffee substitutes in Nuba Mountains, Sudan. *Agriculture and biology journal of north america*, 90–93. <https://doi.org/10.5251/abjna.2015.6.3.90.93>.
- Salvador A., Sanz T. & Fiszman S. M. (2006). Dynamic rheological characteristics of wheat flour – water doughs . Effect of adding NaCl, sucrose and yeast. *Food hydrocolloids*, 20, 780–786. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.07.009>.
- Sargent J., Henderson R.J. & Tocher D.R. (1989). The lipids. In: “Fish Nutrition”. Edited by J. E. Halver, Academic Press. 153-218.
- Sariburun E., Şahin S., Demir C., Türkben C. & Uylaşer V. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of raspberry and blackberry cultivars. *Journal of Food Science*. 75(4),

-
- 328–335. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01571.x>.
- Sathe S. K., Deshpande S. S. & Salunkhe D. K. (1982). Functional properties of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*, L.) proteins. *Journal of Food Science*. 47, 503 - 508.
- Scalbert A. & Williamson G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J. Nutr.* 130: 2073-2085.
- Scherf, K. A., & Köhler, P. (2016). Wheat and gluten : Technological and health aspects, 63(8), 166–175. <https://doi.org/10.4455/eu.2016.035>.
- Schwartz E., Tzulker R., Glazer I., Bar-Ya'akov I., Wlesman Z., Tripler E. & Amir R. (2009). Environmental conditions affect the color, taste, and antioxidant capacity of 11 pomegranate accessions' fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(19), 9197–9209. <https://doi.org/10.1021/jf901466c>.
- Sedat C., Haydar H., Musa O., Derya A. (2005). Some nutritional and technological properties of wild plum (*Prunus spp.*) fruits in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 66, 233–237. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.013>.
- Septembre-Malaterre A., Stanislas G., Douraguia E. & Gonthier M. P. (2016). Evaluation of nutritional and antioxidant properties of the tropical fruits banana, litchi, mango, papaya, passion fruit and pineapple cultivated in Réunion French Island. *Food Chemistry*. 212, 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.147>.
- Shaban S. W. A. (2011). *Vitex doniana* sweet (verbanaceae) evaluation of pharmacological basis of use in traditional medicine department of pharmacology and school of pharmacy college of health sciences . Mémoire de Master. Université de Naïrob, Kenya. 91p.
- Shenoy S. (2005). Food tourism and the culinary tourist. PhD Thesis. Graduate School of Clemson university, Southern Carolin, USA. 219 p.
- Shimelis E. A., Meaza M., Rakshit S. K., Program B. T. & Ababa A. (2006). Physico-chemical Properties , Pasting Behavior and Functional Characteristics of Flours and Starches from Improved Bean (*Phaseolus vulgaris* L .) Varieties Grown in East Africa. *Agricultural Engineering International*. 8, 1–19.
- Sica D. A., Struthers A. D., Cushman W. C., Wood M., Banas J. S. & Epstein M. (2002). Importance of Potassium in Cardiovascular Disease. *The journal of clinical hypertension*. 4(3).
- Siddiq M., Ravi R., Harte J. B. & Dolan K. D. (2010). Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *LWT - Food Science and Technology*, 43(2), 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.07.009>.

-
- Sies H., Stahl W., & Sundquist A. R. (1992). Antioxidant Functions of Vitamins: Vitamins E and C, Beta-Carotene, and Other Carotenoids a. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 669(1), 7-20.
- Signoret V. (2004). Caractérisation de déterminants génétiques pour les critères de qualité de l'abricot, recherche de qtl. Mémoire pour l'obtention du diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. 57 p.
- Singh U. (2001). Functional properties of grain legume flours. *Journal of Food Science and Technology*. 38(3), 191–199.
- Singh N., Sandhu K. S. & Kaur M. (2004). Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Food Engineering*. 63, 441–449.
- Singh R. (2016). Development of fiber enriched bakery products by incorporating fruit pulp waste powder and their acceptability evaluation. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 3(6), 222–226.
- Singh, N., Kaur, N., Rana, J. C., & Sharma, S. K. (2010). Diversity in seed and flour properties in field pea (*Pisum sativum*) germplasm. *Food Chemistry*. 122, 518e525
- Singh S. (2018). Stewart Postharvest Review. <https://doi.org/10.2212/spr.2011.1.5>.
- Sirelkhatim Balla Elharadallou I. I. K. (2013). Functional Properties of Cowpea (*Vigna Ungiculata* L.Walp), and Lupin (*Lupinus Termis*) Flour and Protein Isolates. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 3(6). <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000234>.
- Siti H. N., Kamisah Y. & Kamsiah J. (2015). The role of oxidative stress, antioxidants and vascular inflammation in cardiovascular disease (a review). *Vascular Pharmacology*. 71, 40–56. <https://doi.org/10.1016/j.vph.2015.03.005>.
- Sliwinski E. L. & Kolster P. (2004). Large-deformation properties of wheat dough in uni- and biaxial extension . Part II . Gluten dough. *Rheol Acta*, 321–332. <https://doi.org/10.1007/s00397-003-0345-4>.
- Soayfane Z. (2011). Implication des transporteurs SR-B1, NPC1L1 et la P-glycoprotéine dans l'absorption intestinale des composés lipophiles (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).
- Soetan K. O., Olaiya C. O. & Oyewole O. E. (2010). The importance of mineral elements for humans , domestic animals and plants : A review. *African Journal of Food Science*. 4(5), 200–222.
- Sokamte T. A., Mbougueng P. D., Tatsadjieu N. L. & Sachindra N. M. (2019). Phenolic compounds characterization and antioxidant activities of selected spices from Cameroon.

