

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



**ECOLE DOCTORALE PHYSIQUE, CHIMIE, SCIENCES DE LA TERRE, DE
L'UNIVERS ET DE L'INGENIEUR (ED-PCSTUD)**

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

Année : 2020

N° d'ordre : 146

THESE DE DOCTORAT

Option : Génie des Procédés et Environnement (GPE)

LES BOISSONS FERMENTEES TRADITIONNELLES DU SENEGAL : DIAGNOSTIC DES PROCEDES, ETUDES DE LA MATURATION ET ESSAIS DE STABILISATION

Par

Oumar Ibn Khatab CISSE

Soutenue le 8 septembre 2020 devant le jury composé de :

Mme Codou Guéye Mar DIOP	Professeur Titulaire, UAM	Présidente
M. Diégane DIOUF	Professeur Titulaire, EBDD/USSEIN	Rapporteur
M. Tchadjobo TCHACONDO	Professeur Titulaire, ESTBA/UL	Rapporteur
Mme Mama SAKHO	Maître de Conférences, ESP/UCAD	Examinatrice
M. Mathieu GUEYE	Directeur de Recherche, IFAN/UCAD	Examineur
M. Nicolas AYEISSOU	Maître de Conférences, ESP/UCAD	Directeur de Thèse

Année Universitaire 2019/2020

DEDICACES

A Feu Mon Père El Hadji Daouda CISSE

A ma mère Adja Adama DIOUF CISSE

A mes frères et sœurs CISSE

A ma chère épouse Maymouna Ba GUEYE CISSE

A mon cher fils Mady CISSE

A ma belle-famille GUEYE.

REMERCIEMENTS

Les mots n'ont pas suffisamment de poids pour traduire ma reconnaissance et ma gratitude à toutes les personnes qui ont eu à participer à la réalisation de cette thèse. Les travaux de recherche ont été réalisés grâce à leurs engagements et leurs appuis multiformes dans des conditions plus ou moins favorables.

J'adresse mes chaleureux remerciements et ma reconnaissance à Mme Mama SAKHO, Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique (ESP), responsable du Laboratoire de Formation Continue en Industries Agroalimentaires (LFCIA) et à Mme Codou Mar DIOP, Professeur Titulaire et responsable du Laboratoire d'Electrochimie et des Procédés Membranaires (LEPM), pour m'avoir accueilli dans leurs laboratoires. Mme SAKHO et Mme DIOP m'ont toujours soutenu pour que je puisse mener ce travail de recherche dans les meilleures conditions possibles.

J'exprime toute ma reconnaissance à M. Nicolas AYEISSOU, Maître de Conférences à l'ESP pour avoir assuré la direction de cette thèse. M. AYEISSOU m'a encadré et formé depuis mon cycle de Technicien Supérieur au département Génie Chimique et Biologie Appliquée. Il m'a inculqué avec patience et rigueur les valeurs cardinales d'un chercheur. J'ai pu compter sur ses conseils avisés et ses orientations m'ont été précieuses dans la réalisation de cette thèse.

Je tiens à remercier M. Mady CISSE, Professeur Titulaire et Directeur des Etudes de l'ESP pour son aide constant et ses encouragements fréquents ont été une grande source d'inspiration et de motivation. M. Mady CISSE, soyez assuré de ma sincère gratitude.

Je remercie sincèrement les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail :

- Mme Codou Guéye Mar DIOP, Professeur Titulaire et Rectrice de l'Université Amadou Mahtar MBOW de Dakar (UAM) ;
- M. Diégane DIOUF, Professeur Titulaire à l'UFR Environnement, Biodiversité et Développement Durable de l'Université Sine Saloum El Hadj Ibrahima NIASS (USSEIN) ;
- M. Tchadjobo TCHACONDO, Professeur Titulaire à l'Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires de l'Université de Lomé (UL) ;
- Mme Mama SAKHO, Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (UCAD) ;

- M. Mathieu GUEYE, Directeur de Recherche à l'Institut Fondamental d'Afrique Noire de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (UCAD).

J'adresse toute ma reconnaissance aux personnes qui m'ont aidé et facilité la partie description des processus de fabrication des boissons fermentées locales du Sénégal :

- la société AFBARD par l'intermédiaire de Mme Aida Coly CAMARA ;
- M. Aba BODIAN ;
- M. Jean Paul BINDIA et sa famille ;
- M. Mathieu GUEYE, Directeur de Recherche à l'Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN) ;
- M. Alioune DIONE.

J'exprime mes chaleureux remerciements à tous mes amis et collègues doctorants du LFCIA et du LEPM pour les nombreux moments de convivialité et d'échanges. Ses remerciements s'adressent également au personnel du Laboratoire d'Analyses et d'Essais (LAE) de l'ESP.

Je remercie également mes collègues enseignants et mes collègues administratifs et techniques du département Génie Chimique et Biologie Appliquée de l'ESP.

Au cours de ces trois années de thèse, j'ai eu l'opportunité de faire la connaissance de nombreuses personnes qui m'ont aidé et soutenu dans mon apprentissage à la recherche. Je ne pourrais certes toutes les citer, mais je leurs dis MERCI !

VALORISATION DES TRAVAUX DE THESE

PUBLICATIONS

Cissé O. I. K., Faye G., Ali M. S., Ayessou N. C., Cissé M., Diatta M. et Sakho M. (2016). Diagnostic du procédé et caractérisation physico-chimique et biochimique d'une boisson fermentée à base de mil : le Boumkaye. *Afrique Science*, 12 (5), 59-65.

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Faye P.G., Cissé M., Camara A. C., Bodian A., Sakho M. and Diop C. M. (2018). Process diagnosis and aging effects on a traditional millet-based drink: Boumkaye. *Food and Nutrition Sciences*, 9 (4), 464-473.

Cissé O. I. K., Ndiaye B, Faye P.G., Ayessou N. C., Gueye M., Cissé M. and Diop C. M. (2018). Traditional mead “Bessoudioury” from Senegal: Process and characterization. *Food and Nutrition Sciences*, 9 (12), 1424-1433.

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Ndiaye B, Cissé M., Sakho M. and Diop C. M. (2018). Stabilization of Boumkaye's drink for an accessibility in the markets. *European Scientific Journal*, 14 (34), 82-91.

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Cissé M., Sakho M. and Diop C. M. (2020). Optimization of the extraction of phytochemical compounds of *Abrus pulchellus* for the production of “Boumkaye” drink made from millet. En cours de soumission.

COMMUNICATIONS

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Cissé M., Sakho M. et Diop C. M. Diagnostic du procédé et maturation d'une boisson à base de mil : le *Boumkaye*. 18èmes Journées Scientifiques Annuelles de la Société Ouest Africaine de Chimie (SOACHIM), 8 au 11 août 2017, Dakar, Sénégal. **2^{ème} Prix de la meilleure communication orale.**

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Cissé M., Sakho M. et Diop C. M. Production et essais de stabilisation de la boisson *Boumkaye* à base de mil. 3^{ème} Journées Annuelles de Chimie du Sénégal, 19 / 20 juin 2018, Dakar, Sénégal.

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Cissé M., Sakho M. et Diop C. M. Diagnostic du procédé et caractérisation physico-chimique de l'hydromel *Bessoudioury*. 19èmes Journées Scientifiques Annuelles de la Société Ouest Africaine de Chimie (SOACHIM), 14 au 17 août 2018, Lomé, Togo. **2^{ème} Prix de la meilleure communication orale.**

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Cissé M., Sakho M. et Diop C. M. Stabilisation de la boisson « Boumkaye » pour une acceptabilité aux marchés. Colloque international COPED, 26 au 29 mars **2019**, Brazzaville, Congo.

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Cissé M., Sakho M. et Diop C. M. Optimisation de la fabrication de la boisson « Boumkaye » à base de mil. Journées scientifiques de Ziguinchor, 20 au 23 juin **2019**, Ziguinchor, Sénégal.

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Cissé M., Sakho M. et Diop C. M. Optimization of the extraction of phytochemical compounds of *Abrus pulchellus* for the production of “Boumkaye” drink made from millet. Atelier régional : Le climat intelligent, les technologies innovantes pour la conservation et la transformation des aliments appliquées par les femmes dans les zones rurales de l’Afrique subsaharienne, 22 / 23 octobre **2019**, Accra, Ghana.

Cissé O. I. K., Ayessou N. C., Gueye M., Cissé M., Sakho M. et Diop C. M. Diagnostic du procédé et essais de fermentation contrôlée de la boisson « Mbite » à base *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hostcht. 4^{ème} Journées Annuelles de Chimie du Sénégal, 05 novembre **2019**, Bambey, Sénégal.

LISTE DES ABBREVIATIONS

ACP	Analyses en Composantes Principales
ADN	Acide Désoxyribonucléique
AFNOR	Association Française de Normalisation
ANOVA	Analysis Of Variance
DPPH	2,2-diphényl-1-pyrcrilhydrazyle
FMAT	Flore Mésophile Aérobie Totale
HR	Hydromel « Bessoudioury » préparé par ajout de vin de rônier
HB	Hydromel « Bessoudioury » préparé par ajout de vin de palme
ISO	International Organization for Standardization
MB	Boisson « Mbite » préparé avec <i>Saccharomyces boularii</i>
MC	Boisson « Mbite » préparé avec <i>Saccharomyces cerevisae</i>
MS	Matière Sèche
UFC	Unité Formant Colonie
UV	Ultraviolet

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Analyses physico-chimiques et biochimiques effectuées sur les différents échantillons.....	8
Tableau II : Normes et milieux de culture utilisés pour les analyses microbiologiques	18
Tableau III : Liste de boissons traditionnelles recensées au Sénégal.....	22
Tableau IV : Quelques noms locaux donnés à <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	24
Tableau V : Principales caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	25
Tableau VI : Caractéristiques physico-chimiques de miel de différentes origines	29
Tableau VII : Quelques noms locaux donnés à <i>Borassus akeassii</i> Bayton, Ouédr. & Guinko	31
Tableau VIII : Principales caractéristiques physico-chimiques du vin de <i>Elaeis guineensis</i>	33
Tableau IX : Quelques noms locaux donnés à <i>Sclerocarya birrea</i>	34
Tableau X : Principales caractéristiques physico-chimiques de la pulpe du fruit de <i>Sclerocarya birrea</i>	34
Tableau XI : Les microorganismes dénombrés dans la boisson « Boumkaye » en UFC/ml..	40
Tableau XII : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de la farine de mil	41
Tableau XIII : Caractéristiques physicochimiques et biochimiques du « Boumkaye brut » .	42
Tableau XIV : Caractéristiques du « Boumkaye » brut et du « Boumkaye » fermenté avant et après stérilisation.....	47
Tableau XV : Evaluation microbiologique des boissons « Boumkaye » avant et après stérilisation	48
Tableau XVI : Conditions d'extraction des principes actifs des lianes d' <i>Abrus pulchellus</i>	52
Tableau XVII : Comparaison des concentrations en polyphénols et tanins obtenus par extraction aqueuse	54
Tableau XVIII : Caractéristiques physico-chimiques des boissons « Boumkaye ».....	55
Tableau XIX : Les microorganismes dénombrés dans les extraits fermentés en UFC/ml	62
Tableau XX : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du miel	63
Tableau XXI : Caractéristiques physico-chimiques du vin de rônier, du vin de palme et des hydromels « Bessoudioury »	64
Tableau XXII : Les microorganismes dénombrés dans les boissons « Mbite » en UFC/ml ..	70
Tableau XXIII : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de « Mbite ».....	70

Tableau XXIV : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques des jus bruts stérilisés et non stérilisés de <i>Sclerocarya birrea</i>	72
Tableau XXV : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de « Niéniébane ».....	78
Tableau XXVI : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de « Poukh »	82
Tableau XXVII : Microorganismes impliqués dans la fermentation de bières traditionnelles africaines	86

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Support d'établissement des diagrammes d'étape	7
Figure 2 : Repère de l'espace $L^*a^*b^*$	13
Figure 3 : Le mil : <i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.....	23
Figure 4 : <i>Abrus pulchellus</i> Wall.....	27
Figure 5 : <i>Borassus akeassii</i> Bayton, Ouédr. & Guinko	30
Figure 6 : <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	32
Figure 7 : <i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich) Hostcht : (a) arbre ; (b) fruits.....	33
Figure 8 : <i>Boscia senegalensis</i> (Pers) Lam ex Poir	35
Figure 9 : Diagramme d'obtention de l'extrait aqueux des lianes d' <i>Abrus pulchellus</i>	37
Figure 10 : Lianes d' <i>Abrus pulchellus</i> avant (a) et après (b) trituration-trempage et extrait aqueux (c).....	38
Figure 11 : Diagramme de fabrication du « Boumkaye »	38
Figure 12 : La boisson « Boumkaye ».....	39
Figure 13 : Diagrammes de fabrication de boissons fermentées africaines : (a) « Pito » ; (b) « Ikigage » et (c) « Tchapalo ».....	39
Figure 14 : Evolution du pH pendant la maturation du « Boumkaye ».....	43
Figure 15 : Evolution de l'acidité titrable pendant la maturation du « Boumkaye »	43
Figure 16 : Evolution de la teneur en éthanol pendant la maturation du « Boumkaye »	43
Figure 17 : Les boissons à base de mil : (a) « Boumkaye » brut ; b) « Boumkaye » fermenté	45
Figure 18 : Evolution du pH en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye ».....	49
Figure 19 : Evolution de l'acidité titrable en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye ».....	49
Figure 20 : Evolution de la teneur en éthanol en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye ».....	50
Figure 21 : Evolution de l'indice de brunissement en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye ».....	50
Figure 22 : Evolution de l'indice de jaunissement en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye ».....	50
Figure 23 : <i>Abrus pulchellus</i> : (a) lianes entières; (b) Lianes broyées	52
Figure 24 : Suivi de la concentration en tanins au cours de la macération des lianes d' <i>Abrus pulchellus</i>	52