-
- South African Journal of Botany*. 121, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.10.016>.
- Slavin J. (2003). Impact of the proposed definition of dietary fiber on nutrient databases. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16(3), 287-291.
- Song Ki-W., Kim Y. S. & Chang G. S. (2006). Rheology of Concentrated Xanthan Gum Solutions : Steady Shear Flow Behavior. *Fibers and Polymers*. 7(2) 129-138.
- Soro K. H., Youssouf K. K., David A. K., Doudjo S., Eric E. F. & Emmanuel A. N. (2018). Caractérisation Biochimique De La Pulpe des Fruits Du Prunier Noir (Vitex Doniana) De La Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 14(3), 252–270. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p252>.
- Sorrequeta, A., & Ferraro, G. (2010). Free amino acid production during tomato fruit ripening : a focus on L -glutamate. *Amino Acids*, 1523–1532. <https://doi.org/10.1007/s00726-009-0373-1>.
- Sosulski F. W. (1962). The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chemistry*, 39, 344–350.
- Sosulski FW., Humbert ES., Bui ES., Jones JI. (1976). Functional properties of rapeseed flours, concentrates and isolates. *J. Food Sci.* 41: 1349-1351.
- Spackman DH, Stein WH, Moore S (1958) Automatic apparatus for use in the chromatography of amino acids. *Anal Chem*, 30: 1190– 1195.
- Sperte M. (2016). Vitamines et oligoéléments: manifestations buccales des déficits et implications thérapeutiques en chirurgie dentaire (Doctoral dissertation, éditeur inconnu).
- Stadlmayr B., Charrondière U. 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(11), 2627–2636. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6196>.
- Stadlmayr, B., Ruth, U., & Kehlenbeck, K. (2013). Nutrient composition of selected indigenous fruits from sub-Saharan Africa a Sandra Eisenwagen , a Ramni. *J. Sci Food Agric*, <https://doi.org/10.1002/jsfa.6196>.
- Strlič M., Radovič T., Kolar J. & Pihlar B. (2002). Anti- and prooxidative properties of gallic acid in fenton-type systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(22), 6313–6317. <https://doi.org/10.1021/jf025636j>.
- Sudha M. L., Vetrimani R. & Leelavathi K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food chemistry*, 100(4), 1365-1370.

-
- Tan M. C., Chin, N. L., Yusof Y. A., Taip F. S. & Abdullah J. (2014). Improvement of Eggless Cake Structure Using Ultrasonically Treated Whey Protein. *Food Bioprocess Technol.* 8:605–614. DOI 10.1007/s11947-014-1428-1.
- Tangney C. C. & Rasmussen H. E. (2013). Polyphenols, inflammation, and cardiovascular disease. *Current Atherosclerosis Reports.* 15(5). <https://doi.org/10.1007/s11883-013-0324-x>.
- Terry P., Giovannucci E., Michels K. B., Bergkvist L., Hansen H., Holmberg L. & Wolk A. (2001). Fruit , Vegetables , Dietary Fiber , and Risk of Colorectal Cancer. *Journal of the National Cancer Institute.* 93(7), 525–533.
- Tester R. F. & Morrison W. R. (1990). Swelling and Gelatinization of Cereal Starches . I . Effects of Amylopectin , Amylose , and Lipids . *Cereal Chemists.* 67(6):551-557.
- Tiébré M., Ouattar, D., Tra B., Vroh A., Gnagbo A. & Edouard K. (2016). Diversité floristique et disponibilité des plantes utilitaires en zone soudanienne de la Côte d ' Ivoire. *Journal of Applied Biosciences.* 9699–9707.
- Thiago F., Souza C., Santos E. R., Silva C., Valentim I. B., Christie T. & Silva D. S. (2018). Production of Nutritious Flour from Residue Custard Apple (*Annona squamosa* L .) for the Development of New Products. *Journal of Food Quality*, 2018.
- Thivani M., Mahendran T. & Kanimoly M. (2016). Study on the physico-chemical properties , sensory attributes and shelf life of pineapple powder incorporated biscuits. *Ruhuna journal of science*, 7(December), 32–42.
- Tiwari U. & Cummins E. (2013). Factors influencing levels of phytochemicals in selected fruit and vegetables during pre- and post-harvest food processing operations. *Food Research International.* 50(2), 497–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.007>.
- Thomas A. (2016). Analyse sensorielle temporelle descriptive et hédonique (Doctoral dissertation, Dijon).
- Tiébré, M., Ouattara, D., Tra, B., Vroh, A., Gnagbo, A., & Edouard, K. (2016). Diversité floristique et disponibilité des plantes utilitaires en zone soudanienne de la Côte d ' Ivoire. *J. Appl. Biosci.*, 9699–9707.
- Touzi A. et Merzaia-Blama A. La conservation des denrées agro alimentaires par séchage dans les régions sahariennes (2008). *Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger.* 267 – 272.
- Trowell H., Burkitt D. & Heaton K. (1985). Dietary fiber, fiber-depleted foods and disease. Academic Press: New York.