Figure 25 : Suivi de la teneur en polyphénols au cours de la macération des lianes d' <i>Abrus pulchellus</i>	53
Figure 26 : Evolution du pH en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »	56
Figure 27 : Evolution de l'acidité titrable en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye ».....	56
Figure 28 : Evolution de la teneur en éthanol en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye ».....	57
Figure 29 : Evolution de la concentration en tanins en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye ».....	57
Figure 30 : Evolution de la concentration en polyphénols en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye ».....	57
Figure 31 : Diagramme de fabrication de l'hydromel « Bessoudioury ».....	59
Figure 32 : L'hydromel « Bessoudioury »	60
Figure 33 : Diagrammes de fabrication d'hydromels africains : a) <i>Ogol</i> ; b) <i>Tej</i> et c) <i>Kuri</i> ..	61
Figure 34 : Evolution du pH pendant la maturation de « Bessoudioury »	65
Figure 35 : Evolution de la teneur en éthanol pendant la maturation de « Bessoudioury »....	65
Figure 36 : Corrélation entre les paramètres physico-chimiques et les extraits analysés selon les deux premières dimensions de l'analyse en composantes principales	66
Figure 37 : Diagramme de fabrication de la boisson « Mbite » à base de <i>Sclerocarya birrea</i>	68
Figure 38 : La boisson « Mbite »	69
Figure 39 : Evolution de la teneur en éthanol pendant la maturation de « Mbite »	71
Figure 40 : Suivi de la teneur en éthanol au cours de la fermentation	74
Figure 41 : Diagramme d'obtention de l'extrait aqueux des tiges de <i>Boscia senegalensis</i>	76
Figure 42 : Tiges de <i>Boscia senegalensis</i> avant (a) et après (b) trituration-trempage et extrait aqueux (c).....	76
Figure 43 : Diagramme de fabrication de « Niéniébane ».....	77
Figure 44 : La boisson « Niéniébane »	77
Figure 45 : Evolution du pH au cours de la maturation de « Niéniébane »	79
Figure 46 : Evolution de l'acidité titrable au cours de la maturation de « Niéniébane »	79
Figure 47 : Evolution de la teneur en éthanol au cours de la maturation de « Niéniébane » ..	80
Figure 48 : Diagramme de fabrication de la boisson « Poukh »	81
Figure 49 : La boisson « Poukh »	81

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES	5
I. INVENTAIRE DES BOISSONS FERMENTEES CONSOMMEES AU SENEGAL ..	5
II. DIAGNOSTIC DES PROCEDES DE FABRICATION DES BOISSONS FERMENTEES	6
III. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOCHIMIQUES.....	7
III.1. pH et acidité titrable	9
III.2. Acidité volatile	9
III.3. Teneur en éthanol	10
III.4. Polyphénols totaux	10
III.5. Tanins	11
III.6. Activité antioxydante	12
III.7. Les indices de couleur	13
III.8. L'humidité.....	13
III.9. Sucres réducteurs.....	14
III.10. Protéines	14
III.11. Minéraux	15
IV. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES	16
IV.1. Flore mésophile aérobie totale	16
IV.2. Les bactéries lactiques.....	17
IV.3. Les levures et les moisissures	17
IV.4. Les streptocoques	17
V. METHODES D'ETUDES DE LA MATURATION	18
VI. METHODES DE STABILISATION PAR TRAITEMENT THERMIQUE	18
VII. METHODES D'OPTIMISATION DE LA PRODUCTION	19
VIII. ANALYSES STATISTIQUES	19

VIII.1. L'analyse de la variance	19
VIII.2. Analyses en composantes principales	20
CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION	21
I. RECUEIL DE BOISSONS FERMENTEES CONSOMMEES AU SENEGAL.....	21
II. PRESENTATION DES MATIERES PREMIERES.....	23
II.1. <i>Pennisetum glaucum</i> L.	23
II.2. <i>Abrus pulchellus</i> Wall.	26
II.3. Le miel.....	28
II.4. <i>Borassus akeassii</i> Bayton, Ouédr. & Guinko	30
II.5. <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	32
II.6. <i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich) Hostcht	33
II.7. <i>Boscia senegalensis</i> (Pers) Lam ex Poir.....	35
III. « BOUMKAYE » A BASE DE MIL	37
III.1. Procédé de fabrication.....	37
III.2. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques	41
III.3. Etude de la maturation de la boisson « Boumkaye »	42
III.4. Essais de stabilisation à l'autoclave de la boisson « Boumkaye ».....	45
III.5. Optimisation de la fabrication de la boisson « Boumkaye ».....	51
IV. « BESSOUDIOURY » A BASE DE MIEL	59
IV.1. Procédé de fabrication.....	59
IV.2. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques	62
IV.3. Etude de la maturation de l'hydromel « Bessoudioury ».....	65
V. « MBITE » A BASE DE <i>SCLEROCARYA BIRREA</i>	68
V.1. Procédé de fabrication	68
V.2. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de la boisson « Mbite »	70
V.3. Etude de la maturation de la boisson « Mbite »	70
V.4. Essais de fermentations contrôlées de la boisson « Mbite »	72

VI. « NIENIEBANE » A BASE DE MIL	75
VI.1. Procédé de fabrication.....	75
VI.2. Caractéristiques physico-chimiques de « Niéniébane ».....	78
VI.3. Etude de la maturation de la boisson « Niéniébane »	79
VII. « POUKH » A BASE DE MIL.....	81
VII.1. Procédé de fabrication	81
VII.2. Caractéristiques physico-chimiques de la boisson « Poukh »	82
CHAPITRE III : DISCUSSION GENERALE.....	83
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	88
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	90
ANNEXES	107

INTRODUCTION

Les boissons fermentées ont une histoire qui soulève de nombreuses interrogations. En effet, plusieurs dates ont été avancées à des périodes comprises entre 20 millions et 7000 ans avant Jésus Christ. Aussi, plusieurs origines (babyloniennes et égyptiennes) ont été proposées. Ces boissons fermentées ont surtout connu une évolution au cours de la civilisation et il existe plusieurs variantes (la bière, le vin et l'hydromel) liées à la matière première disponible [1]. Pour l'essentiel, il est admis que les boissons fermentées dateraient de 15 millions d'années. Cependant, des sources iconographiques attribuent une origine babylonienne à la boisson issue de céréales à 4000 ans avant Jésus Christ [2]. En Afrique, l'origine des boissons fermentées se résume à l'Égypte antique connue pour être destinées aux dieux, aux pharaons et aux prêtres [3, 4].

Dans de nombreux pays d'Afrique, des boissons fermentées sont préparées à base de céréales mais également à partir d'extraits de plantes et de substances sucrées (miel et sèves des plantes). Ces boissons sont souvent attachées aux traditions d'hospitalité et de convivialité, font partie du savoir-vivre de la plupart des sociétés et servent à sceller des relations entre les individus [5]. Les boissons fermentées traditionnelles peuvent être définies comme des extraits fermentés, préparés par les populations autochtones, brassés ou non selon des procédés ancestraux spécifiques à chaque localité (civilisations, terroirs) [6–8]. Les céréales en sont les principales matières premières.

Les céréales constituent la base de l'alimentation de l'homme quelles que soient les civilisations [9]. Elles sont cultivées depuis 100 000 ans avant Jésus Christ et consommées comme bouillies, pâtes ou couscous [10, 11]. L'utilisation des céréales en alimentation est liée à l'histoire des peuples et à l'essor industriel. Dans les pays en voie de développement, les céréales comptent encore pour la majorité de l'apport énergétique et jusqu'à 90 % de l'apport en protéines, contre environ 25 % seulement dans les pays industrialisés [12].

En 2018, la production mondiale de céréales était de 2,65 milliards de tonnes dont 28,65 millions en Afrique de l'Ouest [13]. Ces céréales sont par ordre d'importance, le blé (*Triticum sp*) avec une production mondiale de 727 millions de tonnes, le maïs (*Zea mays*) avec 843 millions de tonnes, le riz (*Oryza sativa*) avec 516 millions de tonnes, le sorgho (*Sorghum bicolor*) avec 57 millions de tonnes, le mil (*Pennisetum glaucum*) avec 28 millions de tonnes et le fonio (*Digitaria exilis*) avec 663 milles tonnes [13].

Parmi ces céréales, le mil (*Pennisetum glaucum* L.) est l'une des plus cultivées au Sénégal. En 2013, il représentait 40% de la production céréalière nationale soit 668 milles tonnes [14]. Il s'agit d'une plante annuelle appartenant à la famille des *Poaceae* (Graminées). Les graines de mil sont d'excellentes sources énergétiques alimentaires et sont également d'un apport non négligeable en fibres alimentaires, en protéines, en glucides et en micronutriments [15–17]. Par conséquent, les graines de mil sont consommées sous différentes formes que sont la farine, les galettes, la bouillie, les pâtes, le pain, les boissons maltées et les boissons fermentées.

En Afrique, il existe de nombreuses boissons fermentées appelées localement « Tchoukoutou » au Bénin et au Togo [18], « Dolo » au Burkina-Faso [19], « Tchapalo » en Côte d'Ivoire [20], « Pito » au Ghana, « Burukutu » ou « Otika » au Nigéria [21], « Bili bili » au Tchad [22] et « Ikigage » au Rwanda [23]. Le « Tchapalo » est obtenu à partir de la fermentation alcoolique de moût sucré provenant de malt de sorgho [24, 25]. Le sorgho est utilisé dans la production des bières opaques traditionnelles et des boissons sans alcool dans les pays en voie de développement et jusque récemment, dans la production de la bière industrielle [26]. Le « Tchapalo » est une bière traditionnelle trouble, peu alcoolisée, contenant des matières en suspension et de la levure [20, 25]. Le « Dolo » est l'appellation Burkinabé donnée à la bière de mil, de sorgho rouge ou de maïs. C'est une boisson trouble et acide, à 3 % de teneur en alcool. Le « Dolo » contient peu de gaz carbonique et sa mousse est peu abondante et peu stable. Cette bière Burkinabé est très instable et doit être consommée dès la fin de la fabrication. « Bili bili » est très populaire au Tchad et au Cameroun. La boisson est brassée principalement à partir de malt de sorgho, mais le malt de millet peut également être utilisé. « Bili bili » comme la plupart des bières africaines à base de mil ou de sorgho, est considéré à la fois comme aliment et boisson. Ce qui explique son appellation de « manger boire » par certains consommateurs [24]. « Pito » est la bière traditionnelle nigériane à base de sorgho et de maïs. « Pito » est généralement brassé dans les zones rurales où il constitue une réelle source de revenus. La farine de malt est d'abord transformée en bouillie. Ce produit intermédiaire subit alors une fermentation lactique spontanée puis une deuxième fermentation à température ambiante [23, 26].

Les boissons alcoolisées africaines sont caractérisées par leur forte acidité et leur aspect de bouillies fluides [27]. La composition physico-chimique est étroitement liée à la nature de la fermentation et la durée post fermentation responsable du bouquet typique des bières.

La fermentation est amorcée après inoculation du moût par un levain traditionnel. Il s'agit de levures (*Saccharomyces cerevisiae*) et des bactéries du genre *Lactobacillus* sp [22, 28, 29] ; ou de germes endogènes aux malts de céréales [18, 29]. Cependant d'autres boissons fermentées sont aussi produites à partir de fruits, de sucres ou de miel.