-
- Turabi E., Sumnu G. & Sahin S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*. 22 (2008) 305–312.
- Turkut G. M., Cakmak H., Kumcuoglu S. & Tavman S. (2016). Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 69, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.03.005>.
- Ueda J., Saito N., Shimazu Y. & Ozawa T. (1996). A comparison of scavenging abilities of antioxidants against hydroxyl radicals. *Arch. Biochem. Biophys.*, 333: 377–384.
- Ureta M. M., Olivera D. F. & Salvadori V. O. (2014). Baking Operative Conditions, (February). *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1047-7>.
- Van Der Meer J. R., De Vos W. M., Harayama S. & Zehnder A. J. (1992). Molecular mechanisms of genetic adaptation to xenobiotic compounds. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 56(4), 677-694.
- Varaschim J. & Tribuzi G. (2017). Improving quality of dried fruits : A comparison between conductive multi- fl ash and traditional drying methods. *LWT - Food Science and Technology*. 84. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.045>.
- Varun S., Avdhesh S. & Naveen S. (2012). Cpnsruction and performance Analysis of an indirect solar dryer integrated with solar air heater. *Procedia Engineering*. 38, 3260–3269. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.377>.
- Vella R.E., Pillon N.J., Zarrouki B., Croze M.L., Koppe L. & Guichardant M. (2015). Ozone exposure triggers insulin resistance through muscle c-Jun N-terminal kinase activation. *Diabetes*. 64 (3), 1011-1024.
- Verdcourt B. (1992). Verbenaceae. Flora of Tropical East Africa. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. 155 p.
- Verma S., Singh A. & Mishra A. (2013). Gallic acid: Molecular rival of cancer. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 35(3), 473–485. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.02.011>.
- Volz R. K., Ferguson I. B., Hewett E. W. & Woolley D. J. (1994). Wood age and leaf area influence fruit size and mineral composition of apple fruit. *Journal of Horticultural Science*. 69(2), 385-395.
- Vunchi M. A., Umar A. N., King M. A., Liman A. A., Jeremiah G. & Aigbe C. O. (2011). Proximate , Vitamins and Mineral Composition of Vitex doniana (black plum) Fruit Pulp. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science*, 19(1), 97–101.

<https://doi.org/10.4314/njbas.v19i1.69352>.

- Wadchararat C., Thongngam M. & Naivikul O. (2006). Characterization of pregelatinized and heat moisture treated rice flours. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 40(SUPPL.), 144–153.
- Wang S. S. & Kim Y. (1998). The effect of protein and fiber on the kinetics of starch gelatinization and melting in waxy corn flour. *Starch/Staerke*, 50(10), 419–423. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(199810\)50:10<419::AID-STAR419>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199810)50:10<419::AID-STAR419>3.0.CO;2-S).
- Wang Y. C., Chuang Y. C. & Hs, Hsu H-W. (2008). The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. *Food Chemistry*. 106(1), 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.086>.
- Weaver C. M. (2013). White Vegetables : A Forgotten Source of Nutrients Potassium and Health 1 – 3. *American Society for Nutrition. Adv. Nutr.* 4: 368S–377S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003533.smoking>.
- Wilderjans E., Brijs K. & Delcour J. A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology*, 30(1), 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.01.001>.
- Williams T., Williams M. & Gracely E. J. (2003). A Low-Carbohydrate as Compared with a Low-Fat Diet in Severe Obesity. *The new england journal of medicine*.
- Wit J. N. De. (1998). Nutritional and Functional Characteristics of Whey Proteins in Food Products. *Journal of Dairy Science*, 81(3), 597–608. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75613-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75613-9).
- Xu J., Zhang Q., Zhao L., Wang Y., Xue L., Han T. & Qin L. (2012). Quantitative determination and pharmacokinetic study of casticin in rat plasma by liquid chromatography – mass spectrometry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 61, 242–246. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2011.11.006>.
- Xue Z., Feng W., Cao J., Cao D. & Jiang W. (2009). Antioxidant activity and total phenolic contents in peel and pulp of chinese jujube (*ziziphus jujuba mill*) fruits. *Journal of Food Biochemistry*. 33(5), 613–629. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00241.x>.
- Yadav B. S., Yadav R. B., Kumari M. & Zhatkar B. S. (2014). Studies on suitability of wheat flour blends with sweet potato, colocasia and water chestnut flours for noodle making. *LWT - Food Science and Technology*. 57 (2014) 352-358.
- Yadav R. B., Yadav B. S. & Dhull N. (2012). Effect of incorporation of plantain and chickpea flours on the quality characteristics of biscuits. *J Food Sci Technol*. 49(April), 207–213.