L'hydromel est le produit de la fermentation alcoolique du miel. Le miel est un édulcorant naturel composé de sucres simples (fructose, glucose), d'acides aminés et organiques, de minéraux, de substances aromatiques et de pigments (polyphénols et flavonoïdes) [30–32]. Malgré la présence d'enzymes hydrolytiques, de microflore naturelle (*Saccharomyces mellis*, *Saccharomyces rouxii*) et de bactéries du genre *Lactobacillus*, la fermentation n'intervient qu'avec l'intervention de levures exogènes [33]. Les procédés africains de fabrication d'hydromel reposent généralement sur un chauffage du miel [34] et ajout d'extraits à base de fruits, d'herbes ou d'épices [35]. L'hydromel « Ogol » est préparé par des groupes ethniques du sud-ouest de l'Éthiopie. Un levain appelé « bite » est d'abord réalisé à l'aide de poudre d'écorce de la plante *Blighia unijungata* Bak mélangée au miel et de l'eau. Les levures sont ainsi cultivées pendant 2 semaines à température ambiante. L'écorce de *Blighia unijungata* constituerait la source d'éléments nutritifs pour la croissance des levures [36]. Dans le cas de « Tej », la préparation est faite à partir de miel, d'eau et de feuilles de gesho (*Rhamnus prenoides*) [37]. Ces feuilles de *Rhamnus prenoides* contiennent des molécules amérisantes et antimicrobiennes [38, 39]. D'autres producteurs peuvent y rajouter des décoctions d'écorces ou de racines pour améliorer le goût et la couleur [40].

D'autres boissons africaines sont préparées par fermentation spontanée de la sève de palmiers dénommées « vins ». Tel est le cas du vin de rônier (*Borassus akeassii*) [40, 41] et du vin de palme (*Elaeis guineensis*) [42]. Le jus de *Sclerocarya birrea* ou marula est aussi fermenté pour obtenir des boissons alcoolisées appelées « Umkumbi » au Zimbabwe [43] et « Buganu » au Swaziland [44]. Il a été remarqué que ces vins sont acides liés à une fermentation acétique et contiennent des composés indésirables tels que des esters [41].

Au Sénégal, les données relatives à la fabrication et la caractérisation des boissons fermentées sont rares ou disparates. Cependant, des ouvrages anciens et médiévaux évoquent la production et la consommation de ces boissons fermentées traditionnelles [45]. Ces dernières sont de nos jours méconnues et délaissées à cause de la modernisation et de l'expansion de l'islamisation notée depuis 1030 [46, 47]. Ainsi, enregistre-t-on une perte des savoir-faire locaux.

Compte tenu de leur rôle social et voire leur apport nutritionnel nonobstant l'alcool, ces boissons méritent une investigation poussée afin d'identifier celles qui sont toujours produites et celles qui ne le sont pas afin de les reconstituer et de les aborder sous un angle technologique. En effet, ces boissons traditionnelles sont confrontées à des problèmes majeurs : une absence de maîtrise des procédés de fabrication, une instabilité des extraits au cours du stockage et une qualité sanitaire et microbiologique douteuse [18, 20, 33, 34, 41, 43].

Dans ce contexte, notre étude a pour objectifs d'identifier les boissons traditionnelles fermentées produites au Sénégal, de comprendre les différents procédés de fabrication, d'étudier leurs maturations et de proposer des méthodes de stabilisation. Il s'agira également de développer des stratégies de valorisation industrielle pour ces boissons traditionnelles.

La rédaction de ce mémoire s'appuie essentiellement sur trois chapitres. Le premier chapitre de ce document sera réservé aux matériels et méthodes. Il y sera décrit la méthodologie adoptée en termes d'identification, de diagnostic des procédés de fabrication, de protocoles analytiques mobilisés et de dispositifs expérimentaux mis en œuvre pour l'atteinte des objectifs assignés. Le deuxième chapitre regroupe l'exploitation critique des résultats obtenus sur les boissons fermentées identifiées en rapport avec la caractérisation et l'optimisation des procédés. Le troisième chapitre constitue une discussion générale des travaux réalisés.

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

Les travaux ont débuté par une identification de boissons fermentées consommées au Sénégal par des enquêtes directes où différents critères étaient considérés ; entre autres le groupe ethnique, l'apport socio-économique et l'origine géographique. Ces boissons répertoriées ont fait l'objet, au moins à deux reprises, de caractérisation des procédés de fabrication. Ce travail sur site a permis de prélever les matières premières utilisées, les produits intermédiaires et les boissons produites pour une caractérisation physico-chimique et microbiologique aussi complète que possible.

Les procédés de fabrication des boissons fermentées décrites lors des diagnostics ont subi des essais d'optimisation dans le sens d'améliorer leurs qualités nutritionnelles et sanitaires. Ainsi, les optimisations proposées ont concerné la maîtrise des étapes du procédé et la réingénierie.

I. INVENTAIRE DES BOISSONS FERMENTEES CONSOMMEES AU SENEGAL

La collecte de données a été effectuée pendant toute la durée des travaux de thèse dans les zones du Sénégal réputées pour la préparation et la consommation de boissons fermentées [48, 50]. Les discussions ont été faites dans les régions de Thiès, Fatick, Ziguinchor et Kédougou à raison de 3 producteurs par site (Figure 1).



Figure 1 : Carte des zones d'étude

La méthodologie adoptée a consisté à faire des entretiens semi structurés et des interviews directes auprès d'individus volontaires âgés entre 50 à 70 ans ayant une bonne connaissance des boissons traditionnelles de leur localité. Les personnes interrogées de différentes origines (ethnique, religieuse et géographique) ont répondu aux questions relatives à l'histoire, aux connaissances empiriques de production, aux potentiels nutritionnels et thérapeutiques et à l'importance socio-économique.

Les entretiens devraient permettre d'obtenir le maximum d'informations sur ces boissons dans l'optique de les reproduire et/ou de suivre leurs méthodes de production. Cet inventaire pratique des boissons locales du Sénégal a été couplé à une recherche bibliographique sur la thématique.

II. DIAGNOSTIC DES PROCÉDES DE FABRICATION DES BOISSONS FERMENTÉES

Les boissons fermentées recensées lors des travaux d'inventaire ont été suivies et diagnostiquées auprès d'au moins deux producteurs du terroir afin d'en percevoir les variabilités. Chaque opération unitaire est identifiée et décrite. Les flux de matières et paramètres physiques sont répertoriés. Sur les sites de transformation, les informations sont ensuite enrichies par des observations, des enregistrements (température, durée), des mesures (poids, volume), des interviews aux opérateurs. Chaque opération unitaire du processus est par la suite documentée à l'aide d'un support (Figure 2) et commentée.

La description des procédés est réalisée à deux reprises sur chaque site de production. Ce travail sur site permet de produire le plus fidèlement possible ces boissons au laboratoire selon les pratiques séculaires de sa localité d'origine. Ce travail permet d'établir le diagramme synthétique d'obtention des boissons qui décrit toutes les étapes, qualifiées d' « opérations unitaires ».

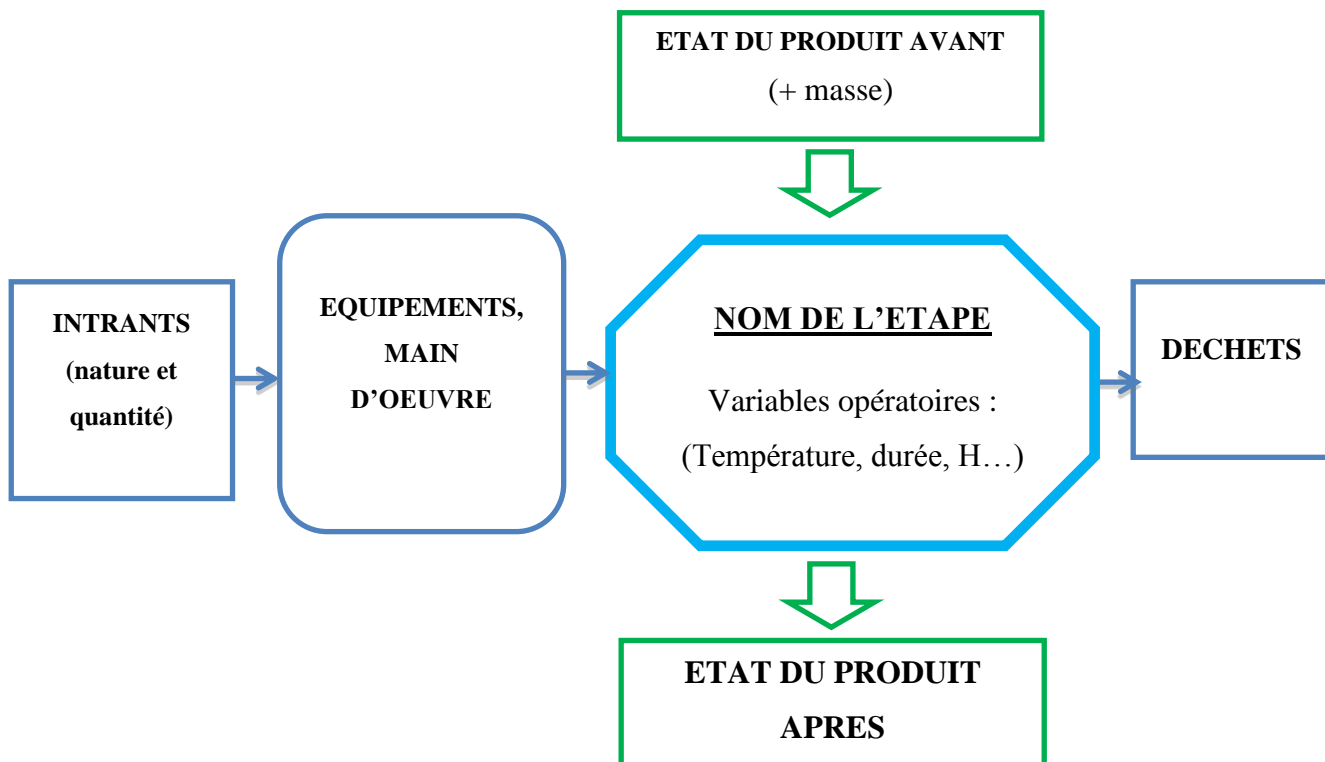


Figure 2 : Support d'établissement des diagrammes d'étape

Les différents échantillons collectés lors de la description des procédés ont été analysés pour évaluer l'effet des facteurs mis en jeu sur la qualité des boissons fermentées et les performances globales du processus de transformation.

III. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOCHIMIQUES

Les méthodes d'analyses physico-chimiques classiques utilisées pour caractériser les matières premières, les extraits aqueux et les différentes boissons recensées sont résumées dans le tableau I. Il s'agit du pH, de l'acidité titrable, de l'acidité volatile, de la teneur en éthanol, des polyphénols, des tanins, de l'activité antioxydante, des indices de couleur, des sucres réducteurs et totaux, de l'humidité, des protéines et des minéraux.

Tableau I : Analyses physico-chimiques et biochimiques effectuées sur les différents échantillons

Analyses	Méthodes	Références	Matériel
Matière sèche (g/100g)	Dessiccation à 105°C ; 2 heures	NF V18-109	Etuve (Mettler, ULE 500, Germany)
Minéraux (mg/100g)	Incinération à 550°C ; 4 heures	NF V 76-101	Four à moufle (Carbolite, OAF 11/1, England)
Ph	pH-métrie	NF V 05-108	pH-mètre (Hanna Instruments, HI 223, USA)
Acidité titrable (mEq/100g)	Titrimétrie	NF V 05-101	Titrateur potentiomètre (SI Analytics, TitroLine easy, Germany)
Acidité volatile (g H₂SO₄/100g)	Distillation et dosage	NF V 05-118	Matériel courant de laboratoire
Polyphénols totaux (mg acide gallique/100g)	Follin-Ciocalteu	Georgé et <i>al.</i> , 2005	Spectrophotomètre UV/Visible (Analytik Jena, Specord 200 plus, Germany)
Tanins (mg acide tannique/100g)	Follin-Denis	Joslyn, 1970	
Activité antioxydante (% inhibition)	Méthode au DPPH	Adaramola et <i>al.</i> , 2016	
Couleur	L*a*b	NF EN ISO 11664	Colorimètre (Konika Minolta, CR C5, Japan)
Sucres réducteurs (g/100g)	Luff-Schoorl	Luff-Schoorl	
Sucres totaux (g/100g)	Luff-Schoorl après hydrolyse	Luff-Schoorl	Matériel courant de laboratoire
Ethanol (g/100g)	Distillation et dosage	NF V 05-107	
Protéines (g/100g)	Kjeldahl	NF V 03-050	

III.1. pH et acidité titrable

Le pH traduit le caractère acide ou non acide des aliments. Le pH reflète également l'évolution de la maturation d'une boisson fermentée. La détermination du pH est faite avec la norme AFNOR NF V 05-108 selon la nature de l'échantillon [53]. Dans les extraits aqueux, il s'agit d'une lecture directe sur une aliquote. Dans le cas des échantillons solides ou semi solides la méthode dédiée est le pH à 10 % où l'on procède par la pesée d'une masse de 10 g ajustée à 100 ml avec de l'eau distillée.

L'acidité titrable est la teneur en acides organiques et minéraux contenus dans un produit alimentaire et déterminée par titrage potentiométrique à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (NF V 05-101) [53]. Le dosage est effectué sur une prise d'essai d'échantillon par une solution de soude 0,1 N jusqu'à pH 8,1 [53]. L'acidité titrable est calculée à l'aide de la formule :

$$A = \frac{N_b * V_b}{PE} \quad (1)$$

A : Acidité titrable en eq/l ;

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

V_b : Volume de la solution de soude versé (ml) ;

PE : Prise d'essai d'échantillon (ml).

III.2. Acidité volatile

L'acidité volatile est constituée par les acides appartenant à la série acétique qui se trouvent dans les boissons fermentées. Elle est liée, en général, à une teneur en acide acétique résultant de fermentations secondaires.

L'acidité volatile des boissons fermentées a été déterminée selon la méthode AFNOR NF V 05-118 [53]. Le principe est basé sur la distillation des acides volatils d'une prise d'essai et leur titration à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (0,1 M) en présence de phénolphthaléine.

$$A = \left[\frac{N_b \times V_b}{V_0} \right] \times Pm \quad (2)$$

A : Acidité volatile en g H₂SO₄/l ;

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

V_b : Volume de la solution de soude versé en ml ;

V_0 : Prise d'essai de boisson en ml ;

Pm : Poids moléculaire de l'acide sulfurique (H₂SO₄) en g/mol.

III.3. Teneur en éthanol

L'éthanol est un produit de la fermentation alcoolique des sucres réducteurs. L'alcool éthylique est le principal constituant des bières et autres extraits fermentés.

La teneur en éthanol dans les boissons a été déterminée à l'aide de la méthode AFNOR NF V 05-107 [53]. Le principe consiste à la séparation de l'éthanol par distillation, puis oxydation en milieu sulfurique par le dichromate de potassium. Puis on détermine l'excès de dichromate à l'aide d'une solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium, en présence d'orthophénantroline comme indicateur.

$$T_{ethanol} = 12,44 * \left(\frac{1 - V_{\text{échantillon}}}{V_{\text{témoin}}} \right) \quad (3)$$

$T_{ethanol}$: Teneur en éthanol en ml/100ml ;

$V_{\text{échantillon}}$: Volume de sel de Mohr versé en ml pour titrer l'échantillon ;

$V_{\text{témoin}}$: Volume de sel de Mohr versé en ml pour titrer le témoin.

III.4. Polyphénols totaux

Les composés phénoliques ou polyphénols sont des métabolites secondaires issus du règne végétal et produits exclusivement par les plantes. Les polyphénols sont caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec un glucide. Les preuves de leur présence chez les végétaux sont nombreuses : couleur des fleurs jaunes (flavonoïdes), rougissement des feuilles à l'automne, couleur des fruits rouges (anthocyanes).

La méthode de Follin-Ciocalteu consiste à une oxydation des phénols en milieu basique. Les produits de réduction de couleur bleue ont une intensité d'absorption proportionnelle à la quantité de polyphénols présents. Les absorbances sont lues à 760 nm.

En réalité, il s'agit d'une méthode d'étalonnage à l'aide d'une solution d'acide gallique pris comme polyphénols de référence. A partir de cette solution étalon, on établit des solutions filles de concentrations variant de 0,01 à 0,1g/l. La courbe d'étalonnage $DO = f(C)$ permet de calculer les concentrations des échantillons. Ainsi, les résultats calculés à partir de la moyenne de trois essais sont exprimés en g équivalent acide gallique pour 100 g d'extrait.

Pour ce faire, 50 μ l d'extrait sont dosés à l'aide du réactif de Folin-Ciocalteu [54]. Le réactif de Folin-Ciocalteu n'étant pas spécifique aux polyphénols, des composés réducteurs tels que la vitamine C, les acides aminés, les sucres réagissent et sont ainsi dosés avec les polyphénols. Pour éviter leur interférence, ces composés réducteurs sont dosés parallèlement avec les polyphénols. Ainsi, 500 μ l d'extrait sont additionnés à 3500 μ l d'eau et 2 ml de ce mélange sont déposés sur une cartouche OASIS puis lavés avec deux fois 2 ml d'eau. Un volume de 500 μ l de cette fraction est ensuite dosé au réactif de Folin-Ciocalteu.

Les absorbances sont mesurées à 760 nm par un spectrophotomètre UV/visible (Analytik Jena, Specord 200 plus, Germany). La concentration en polyphénols totaux est donnée par la relation (4).

$$C_p = \frac{(A-b)}{a} * Fd * \frac{v}{1000} * \frac{100}{m} \quad (4)$$

C_p : Concentration en polyphénols totaux exprimée en g équivalent acide gallique/100 g ;

A : Absorbance réelle de l'échantillon ;

a : Coefficient directeur de la droite d'étalonnage ;

b : Ordonnée à l'origine de la droite d'étalonnage ;

Fd : Facteur de dilution ;

v : Volume de l'extraction (ml) ;

m : Prise d'essai (g).

III.5. Tanins

Les tanins sont des composés phénoliques hydrosolubles qui présentent la propriété de précipiter les alcaloïdes, la gélatine et autres protéines. Selon leur structure, ils sont généralement classés en deux groupes: les tanins hydrolysables et les tanins condensés.

Les tanins sont oxydés par le réactif de Folin Denis en milieu alcalin pour donner une coloration bleue dont l'intensité est mesurée à 760 nm. Parallèlement, une gamme étalon d'acide tannique est préparée dans les mêmes conditions dont les concentrations allant de 0 à 0,1 g/l [55]. La concentration en tanins est exprimée en équivalent acide tannique.

$$C_T = \frac{(DO-b)}{a} * fd \quad (5)$$

C_T : Concentration tanins en g acide tannique/l ;

DO : Absorbance de l'extrait ;

b : Ordonnée à l'origine de la droite d'étalonnage ($b = -0,034$) ;

a : Coefficient de la droite d'étalonnage ($a = 7,28$) ;

fd : Facteur de dilution.

III.6. Activité antioxydante

L'activité antioxydante a été évaluée avec le 2,2-diphényl-1-ptycrilhydrazyle (DPPH) [56]. La méthode est basée sur la capacité d'un extrait de donner un électron singulet au radical libre DPPH de coloration violette foncée pour le stabiliser en DPPH de coloration jaune-verte. Cette activité est comparée à un antioxydant témoin (quercétine). Ainsi, 2 ml de DPPH (0,1 mM dans du méthanol) ont été introduits dans un tube à essais contenant 0,5 ml d'extrait. Le mélange a été agité pendant 5 minutes, puis incubé à l'obscurité et à la température ambiante pendant 30 minutes. L'absorbance a été lue à 517 nm contre un blanc ou contrôle (0,5 ml d'extrait et 2 ml de méthanol). L'activité antioxydante est exprimée en pourcentage de DPPH réduit suivant l'équation (6) :

$$AAO = \frac{A_{contrôle} - A_{extrait}}{A_{contrôle}} \quad (6)$$

AAO : Activité antioxydante en pourcentage d'inhibition du DPPH ;

$A_{contrôle}$: Absorbance du contrôle ;

$A_{extrait}$: Absorbance de l'échantillon.

III.7. Les indices de couleur

L'évaluation des indices de couleur a été effectuée selon le modèle $L^*a^*b^*$. CIE $L^*a^*b^*$ est un système de représentation des couleurs développé en 1976 par la Commission Internationale d'Eclairage (CIE). Il permet de déterminer la différence entre les couleurs en utilisant trois composantes selon la norme AFNOR NF EN ISO 11664 [57] :

- L^* : représente la clarté, $L = 0$ (noir), $L = 100$ (blanc) ;
- a^* : représente la composante chromatique du rouge (a^+) au vert (a^-) ;
- b^* : représente la composante chromatique du jaune (b^+) au bleu (b^-).

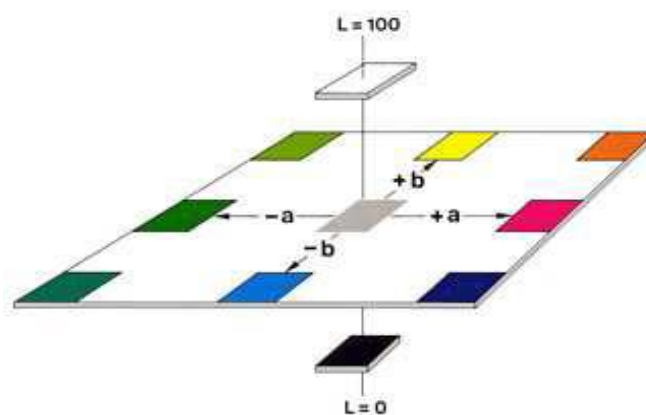


Figure 3 : Repère de l'espace $L^*a^*b^*$

Les indices de couleur permettent d'apprécier la qualité du colorant ainsi que sa nuance ou sa teinte. L'indice brun représente la proportion de la couleur jaune par rapport à la couleur rouge alors que l'indice violet représente la proportion de bleu par rapport au rouge. L'indice de jaunissement traduit une valeur positive d'indice brun et la blancheur d'un échantillon. Les indices de brunissement et de jaunissement ont été déterminés à l'aide d'un colorimètre de laboratoire de marque Konika Minolta (Chroma Meter C5, Japan).

III.8. L'humidité

L'humidité correspond à la quantité d'eau contenue dans les échantillons. La méthode consiste à la dessiccation d'une prise d'essai à l'étuve à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à l'obtention d'une masse constante en termes de matière sèche selon la norme NF V18-109 [53].

$$H = 100 - MS \text{ avec } MS = \frac{C_{echt\ sec} - C_v}{P.E} \times 100 \quad (7)$$

H : Humidité (g/100g) ;

MS : Matière sèche (g/100g) ;

$C_{echt\ sec}$: Masse capsule + échantillon sec ;

C_v : Masse capsule à vide ;

$P.E$: Prise d'essai (g).

III.9. Sucres réducteurs

Un sucre réducteur est un sucre dont la fonction portée par le carbone anomérique est libre. Il s'agit de la fonction aldéhyde (aldoses) ou la fonction cétone (cétoses) qui n'est pas engagée dans une liaison sucre-sucre ou sucre-substance non glucidique.

Les sucres réducteurs sont évalués par dosage d'oxydo-réduction selon la méthode de Luff-Schoorl [53]. En effet, les sucres réducteurs de la boisson sont oxydés à chaud par une solution cupro-alkaline (Luff-Schoorl) et l'excès de liqueur cuprique est titrée par iodométrie. Parallèlement, on titre la liqueur cupro-alkaline (dosage témoin) pour déterminer la masse m de sucres correspondant à la différence de volume entre le blanc et l'échantillon dans le tableau de Luff Schoorl.

La teneur en sucres réducteurs, exprimée en mg pour 100 g de produit, est donnée par la relation :

$$C = m * \frac{100}{25} * d * \frac{100}{P.E} \quad (8)$$

m : Masse de sucre (en mg), correspondant à la différence de volume entre le blanc et l'échantillon ($V_0 - V_1$) dans le tableau de Luff Schoorl ;

d : Facteur de dilution ;

$P.E$: Prise d'essai (en gramme).

III.10. Protéines

Les protéines sont des macromolécules biologiques constituées de l'enchaînement de résidus d'acides aminés liés entre eux par des liaisons peptidiques.

Les protéines ont été évaluées selon la méthode de Kjeldahl (NF V 03-050) qui consiste en trois étapes : la minéralisation, la distillation et le dosage. La minéralisation est le passage de l'azote de la forme organique à la forme minérale par oxydation à ébullition avec de l'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré, en présence de catalyseur. La distillation est effectuée par entrainement de l'ammonium (NH₄⁺) en présence de soude, on cherche à transformer l'ammonium sous sa forme volatile, l'ammoniac (NH₃). Toutefois, les vapeurs d'ammoniac vont être piégées par de l'acide borique. La troisième étape est le titrage de l'ammoniac par une solution titrée d'acide sulfurique [53].

La teneur en azote, N, exprimée en pourcentage de produit, est obtenue à l'aide de l'équation :

$$N = \frac{(V_1 - V_0) \times T \times 0,014 \times 100}{m} \quad (9)$$

V_0 : volume, en millilitres, de la solution d'acide sulfurique utilisée pour l'essai à blanc ;

V_1 : volume, en millilitres, de la solution d'acide sulfurique utilisée pour la prise d'essai ;

T : normalité de la solution d'acide sulfurique utilisée lors du titrage ;

m : masse, en grammes, de la prise d'essai.

La valeur en protéines est obtenue par le produit de la teneur en azote et le facteur conventionnel de 5,70.

III.11. Minéraux

La teneur en minéraux ou cendres correspond au résidu blanc obtenu après incinération par voie sèche, à l'aide d'un four à moufle à une température 550°C pendant 4 heures selon la norme AFNOR NF V 76-101 [53]. La teneur en cendres est donnée par la formule (10) :

$$C = \frac{C_{cendres} - C_v}{P.E} \times 100 \quad (10)$$

C : Teneur en minéraux (g/100g) ;

$C_{cendres}$: Masse capsule + cendres ;

C_v : Masse capsule à vide ;

$P.E$: Prise d'essai (g).