<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0271-x>.

Yang H., Irudayaraj J., Otgonchimeg S. & Walsh M. (2004). Rheological study of starch and dairy ingredient-based food systems. *Food Chemistry*, 86, 571–578. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.004>.

Yang X. (2008). Effects of Sucrose on the Foaming and Interfacial Properties of Egg White Protein and Whey Protein Isolate. (Under the direction of Dr. E. Allen Foegeding). *Food and Chemical Toxicology*, 46 (2008) 105–114.

Y

Yusufu M. I. & Akhigbe A. O. (2014). The Production of Pawpaw Enriched Cookies: Functional, Physico-Chemical and Sensory characteristics. *Asian Journal of Agriculture and Food Science*. 02(02), 2321–1571. Retrieved from www.ajouronline.com.

Zhang J., Xiao A., Wang T., Liang X., Gao J., Li P. & Shi T. (2014). Effect and mechanism of action of cinnamic acid on the proliferation and apoptosis of leukaemia cells. *Biomedical Research*, 25 (3), 405-408.

Zatloukal M. (2002). Improvement in techniques for the determination of extensional rheological data from entrance flows : computational and experimental analysis. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 107, 13–37.

Zhou W. (2014). *Bakery products science and technology*.

Zhou H., Luchini T. J. & Bhaduri S. B. (2012). Microwave assisted synthesis of amorphous magnesium phosphate nanospheres. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 23(12), 2831-2837.

Zillich A. J., Garg J., Basu S., Bakris G. L. & Carter B. L. (2006). Potassium and Cardiovascular Disease Thiazide Diuretics , Potassium , and the Development A Quantitative Review. *American Heart Association, Inc*. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.0000231552.10054.aa>

ANNEXES

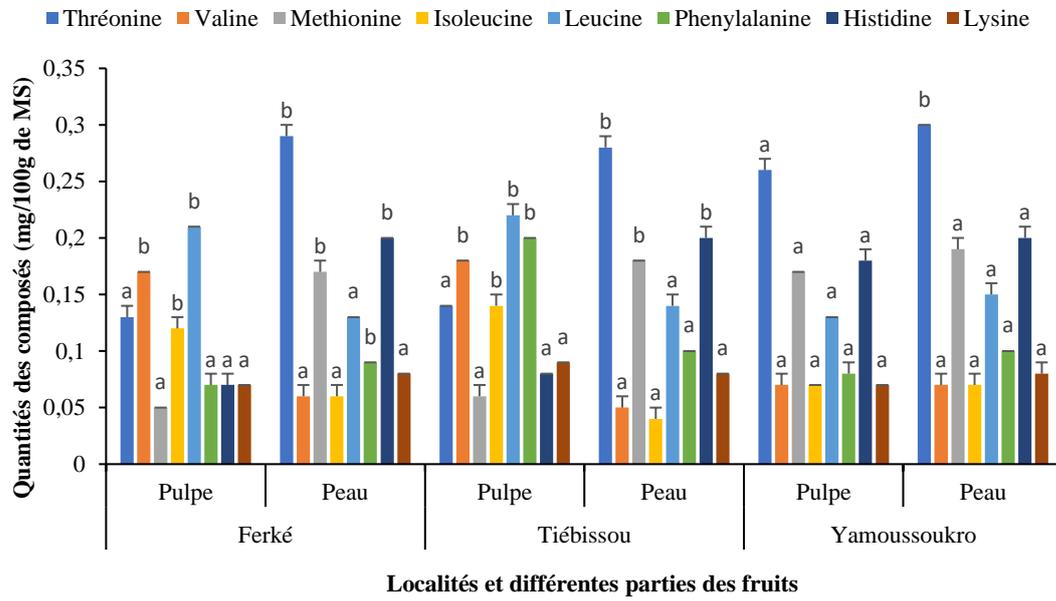
ANNEXE 1

ANNEXE 2

Test de khi 2 montrant l'influence des variables socio-démographiques sur la consommation de la prune noire.