IV. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Les analyses microbiologiques sont une évaluation de la qualité sanitaire d'un produit alimentaire. Elles déterminent l'aptitude ou non, à la consommation d'un aliment suivant un seuil de contamination par mise en évidence et quantification de germes (bactéries) ou de virus. Elles vérifient également l'efficacité des procédés de stabilisation (traitement thermique, ajout de conservateur) ou de suivre l'évolution d'une réaction biologique. Dans le cas des boissons fermentées, les analyses microbiologiques ont permis de définir les germes responsables de la fermentation et d'évaluer leurs qualités hygiéniques et sanitaires.

Le calcul du nombre de micro-organismes présents par ml d'échantillon est réalisé selon la formule :

$$N = \frac{\sum C_i}{V(N_1 + 0,1N_2)*d} \quad (11)$$

$\sum C_i$: Somme des colonies caractéristiques comptées sur toutes les boîtes retenues ;

N_1 : Nombre de boîtes retenues à la première dilution ;

N_2 : Nombre de boîtes retenues à la deuxième dilution ;

d : Facteur de dilution correspondant à la première dilution et le volume de l'inoculum appliqué à chaque boîte en ml.

IV.1. Flore mésophile aérobie totale

La Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT) permet d'évaluer le nombre d'Unité Formant une Colonie (UFC) présent dans un produit ou sur une surface. Selon le cas, il s'agit d'un indicateur d'une mauvaise conservation et témoigne d'un dysfonctionnement dans la fabrication. Dans les procédés biotechnologiques, la flore totale équivaut à la biomasse nécessaire pour amorcer les réactions biologiques. Cette flore représente également le nombre de bactéries banales ou pathogènes qui se développent aux températures moyennes.

Le dénombrement de la FMAT est réalisé selon la norme ISO 4833. Le principe repose sur un ensemencement en profondeur du milieu de culture Plat Count Agar (PCA) des échantillons, et de leurs dilutions décimales sur des paires de boîtes de pétri qui seront incubées en aérobie à 30 °C, pendant 72 heures.

IV.2. Les bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont des bactéries à Gram positif, anaérobies partiellement tolérantes à l'oxygène, ne produisant pas en général de spores. Les bactéries lactiques se présentent sous formes de coques ou de bâtonnets et capables de fermenter les sucres en acide lactique en anaérobiose. Ce sont des microorganismes qui ne sont pas pathogènes mais ils sont souvent impliqués dans la fermentation secondaire des bières industrielles (contamination) ; ou la fermentation naturelle des bières traditionnelles africaines en amont de la production d'alcool.

Le principe de dénombrement selon la norme NF V 04-503 est basé sur l'ensemencement en profondeur d'un milieu sélectif MRS (Man, Rogosa, Sharpe) des échantillons et de la dilution décimale choisie. L'incubation en aérobiose est faite à 30°C pendant 3 jours.

IV.3. Les levures et les moisissures

Les levures comme les moisissures sont des microorganismes appartenant au groupe des champignons. En brasserie et en œnologie, les levures sont les agents de la fermentation alcoolique qui consiste à la transformation des sucres en éthanol et gaz carbonique (CO₂). La présence de moisissures est généralement liée à une contamination du moût ou des grains crus. Ce qui implique une étape de traitement thermique avant l'ajout des levures dans le cas d'une fermentation contrôlée.

Le principe de dénombrement selon la norme NF EN ISO 7954 des levures et des moisissures est basé sur l'ensemencement en profondeur d'un milieu sélectif, Sabouraud avec addition de chloramphénicol, à 30°C pendant 3 jours.

IV.4. Les streptocoques

Les streptocoques sont des bactéries appartenant au groupe des entérocoques constitués d'espèces commensales et pathogènes. Les streptocoques D sont particulièrement pathogènes et responsables de nombreuses infections humaines. Les streptocoques ont un métabolisme anaérobie et capable de convertir les sucres en acide lactique.

Les streptocoques ont été recherchés selon la référence NF EN ISO 7899-2 dans les extraits fermentés à l'aide de la gélose Bile Esculine Azide (BEA) à 37°C pendant 48 heures.

Tableau II : Normes et milieux de culture utilisés pour les analyses microbiologiques

Germes recherchés	Normes	Milieux de culture	Température et durée d'incubation
Flore totale	NF EN ISO 4833	Plate Count Agar (PCA)	30°C/72h
Bactéries lactiques	NF V 04- 503	Gélose de Man, Rogosa, Sharpe (MRS)	30°C/72h
Levures et Moisissures	NF EN ISO 7954	Sabouraud au chloramphénicol	30°C/72h
Streptocoques	NF EN ISO 7899-2	Bile Esculine Azide (BEA)	37°C/48h

V. METHODES D'ETUDES DE LA MATURATION

Les études de la maturation ont consisté aux suivis des caractéristiques au cours du stockage et/ou des conditions de fabrication. Les boissons collectées lors des diagnostics des procédés ont été conservés à 25°C (température ambiante). Les caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques ont été suivies sur chaque échantillon pendant un mois.

VI. METHODES DE STABILISATION PAR TRAITEMENT THERMIQUE

Les méthodes de stabilisation appliquées aux aliments ont pour but de prévenir les réactions d'altération afin d'augmenter leurs durées de conservation. Ces réactions indésirables ont des impacts néfastes sur les qualités nutritionnelles, organoleptiques et sanitaires des aliments. Les microorganismes constituent les principales causes de ces altérations. Dans le cas des boissons fermentées, les méthodes de traitement thermique sont l'une des plus utilisées aussi bien pour la maîtrise de la fermentation, que pour assurer les qualités hygiéniques et sanitaires.

Le traitement thermique à l'autoclave encore appelé stérilisation avait pour objectif d'éliminer toute la flore microbienne présente dans les boissons fermentées et d'assurer leur qualité sanitaire. Ainsi, un barème de stérilisation de 120°C/15 minutes à une pression de 1 bar a été appliqué à l'aide d'un autoclave de laboratoire de type Lequeux (pression de calcul 2,5 bars, volume interne 270 litres, température 139°C, année 1994).

VII. METHODES D'OPTIMISATION DE LA PRODUCTION

Les diagnostics sur sites de production nous ont permis de déceler plusieurs étapes critiques. Une étape est définie critique si elle a un impact direct sur les qualités nutritionnelles ou sanitaires. Dans le cas des boissons fermentées, ces étapes critiques sont surtout liées aux matériels traditionnels de production et à la conduite empirique des processus. Ainsi, différentes optimisations ont été proposées sur ces boissons fermentées pour une meilleure maîtrise et une réingénierie des procédés dans le but de garantir leurs qualités nutritionnelles et hygiéniques. Les essais de fermentation contrôlée ont été réalisés avec deux souches de levures : *Saccharomyces cerevisiae* et *Saccharomyces boulardii* sur quelques boissons sélectionnées. Les conditions biologiques étaient liées aux paramètres optimaux d'activité des souches tout en tenant compte des caractéristiques physico-chimiques des boissons brutes (non fermentées). Ces dernières ont ainsi été incubées à 20°C dans un réfrigérateur thermostaté. Un suivi par fréquence de 6 heures a permis de décrire l'évolution de la fermentation selon les souches. Ce travail permettrait dans une certaine mesure de favoriser leurs exploitations industrielles.

VIII. ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques consistent en une série d'étapes pour convertir les variables en réponses. Plusieurs opérations sont exécutées pour supprimer les erreurs dues aux mesures ou vérifier rigoureusement les données pour en assurer la cohérence. Dans le cadre des travaux sur les boissons fermentées traditionnelles, différentes méthodes statistiques ont été utilisées pour l'exploitation des données avec les logiciels Statistica 7.1 et Minitab 17.

VIII.1. L'analyse de la variance

L'analyse de la variance (ANOVA) est un test de comparaison de moyennes de la famille des statistiques explicatives. L'analyse de la variance à un facteur permet de savoir s'il existe une relation d'interdépendance par exemple entre les échantillons analysés et les paramètres physico-chimiques. Les différences statistiques sont alors comparées à un seuil de 5 %.

Pour une composante physico-chimique donnée, la valeur moyenne de chaque échantillon est assignée d'une lettre en exposant ($X^{(i)}$ où $i = a, b, c, \dots$). Les échantillons portant la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5 %.

VIII.2. Analyses en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) définit par une approche à la fois géométrique et statistique, les différentes corrélations entre les produits analysés et les paramètres physico-chimiques. Ces nouvelles variables alors appelées composantes principales ou axes principaux, permettent de rendre l'information moins redondante.

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

I. RECUEIL DE BOISSONS FERMENTEES CONSOMMEES AU SENEGAL

L'inventaire a permis d'établir la diversité des boissons fermentées traditionnelles du Sénégal. Les producteurs sont constitués d'hommes et de femmes appartenant aux ethnies Diola, Bassari, Bedick et Seerer. Aussi, ces boissons réputées alcoolisées sont consommées pour leurs potentiels thérapeutiques (« Boumkaye » et « Niéniébane ») ou pour faciliter la digestion lors des fêtes religieuses ou traditionnelles (« Poukh » et « Niéniébane ») (Tableau III).

Les matières premières utilisées sont le mil, le miel, les extraits de plantes fermentés (vins de rônier et de palme) et des plantes médicinales (*Abrus melanospermus* et *Boscia senegalensis*) dont quelques éléments bibliographiques sont présentés dans ce chapitre.

Tableau III : Liste de boissons traditionnelles recensées au Sénégal

Boissons	Ethnies	Matières premières	Régions/Zones	Utilisations
« Boumkaye »	Diola	Mil (<i>Pennisetum glaucum</i>) <i>Abrus melanospermus</i>	Casamance	aliment, boisson, médicament
« Bessoudioury »	Bassari et Bédick	Miel Vin de rônier (<i>Borassus aethiopum</i>) Vin de palme (<i>Elaeis guineensis</i>)	Kédougou	boisson
« Mbite »		Marula (<i>Sclerocarya birrea</i>)	Fatick	boisson
« Niéniébane »	Seerer	Mil (<i>Pennisetum glaucum</i>) <i>Boscia senegalensis</i>	Thiès	aliment, boisson, médicament
« Poukh »		Mil (<i>Pennisetum glaucum</i>)	Thiès	boisson

II. PRESENTATION DES MATIERES PREMIERES

II.1. *Pennisetum glaucum* L.

II.1.1. Historique et origine

Le mil est une culture traditionnelle en Afrique surtout au Sahel et en Asie (Inde, Pakistan). La distribution géographique du mil sauvage, limitée à l'Afrique sahélienne, laisse penser que c'est dans cette zone qu'il a été domestiqué pour donner la céréale que nous connaissons aujourd'hui. Les plus anciens vestiges de mil cultivé en contact avec du mil sauvage ont été trouvés en Mauritanie et auraient plus de 3000 ans [58]. Des empreintes de mil sauvage ont également été découvertes sur des poteries datant d'environ 5000 ans dans le centre du Soudan [59].

II.1.2. Description

Pennisetum glaucum (L.) R. Br. est une herbe annuelle, touffue, atteignant 300 cm de hauteur. Les feuilles atteignent 100 cm de long et 100 mm de large, retombant le long des chaumes. L'inflorescence est une panicule dense ou faux-épi, long de 20 cm jusqu'à 1,5 m qui rappelle l'inflorescence des joncs (d'où son nom de mil à chandelle). La fleur inférieure mâle est à lemme membraneuse, oblongue-elliptique, tronquée et légèrement trilobée, ciliée vers le sommet. La fleur supérieure est fertile et de la longueur de l'épillet, se désarticulant souvent à maturité pour tomber avec le caryopse [60, 61].

Les graines sont des caryopses, de 3 à 5 mm de long, généralement libres des glumelles. Ces graines globuleuses à elliptiques, de couleur blanche, jaunâtre ou grise, ressemblent à des perles (Figure 4).



Figure 4 : Le mil : *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. [60]

II.1.3. Taxonomie

Pennisetum glaucum L. appartient à la famille de Poacées. Le genre *Pennisetum* comporte environ 140 espèces. L'espèce mil à chandelle est aussi connue sous plusieurs appellations taxonomiques telles que *Setaria glauca*, *Lutescens setaria*, *P. spicatum* (L.) Körn, *P. typhoides*, *P. typhoideum* L.C. Rich. et *P. americanum* (L.) Leeke [60, 61].

Le mil est une espèce aux multiples appellations, qui témoignent d'une part de sa large zone de répartition ; et d'autre part de son ancrage dans les habitudes alimentaires traditionnelles. Le tableau IV est un catalogue des principales dénominations du mil.

Tableau IV : Quelques noms locaux donnés à *Pennisetum glaucum* L. [60]

Langue	Noms locaux
Allemand	Perlehirse
Anglais	Bulrush millet, pear millet
Espagnol	Mijo perlado
Italien	Miglio perlato
Français	Mil perle, mil pénicillaire, petit mil, mil à chandelles
Wolof	« Dougoup »
Pulaar	« Guawri »
Diola	« Balout »

II.1.4. Principales caractéristiques

Le mil est une céréale, aux valeurs nutritionnelles supérieures à celles du riz et du blé, qui constitue le principal produit de la culture, et représente souvent la base de l'alimentation en zones rurales de l'Afrique [62, 63]. C'est une culture vivrière de première importance en ce sens qu'il est consommé en période de grave pénurie alimentaire pendant la saison sèche, dans le sens de couvrir les besoins en micronutriments et en énergie.

Les graines de mil renferment des teneurs intéressantes en protéines, en fibres alimentaires et en composés glucidiques sous forme d'amidon [64] (Tableau V). Cette valeur importante en sucres sous forme de composés amylicés, plus de 70 g/100g par rapport à la matière sèche, justifie entre autres l'utilisation du mil comme matière pour la production de boissons alcoolisées. Fabrication dont l'étape fondamentale est la conversion du glucose en éthanol.

Le mil a des valeurs remarquables en minéraux essentiels : fer, magnésium, phosphore, calcium, potassium ; et en acides aminés. Le mil contient tous les acides aminés indispensables (Tableau V).

Tableau V : Principales caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de *Pennisetum glaucum* L. [15, 64]

	Unités	Teneurs
Constituants		
Matière Sèche	g/100g	89,08
Amidon		70,13 ± 0,68
Protéines	g/100g MS	8,73 ± 0,10
Lipides		5,58 ± 0,10
Fibres		2,48 ± 0,03
Minéraux		
Zinc		35
Phosphore	mg/kg	3148
Manganèse		11
Fer		40
Magnésium		1239
Calcium		153
Acides aminés		
Histidine		0,27
Arginine	g/100g	0,56
Thréonine		0,42
Valine		0,58
Méthionine		0,23
Isoleucine		0,59
Leucine		1,03
Phénylalanine		0,54
Lysine		0,35

II.1.5. Utilisations alimentaires

Le mil est une culture de première importance dans les régions sèches de l'Afrique et de l'Asie. En effet, il fait partie des plantes de la sécurité alimentaire, et c'est l'une des rares cultures que l'on peut produire pour y survivre. Le mil est un grain utilisé aussi bien pour l'alimentation humaine, que pour les animaux.

Le mil est l'aliment de base de plus d'une centaine de millions de personnes dans certaines parties de l'Afrique tropicale et de l'Inde. Les grains sont notamment réduits en farine après mouture et broyage. Cette farine est la base de nombreux mets. En ce sens qu'elle se consomme sous la forme d'une bouillie consistante ou d'un gruaux en Afrique, ou d'un pain non levé : le « chappati » en Inde. Il existe d'autres préparations telles que le couscous, des produits qui rappellent le riz, des amuse-gueules faits de mélanges avec des légumes secs. Dans d'autres préparations, ce sont les graines grillées que l'on utilise.

Les grains de mil sont largement utilisés dans la préparation de boissons fermentées et non fermentées. C'est le cas dans de nombreux pays de l'Afrique de l'ouest où des « bières » locales font parties intégrantes des traditions du terroir, et consommées notamment lors des cérémonies familiales [20, 27].

II.2. *Abrus melanospermus*

Les plantes médicinales sont parties intégrantes de la société humaine pour lutter contre les maladies depuis l'aube des civilisations. Elles sont utilisées de façon continue pour le traitement de diverses maladies. Les plantes médicinales peuvent être source importante de substances chimiques inconnues avec des effets thérapeutiques avérés [65]. Parmi ces plantes, on en distingue celle du genre *Abrus*, dont l'espèce *pulchellus* est l'une des plus remarquables. Mais les seuls travaux existants concernent généralement ses activités anticancérigènes et antibactériennes de l'espèce [66, 67].

II.2.1. Description

Abrus melanospermus encore appelé *Abrus pulchellus* est une liane grimpante à tige mince, légèrement poilue et jaune appartenant à la famille des Fabacées. Les feuilles sont pennées, alternes avec 6 à 10 folioles jumelés. Les tiges sont courtes, lames oblongues ou ovales, de 0,5-3 x 0,3-1 cm, pouvant être blanches hérissées ou densément poilues. Les feuilles mesurent 3 à 10 cm de long.

Les fleurs de 3-9 mm sont denses. Le sépale est en forme de cloche, ou densément blanc gris. Les fleurs sont rose, violet ou rouge pourpre (Figure 5). Les graines sont brun-noir ou noir, brillantes légèrement lustrées, elliptiques ou ovoïdes, comprimées. *Abrus melanospermus* se trouve dans les régions tropicales [68].



Figure 5 : *Abrus melanospermus* [68]

II.2.2. Taxonomie

Les problèmes taxonomiques et d'identification d'*Abrus melanospermus* font des estimations concernant la zone d'occurrence est difficile. Un plus grand degré de certitude taxonomique est nécessaire et cette espèce est évaluée comme ayant des données insuffisantes en raison de l'absence de cette information. Il est admis que l'espèce *Abrus melanospermus* est originaire de l'Inde [69].

II.2.3. Propriétés médicinales

Les racines de cette espèce sont utilisées pour traiter des problèmes d'estomac. Les feuilles sont utilisées en médecine traditionnelle dans les régions centrales de la Thaïlande [70]. Les extraits méthanoliques de feuilles d'*Abrus pulchellus* ont montré également un potentiel antioxydant intéressant et une forte activité antibactérienne et antiparasitaire [67].

L'activité anticancéreuse des tiges d'*Abrus melanospermus* a été déterminée à partir de la cytotoxicité et induction de l'apoptose (auto-destruction cellulaire) dans les cellules leucémiques MOLT-4 et des cellules Vero (cellules épithéliales utilisées en cultures cellulaires). En effet, l'extrait brut éthanol-eau 50 % préparé avec les tiges d'*Abrus melanospermus* a révélé sur l'ADN, une forte activité cytotoxique et une sélectivité élevée pendant 48 h. Ce qui fait de l'espèce un probable anti-cancéreux [68].

II.3. Le miel

Le miel est un produit naturel produit par les abeilles mellifères du genre *Anthophila* [33, 71]. Le miel est un édulcorant naturel largement répandu dans le monde et utilisé pour diverses applications thérapeutiques et nutritionnelles [33–35, 72]. Le miel contient plus de 200 composés chimiques et biochimiques [73].

II.3.1. Propriétés physico-chimiques du miel

Le miel est une solution visqueuse contenant des sucres (glucose, fructose), des acides aminés et organiques, des minéraux et vitamines, des substances aromatiques et des composés phénoliques (polyphénols et flavonoïdes) [33–35]. Cependant, la composition physico-chimique du miel varie en fonction de la plante à partir desquelles les abeilles collectent le nectar [74, 75]. Néanmoins, les proportions en molécules antioxydantes (polyphénols et tocophérols) restent relativement constantes [76]. Le tableau VI est une synthèse de la composition du miel de différentes origines.

Tableau VI : Caractéristiques physico-chimiques de miel de différentes origines [74, 75-81]

Paramètres	Maroc	Tunisie	Argentine	Brésil	Roumanie	Inde
Matière sèche (g/100g)	14,64 – 18,59	17,27 – 19,80	17,4 – 18,3	16,4 – 19,4	15,4 – 19	17,20 – 21,60
Cendres (g/100g)	-	-	0,07 – 0,02	0,07	0,03 – 0,54	-
pH	-	-	3,6 – 4,1	3,58 – 4,95	4,08 – 6,4	-
Acidité (mEq/100g)			26 – 38	10 – 46	-	-
Glucose (g/100g)	29,25 – 33,08	31,07 – 36,58	29,4 – 30,9	26,16 – 40,48	-	-
Fructose (g/100g)	39,44 – 42,42	35,78 – 37,84	35,9 – 37,2	34,36 – 41,70	-	43,30 – 65,50
Polyphénols totaux (mg acide gallique/100g)	-	-	-	26 – 100	-	-
Flavonoïdes totaux (mg quercetine/100g)	-	-	-	2,60	-	-
Activité antioxydante DPPH (EC₅₀ mg/ml)	-	-	-	25,45 - 294,26	-	-
Indice de jaunissement	-	23,63 – 49,14	-	33,2 – 61,3	-	3,80 – 55,90

II.3.2. Propriétés biologiques et thérapeutiques du miel

Le miel est un aliment aux multiples utilisations thérapeutiques en termes antioxydantes, anti-inflammatoires, antibactériennes, antivirales, antidiabétiques et anticancéreuses [80, 81]. Ces propriétés sont liées à sa composition très intéressante en molécules phénoliques et en vitamines (tocophérols). Diverses études sur l'administration in vivo de substances naturelles et artificielles, ont prouvé les effets améliorants importants du miel sur divers paramètres tels que le glucose plasmatique, l'insuline plasmatique, le cholestérol [33]. Le miel est aussi très efficace dans la prévention de maladies cardiaques, du cancer, du déficit du système immunitaire [82].

II.4. *Borassus akeassii* Bayton, Ouédr. & Guinko

II.4.1. Description botanique

Borassus akeassii encore appelé le rônier est une espèce de la catégorie des fruits sauvages non ligneux. *Borassus akeassii* est un palmier non ramifié atteignant 20 m de haut, caractérisé par une cime d'une largeur maximale de 8 m. Les jeunes palmiers sont couverts de tiges sèches des feuilles, montrant des cicatrices de feuilles progressivement décolorées. Les arbres de plus de 25 ans présentent un gonflement du tronc à 12-15 m au-dessus du sol. L'écorce est gris pâle chez les palmiers plus âgés et est plus ou moins lisse [83, 84]. Le rônier se rencontre dans les zones semi-arides et sub-humides d'Afrique tropicale, dans le Sud de l'Asie et dans les îles du pacifique et de l'Océan Indien [85].



Figure 6 : *Borassus akeassii* Bayton, Ouédr. & Guinko [85]

II.4.2. Taxonomie

Borassus akeassii appartient à la famille des *Arecaceae* et au genre *Borassus* [83, 84]. L'espèce *Borassus akeassii* possède plusieurs noms locaux (Tableau VII).

Tableau VII : Quelques noms locaux donnés à *Borassus akeassii* Bayton, Ouédr. & Guinko [85]

Langue	Noms locaux
Allemand	Palmyrapalme
Anglais	Ron palm, Borassus palm
Français	Palmier rônier, rônier
« Wolof »	Ron
« Bassari »	Ipen, apé

II.4.3. Utilisations alimentaires

Le rônier donne un fruit pulpeux transformé en nectar et autres produits stabilisés [86, 87]. Toutefois, la transformation de sa sève en vin demeure la voie préférentielle de valorisation [41, 42].

Les fruits de *Borassus akeassii* sont consommés crus ou cuits. Les noyaux contiennent une albumine qui, avant maturation, est douce et rafraîchissant. Les graines immatures peuvent être mangées et contiennent une gelée sucrée au goût rafraîchissant. Les graines matures peuvent être enterré dans des fosses et laissé germer, et les pousses sont considérées comme un mets agréable [88].

La sève de rônier est recueillie deux fois par jours (matin et soir) par saignées. Les sèves sont alors disposées dans des canaris ou des gourdes végétales pour une fermentation de quelques heures. Il est à noter que le vin du matin est peu fermenté et peu acide (pH 4,5 à 5,5) alors que le vin du soir est très acide (pH 2,8 à 3,8) lié à une fermentation acétique. Les vins de rônier sont des boissons alcoolisées mais contiennent des composés indésirables tels que des éthers [42].

II.5. *Elaeis guineensis* Jacq.

II.5.1. Description botanique

Elaeis guineensis ou le palmier à huile est une espèce dioïque à stipe haut de 12-20 m, épais de 25-40 cm, couvert de bases foliaires persistantes. Les feuilles vert clair, sont longues de 2-4 m. Les fleurs mâles longues de 5 mm environ, contiennent 6 étamines à filets soudés entre eux en un tube charnu. L'inflorescence femelle brièvement pédonculée est à rameaux serrés les uns contre les autres, formant une tête globuleuse ou ovoïde. Les fleurs femelles sont relativement grandes [89].



Figure 7 : *Elaeis guineensis* Jacq. [89]

II.5.2. Taxonomie

Elaeis guineensis Jacq. appartient à la famille des *Arecaceae*. L'espèce *Elaeis guineensis* est connue sous les appellations locaux de palmier à huile et éléis de Guinée [90].

II.5.3. Principales caractéristiques du vin de palme

Le vin de palme est obtenu par fermentation spontanée de la sève brute [40]. Les paramètres physico-chimiques du vin de palme sont généralement liés à la durée de fermentation et les techniques d'extraction de la sève [91]. Le tableau VIII donne les principales caractéristiques du vin.