Etat de connaissance	Paramètres statistiques	Genre	Age	Groupe ethnique	Niveau d'instruction	Profession
	Khi 2	1,838	21,812	93,941	38,263	121,058
Niveau de consommation	Signification asymptotique	0,607	0,113	0,000*	0,000*	0,000*
	Khi 2	3,740	47,099	144,652	56,498	149,114
Fréquence de consommation	Signification asymptotique	0,587	0,005	0,000*	0,000*	0,000*
	Khi 2	2,304	22,974	70,902	34,048	103,709
Quantité consommée	Signification asymptotique	0,512	0,085	0,000*	0,000*	0,000*

ANNEXE 3



Etude comparative de certains composants nutritionnels de la pulpe et de la pelure de la prune noire issu de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro

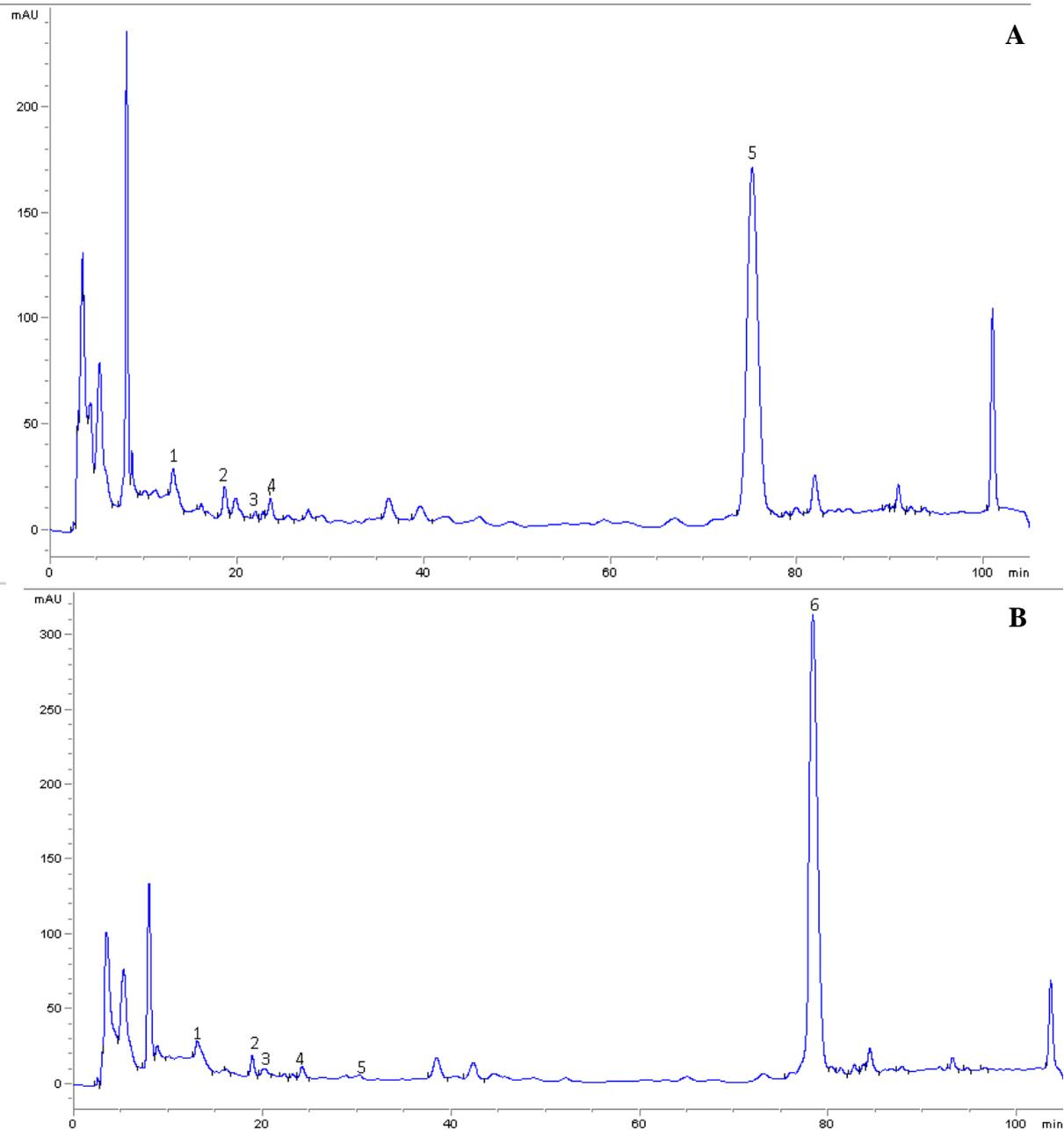
ANNEXE 4

Composition minérale de la pulpe et de la pelure de la prune noire issus de Ferkéssédougou, Tiébissou et Yamoussoukro