Tableau VIII : Principales caractéristiques physico-chimiques du vin de *Elaeis guineensis* [40, 90, 91]

Paramètres	Valeurs
Eau (g/100g)	93,8
Protéines (g/100g)	0,4
Glucides (g/100g)	0,12 – 1,6
Cendres (g/100g)	0,2
Ethanol (% v/v)	1,51 – 8,22
pH	3,6 – 3,8
Acidité titrable (g acide tartrique/100 ml)	11,7 – 33,6

II.5.4. Utilisations alimentaires

Elaeis guineensis donne deux produits principaux : le vin de palme et l'huile. Le vin de palme est récolté durant la saison sèche en sectionnant le tronc du palmier. Ce liquide, à l'état frais, est une boisson d'un goût agréable. Mis à fermenter, il donne le vin de palme. Cette boisson joue un rôle important dans les réunions villageoises et dans les cérémonies « Diola » (peuples de Casamance, Sénégal) de culte animiste [90].

II.6. *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hostcht

II.6.1. Description botanique

Sclerocarya birrea ou marula est un arbre de taille moyenne à simple tronc et développe une cime en forme de large couronne. Il est caractérisé par une écorce chinée grise. L'arbre peut atteindre 18 m de hauteur principalement en basses latitudes et forêts ouvertes [92-94].



Figure 8 : *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hostcht : (a) arbre ; (b) fruits [94]

II.6.2. Taxonomie

Sclerocarya birrea appartient à la famille des *Anacardiaceae* et au genre *Sclerocarya* [95]. Le marula est très largement distribué à travers le continent africain. Cela est traduit par ses nombreuses appellations. Le tableau IX propose quelques noms à *Sclerocarya birrea*.

Tableau IX : Quelques noms locaux donnés à *Sclerocarya birrea* [96, 97, 98]

Langues	Pays	Noms locaux
Wolof	Sénégal	Bir
Seerer	Sénégal	Aridje
Mursi	Ethiopie	Cobwe
Mofou	Cameroun	Lalaway
Boran	Kenya	Didissa
Dogon	Mali	Bii
Zulu	Afrique du Sud	Ganu
Meru	Ghana	Mura

II.6.3. Principales caractéristiques du fruit

Le fruit est très riche en vitamine C avec une concentration de 168 mg/100g [98]. Il présente également des teneurs appréciables en sucres, en protéines et en minéraux essentiels [99], [100]. Les amandes du fruit sont de bonnes sources de matière grasse. L'huile de marula contient 70% d'acide oléique, 9% d'acide palmitique, 5% d'acide stéarique, 4% d'acide linoléique, 0,3% d'acide arachidique, 0,1% d'acide linoléique [101].

Tableau X : Principales caractéristiques physico-chimiques de la pulpe du fruit de *Sclerocarya birrea* [98, 99, 101]

Paramètres	Valeurs
Matière sèche (g/100g)	7,18 - 11,26
Ph	3,66 – 3,95
Protéines (g/100 ml)	0,40 – 0,45
Glucides (g/100ml)	2,69 – 4,48
Minéraux (g/100ml)	0,55 – 0,75
Vitamine C (mg/100ml)	31,7 – 168
Polyphénols (mg/100ml)	19,0 – 25,6

II.6.4. Utilisations alimentaires

Le fruit est traditionnellement utilisé pour la nourriture en Afrique. Le jus extrait de la pulpe permet de produire une boisson alcoolisée très prisée dans plusieurs régions du continent [94]. Les amandes des graines, riches en protéines et en matières grasses, constituent une alternative alimentaire considérable. L'huile de marula, fabriquée à partir de l'amande de la graine, est un délicieux additif pour les repas en Afrique [98, 101].

II.7. *Boscia senegalensis* (Pers) Lam ex Poir

II.7.1. Description botanique

Boscia senegalensis est un arbuste à feuilles persistantes de 2 à 5 m de hauteur. Les feuilles persistantes à pétiole court sont petites et coriaces. *B. senegalensis* donne des fruits, regroupés en petits bouquets, sous la forme de baies jaunes sphériques de 1,5 cm. Ces fruits contiennent 1 à 4 graines, qui sont d'une teinte verdâtre à maturité [102–104].



Figure 9 : *Boscia senegalensis* (Pers) Lam ex Poir [103]

II.7.2. Taxonomie

Boscia senegalensis (Pers) Lam ex Poir appartient à la famille des *Capparaceae* et au genre *Boscia* [103, 104].

II.7.3. Utilisations médicinales

Boscia senegalensis est une plante utilisée dans la médecine et la pharmacopée traditionnelle. Plusieurs vertus thérapeutiques sont associées à ses extraits [104, 105]. Des travaux ont prouvé l'effet antihyperglycémiant des extraits de *Boscia senegalensis* sur des lapins associé aux composés phytochimiques tels que les alcaloïdes, les saponosides et les tanins [106].

L'activité biologique des macérats de feuilles ou de tiges de *Boscia senegalensis* a été testée sur des insectes à grains. Ces essais ont démontré une mortalité de 80 à 100% chez l'espèce *Callosobruchus* et réduisaient de manière significative les pertes en grains [107]. D'autres études ont abouti à des conclusions similaires sur des graines d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) contaminées par l'insecte *Caryedon serratus* [108].

Ces différentes matières premières (le mil, le miel, les vins de rônier et de palme, le marula, *Abrus pulchellus* et *Boscia senegalensis*) entrent dans la préparation de boissons fermentées traditionnelles consommées au Sénégal.

III. « BOUMKAYE » A BASE DE MIL

III.1. Procédé de fabrication

Les diagnostics des procédés ont été faits sur deux sites de production de Dakar. Le diagramme de fabrication de la boisson « Boumkaye » comporte trois parties majeures et distinctes : la production d'un extrait aqueux par macération des lianes d'*Abrus pulchellus* ; la préparation de la bouillie de mil et une dernière phase de fermentation pour en obtenir le « Boumkaye ».

III.1.1. L'extrait aqueux des lianes d'*Abrus pulchellus*

L'obtention de l'extrait (Figure 10) commence par une macération des lianes d'*Abrus pulchellus* (Figure 11a) pendant trois à quatre jours dans l'eau pour les ramollir et faciliter l'extraction des principes actifs. Les lianes ramollies sont ensuite triturées au mortier de façon ménagée puis trempées dans une bassine d'eau. Cette opération est répétée plusieurs fois afin d'en retirer suffisamment l'écorce (Figure 11b). L'extrait est ensuite filtré pour être utilisé lors de la phase suivante de préparation de la bouillie (Figure 11c).

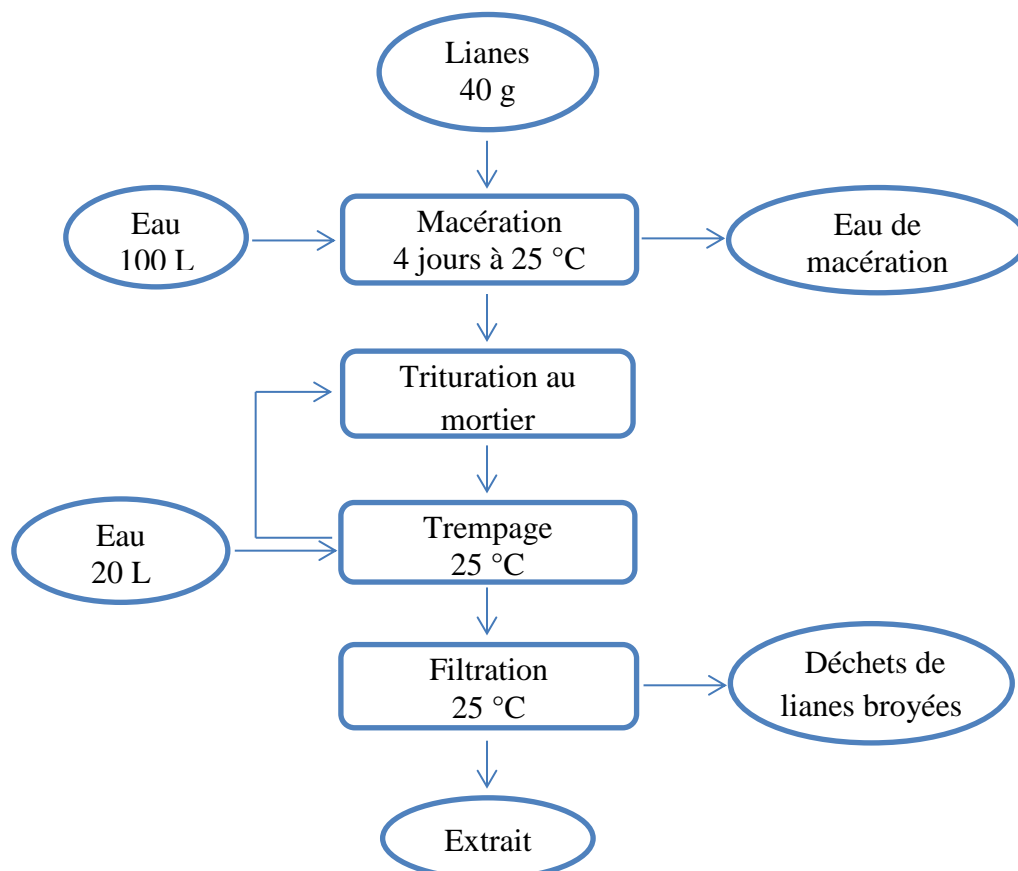


Figure 10 : Diagramme d'obtention de l'extrait aqueux des lianes d'*Abrus pulchellus*.



Figure 11 : Lianes d'*Abrus pulchellus* avant (a) et après (b) trituration-trempage et extrait aqueux (c)

III.1.2. Préparation et phase de fermentation

La préparation de la bouillie consiste dans un premier temps à mettre la farine en contact avec de l'eau (empâtage) dans une proportion de 10 kg/20 l, suivie de deux phases de cuisson. La première phase de cuisson dure 25 à 30 minutes et amène la pâte à une température maximale de 75°C. L'eau utilisée au cours de cette phase est l'eau de macération.

La deuxième phase de cuisson est amorcée après ajout de 25 litres d'extrait des lianes d'*Abrus pulchellus*. La cuisson est réalisée à 95°C pendant 40 minutes et permet d'obtenir après refroidissement un « Boumkaye brut » qui peut être consommé (Figure 12). Cependant ce produit intermédiaire est conservé à température ambiante, pour subir une fermentation pendant 4 à 7 jours pour donner le « Boumkaye » proprement-dit (Figure 13).

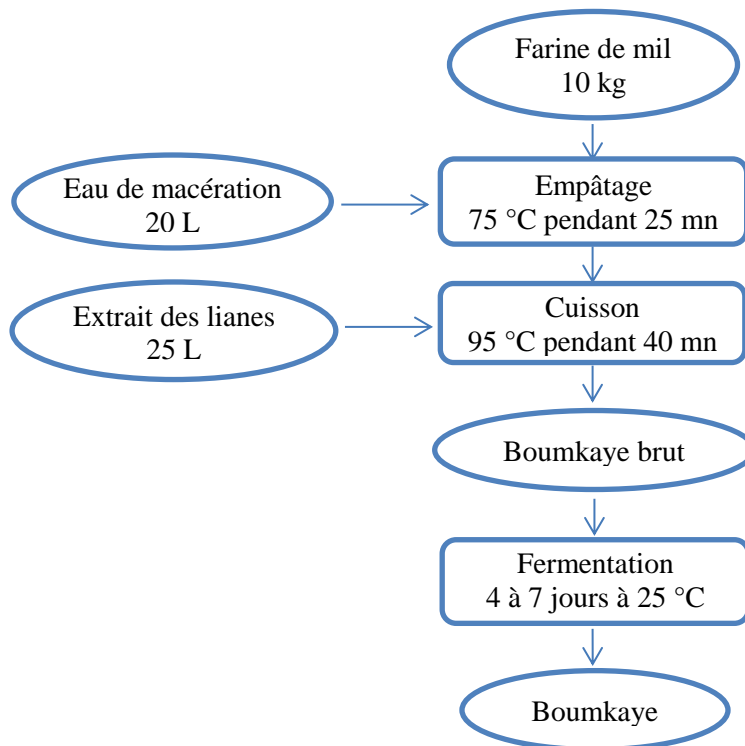


Figure 12 : Diagramme de fabrication du « Boumkaye »



Figure 13 : La boisson « Boumkaye »

Les procédés traditionnels (« Tchapalo », « Ikigage », « Pito ») comme ceux industriels, sont surtout marqués par les étapes successives de maltage, de brassage et de fermentation (Figure 14). Celles-ci atteignent ainsi des teneurs en alcool de l'ordre de 4,1 à 5,03 g/100g pour le « Tchapalo » [20, 110, 114] ; 2,3 pour le « Dolo » [23, 117] et 2,2 pour le « Ikigage » [29] avant d'être consommées. Le but du brassage est de solubiliser les composés bioactifs et la fermentation s'opère après ajout de levains [118].