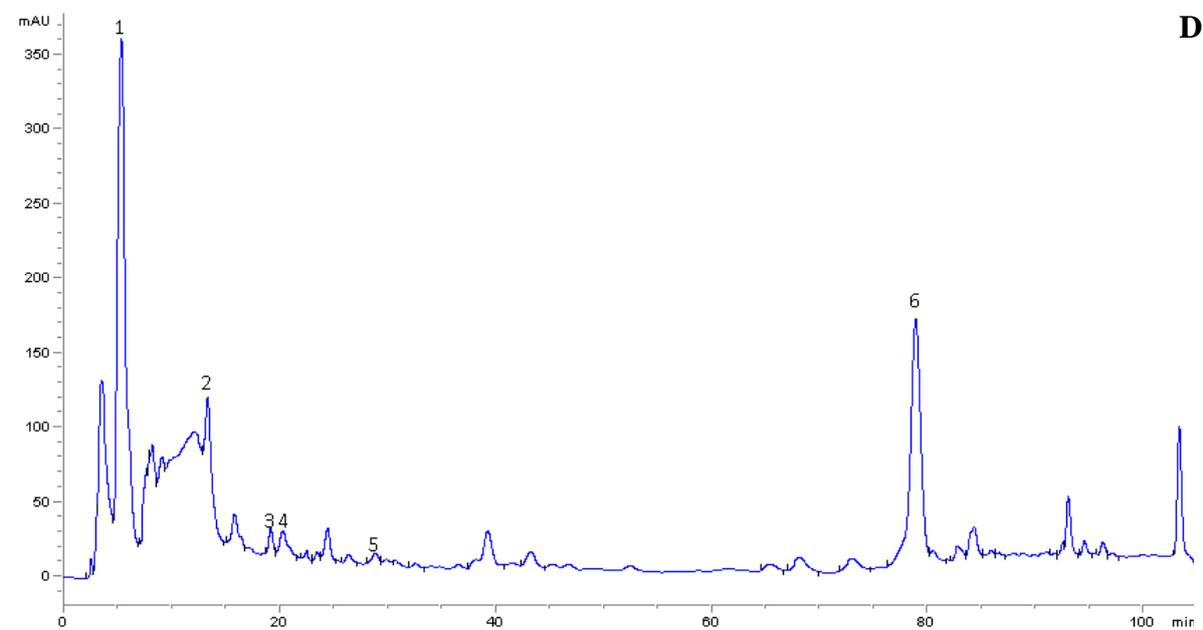
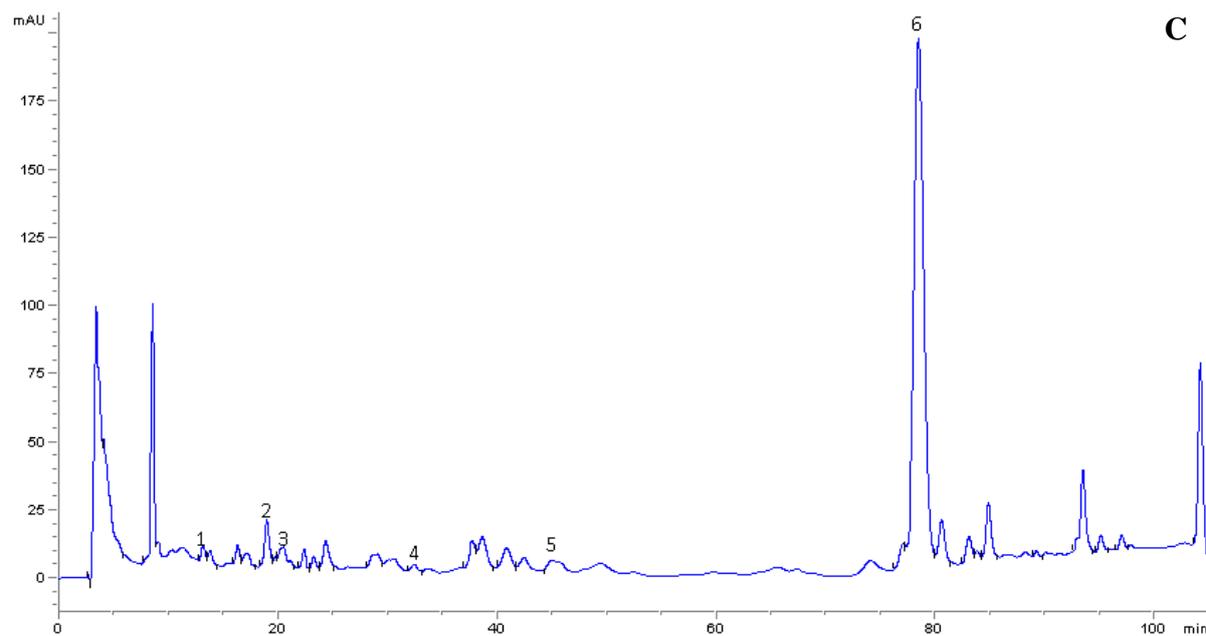
Minéraux (mg/100 g Poids sec)	Pulpe			Pelure		
	Ferkéssédougou u	Tiébissou	Yakro	Ferkéssédougou	Tiébissou	Yakro
Phosphore	118,00 ± 0,71a	179,00 ± 2,83c	146,00 ± 1,00b	105,50 ± 2,12a	142,00 ± 1,41b	127,00 ± 1,00b
Calcium	325,50 ± 0,00a	316,00 ± 3,61a	301,50 ± 2,12a	387,30 ± 3,06ab	355,30 ± 2,52a	389,52 ± 3,54b
Magnésium	228,50 ± 2,12a	255,5 ± 2,12a	221,00 ± 1,41a	207,00 ± 1,41a	250,00 ± 2,83a	199,67 ± 1,15a
Potassium	2155,50 ± 4,95a	2584,55 ± 3,54b	2505,00 ± 2,83b	1863,00 ± 1,41a	2270,50 ± 2,12b	2283 ± 1,41b
Sodium	53,33 ± 1,53b	38,30 ± 7,77a	52,76 ± 0,58b	62,31 ± 2,08b	41,71 ± 1,53a	39,70 ± 5,69a
Zinc	1,11 ± 0,06a	0,97 ± 0,06a	1,00 ± 0,00a	1,07 ± 0,15a	1,00 ± 0,00a	1,03 ± 0,06a
Fer	19,00 ± 0,10b	15,30 ± 0,42a	46,75 ± 0,92c	9,20 ± 0,57a	42,77 ± 0,57c	21,33 ± 0,76b
Manganèse	3,43 ± 0,07b	2,23 ± 0,25a	2,87 ± 0,35ab	3,57 ± 0,64a	2,93 ± 0,51a	3,17 ± 0,47a
Ca/p	2,7 :1	1,8 :1	1,8 :1	2,0 :1	3,8 :1	2,5 :1
K/Na	40,28 :1	67,35 :1	47,21 :1	30,83 :1	55,24 :1	56,40 :1

Les résultats sont exprimés comme la moyenne ± écartype de trois extractions et déterminations distinctes. Les données ont été analysées par ANOVA et, dans chaque ligne de chaque groupe (pulpe et pelure), des lettres différentes indiquent des valeurs statistiquement différentes selon la comparaison Tuckey HSD à $p < 0,05$.

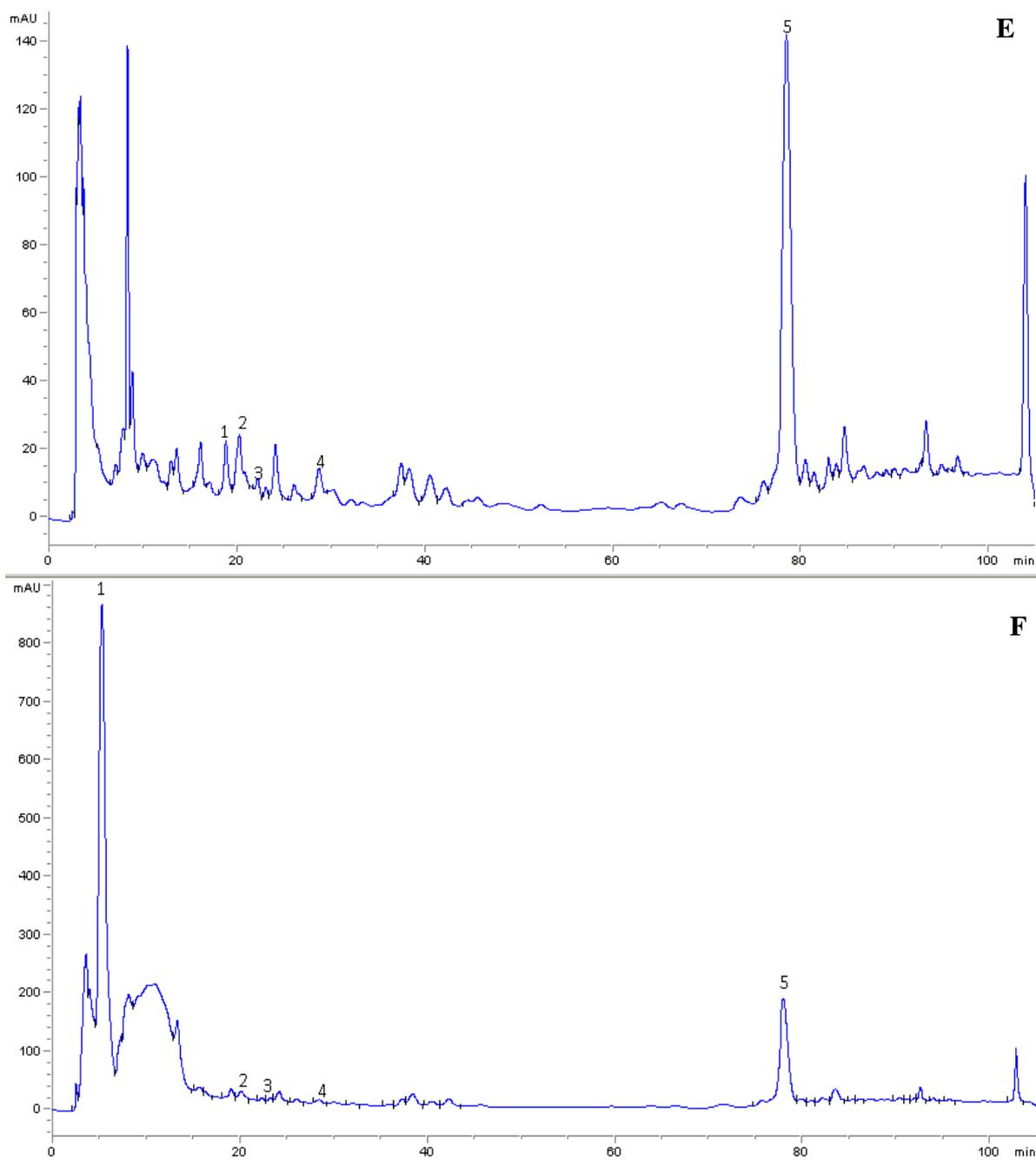
ANNEXE 5



Chromatogramme HPLC des composés phénoliques présents dans la prune noire issu de Ferkéssédougou: (A) **Pulpe** : Ac. Protocatechique (1), Ac. p-hydroxybenzoïque (2), m-hydroxybenzoïque (3), Ac. Chlorogénique (4) et Ac. Cinnamique (5) et (B) **Pelure** : Ac. Protocatechique (1), Ac. p-hydroxybenzoïque (2), Ac. caféique (3), Ac. Chlorogénique (4), Ac. m-coumaric (5) et Ac. Cinnamique (6).



Chromatogramme HPLC des composés phénoliques présents dans la prune noire issu de Tiébissou: **(C) Pulpe** : Ac. Protocatechique (1), Ac. p-hydroxybenzoïque (2), Ac. caféique (3), Ac. Chlorogénique (4), Ac. m-coumaric (5), Ac. Cinnamique (6) et **(D) Pelure** : Ac. gallique (1), Ac. protocatéchique (2), Ac. p-hydroxybenzoïque (3), Ac. caféique (4), Ac. chlorogénique (5) et Ac. cinnamique (6).



Chromatogramme HPLC des composés phénoliques présents dans la prune noire issu de Yamoussoukro: **(E) Pulpe** : Ac. protocatéchique (1), p-hydroxybenzoïque (2), Ac. caféique (3), Ac. chlorogénique (4), Ac. cinnamique (5) et **(F) Pelure** : Ac. gallique (1), Ac. protocatéchique (2), Ac. caféique (3), Ac. chlorogénique (4), Ac. cinnamique (5).

ANNEXE 6

Courbe de calibration des composés phénoliques identifiés et quantifiés dans la pulpe et la pelure de la prune noire issues de trois localités de la Côte d'Ivoire.

Analytes	Temps de retention (min)	Longueur d'onde λ_{\max} (nm)	Equation des courbes des standards	Coefficient de correlation (r^2)	Plage de concentration de test (mg/mL)	Limite de détection (mg/mL)	Limite de quantification (mg/mL)
m-Hydroxybenzoic	21,79	250	$y=25430x-17,614$	0,9968	0,0033 – 0,0055	0,00036280	0,00076959
p-Hydroxybenzoic	18,55	250	$y=126839x-7,7459$	1,0000	0,0030 – 0,0166	0,00297985	0,00632089
Protocatechuic Ac.	13,26	250	$y=62185x-20,655$	1,0000	0,0018 – 0,1665	0,00232508	0,00493199
Gallic Ac.	7,83	280	$y=48555x+4270.3$	0,9984	0,333 – 2,664	0,11659045	0,24731308
m-Coumaric Ac.	36,18	280	$y=162423x-76,264$	0,9967	0,0012 – 0,0033	0,00043907	0,00093135
Caffeic Ac.	22,24	320	$y=116621x-54,934$	0,9994	0,0024 – 0,0333	0,00013178	0,00027954
Chlorogenic Ac.	22,61	320	$y=62017x-226,65$	0,9954	0,0066 – 0,0333	0,00310377	0,00658375
Cinnamic Ac.	69,26	280	$y=173660x+2059,1$	0,9993	0,333 – 1,665	0,06677249	0,14163861

ANNEXE 7