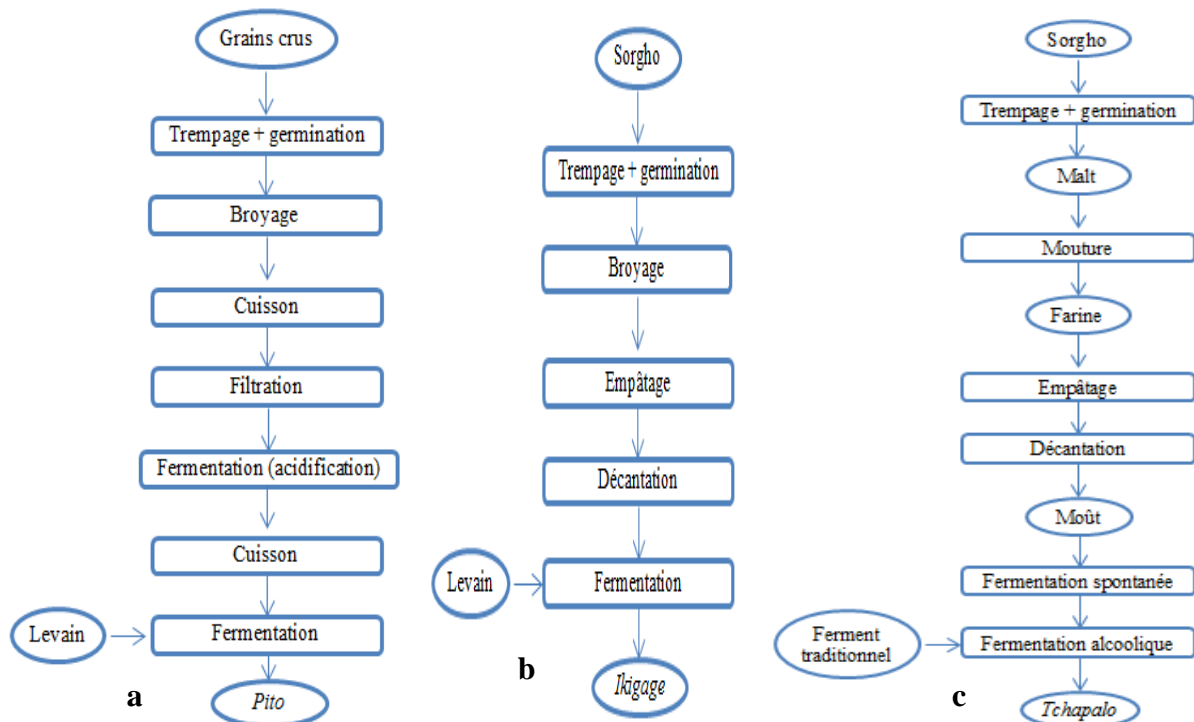


Figure 14 : Diagrammes de fabrication de boissons fermentées africaines : (a) « Pito » ; (b) « Ikigage » et (c) « Tchapalo » [20, 23, 26]

Le procédé de fabrication de la boisson de mil dite « Boumkaye » est différent et présente des particularités que sont l'absence de maltage, une étape de brassage sans séparation du drèche et l'usage d'extraits aqueux d'origine végétale. Les lianes d'*Abrus pulchellus* subissent une macération dont le but est de les ramollir afin de faciliter l'étape de trituration. L'étape de trituration-trempage peut être considérée comme la phase d'extraction proprement dite des éléments actifs nécessaires à la fabrication du « Boumkaye ». L'empâtage est une phase de solubilisation et d'hydrolyse de l'amidon contenu dans la farine de mil. Il est effectué à chaud pour permettre l'activation des différentes enzymes issues de l'extrait de *Abrus pulchellus*, responsables de la conversion de l'amidon en sucres simples fermentescibles.

Ainsi le « Boumkaye » obtenu conserve tous les ingrédients (nutriments et fibres) du mil et constitue par conséquent un véritable aliment plus qu'une boisson. La durée de cuisson est aussi réduite par rapport au procédé du « Tchapalo » et du « Dolo » [20, 23]. La fermentation intervient au cours de la conservation de la bouillie à température ambiante (25°C) sans ajout de ferments. Il s'agit donc d'une phase de maturation où la boisson acquiert ses propriétés organoleptiques caractéristiques. Ces diverses biotransformations seraient probablement amorcées par des germes soit endogènes au mil, soit provenant de l'extrait des lianes d'*Abrus pulchellus*.

Les analyses microbiologiques des boissons « Boumkaye » ont montré la présence des levures à des valeurs de 55.10^5 à 150.10^5 UFC/ml et des bactéries lactiques à des valeurs de 120.10^6 à 170.10^6 UFC/ml (Tableau XI). Dans le cas du « Tchapalo » et du « Dolo » il est utilisé les extraits de tiges de gombo *Hibiscus esculentus*. Il est alors tenté de déduire que l'étape de brassage est réalisée par l'extrait aqueux d'*Abrus pulchellus*. Ceci laisse supposer la présence d'enzymes hydrolytiques dans cet extrait.

Tableau XI : Les microorganismes dénombrés dans la boisson « Boumkaye » en UFC/ml

	« Boumkaye » 1	« Boumkaye » 2
Flore totale	7.10^6	22.10^6
Levures	55.10^5	150.10^5
Moisissures	00	00
Bactéries lactiques	170.10^6	120.10^6

III.2. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques

Les produits collectés lors des étapes du procédé de fabrication ont été analysés. Il s'agit des farines de mil et des boissons « Boumkaye ».

III.2.1. La farine de mil de la production

La farine de mil est la matière première utilisée dans la fabrication du « Boumkaye ». Elle a été obtenue après mouture, broyage et tamisage. Les deux farines étudiées proviennent des deux sites diagnostiqués dans le cadre des travaux de recherche sur le « Boumkaye » (Tableau XII).

Tableau XII : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de la farine de mil

Paramètres	Farine 1	Farine 2
Activité de l'eau	0,74 ± 0,01 ^a	0,73 ± 0,00 ^a
Matière sèche (g/100g)	90,43 ± 0,34 ^a	67,83 ± 0,05 ^b
Cendres (g/100g)	0,64 ± 0,00 ^a	0,79 ± 0,00 ^b
pH	4,11 ± 0,05 ^a	4,46 ± 0,01 ^b
Acidité titrable (mEq/100g)	10,23 ± 0,36 ^a	16,1 ± 1,07 ^b
Polyphénols (mg acide gallique/100g)	79,44 ± 0,00 ^a	149,6 ± 0,00 ^a
Sucres réducteurs (g/100g)	2,39 ± 0,01 ^a	0,45 ± 0,00 ^b
Sucres totaux (g/100g)	2,71 ± 0,02 ^a	0,51 ± 0,16 ^b
Protéines (g/100g)	16,76 ± 0,00 ^a	3,19 ± 0,00 ^b

Les farines de mil sont relativement acides avec un pH de 4. Cela se traduit par des acidités titrables de 10,23 et 16,1 mEq/100g. Les teneurs en matière sèche sont élevées (farine 1 : 90,43 % ; farine 2 : 67,83 %) probablement dues aux conditions de préparation. Malgré les différences analytiques remarquées en termes de polyphénols, l'analyse de la variance (ANOVA) révèle que la différence est non significative. La teneur en sucres totaux de la farine 1 est 4 fois plus élevée que celle de la farine 2. Cet écart pourrait être imputé à la qualité des matières premières et/ou aux conditions de préparation et de conservation. De manière traditionnelle, les farines de mil sont laissées fermentées quelques heures en fonction de la préparation. Ce degré de fermentation justifie les différences notées en sucres réducteurs et en acidité titrable.

III.2.2. Caractéristiques physico-chimiques du « Boumkaye brut »

Les boissons « Boumkaye » obtenues lors des diagnostics ont fait l'objet de caractérisations physico-chimiques, biochimiques et nutritionnelles dont les résultats sont présentés dans le tableau XIII. Les produits ont un pH acide de 4 et une acidité titrable comprise entre 1,62 et 3,4 mEq/100g. Ces résultats ont prouvé que les boissons étaient relativement non acides et très favorables aux différentes réactions de fermentation. Les sucres totaux sont en très faibles quantités (1,2 à 2,1 g/100g) et les polyphénols de 31,86 et 54,46 mg/100g. Les deux essais de production de « Boumkaye » révèlent des différences significatives des constantes à l'exception des polyphénols, de la matière sèche et des matières minérales.

Tableau XIII : Caractéristiques physicochimiques et biochimiques du « Boumkaye brut »

Analyse	« Boumkaye » 1	« Boumkaye » 2
Matière sèche (g/100g)	9,84 ± 0,07 ^a	11,47 ± 0,01 ^b
Cendres (g/100g)	0,69 ± 0,19 ^a	0,88 ± 0,19 ^a
pH	4,62 ± 0,13 ^a	4,26 ± 0,00 ^b
Acidité titrable (mEq/100g)	1,62 ± 0,17 ^a	3,4 ± 0,2 ^b
Polyphénols (mg acide gallique/100g)	31,86 ± 0,01 ^a	54,46 ± 0,01 ^a
Sucres réducteurs (g/100g)	0,93 ± 0,1 ^a	0,42 ± 0,01 ^b
Sucres totaux (g/100g)	1,04 ± 0,00 ^a	2,1 ± 0,02 ^b
Protéines (g/100g)	2,39 ± 0,00 ^a	10,37 ± 0,00 ^b

III.3. Etude de la maturation de la boisson « Boumkaye »

Les boissons collectées lors des diagnostics ont été conservées à température ambiante (25°C). Les paramètres analysés étaient liés aux réactions de fermentation et au vieillissement de « Boumkaye ». Ainsi, le pH (Figure 15), l'acidité titrable (Figure 16) et la teneur en éthanol (Figure 17) ont été suivis dans plusieurs lots de « Boumkaye brut ». Les valeurs obtenues à partir des produits étudiés reflètent un pH acide. Cette valeur de pH pourrait être expliquée par la consommation des sucres lors du processus de fermentation. Au cours du vieillissement, l'augmentation de la teneur en acides pourrait s'expliquer par une fermentation lactique, une conversion des sucres réducteurs en acides organiques (Figure 15). Dans le même temps, une fermentation alcoolique a eu lieu, expliquant l'augmentation de la concentration en éthanol (en moyenne 5 g/100g) (Figure 17).

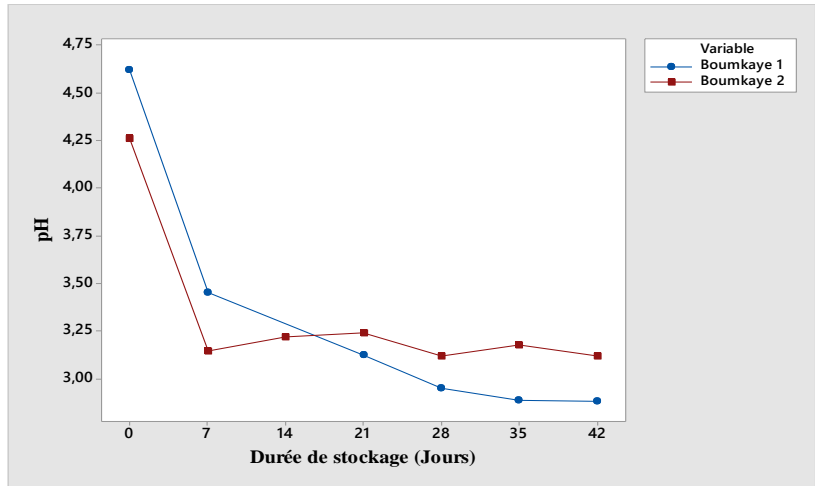


Figure 15 : Evolution du pH pendant la maturation du « Boumkaye »

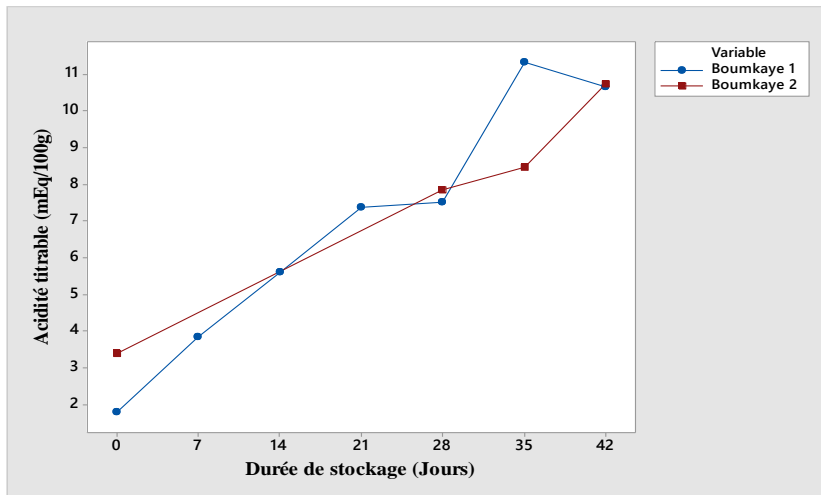


Figure 16 : Evolution de l'acidité titrable pendant la maturation du « Boumkaye »

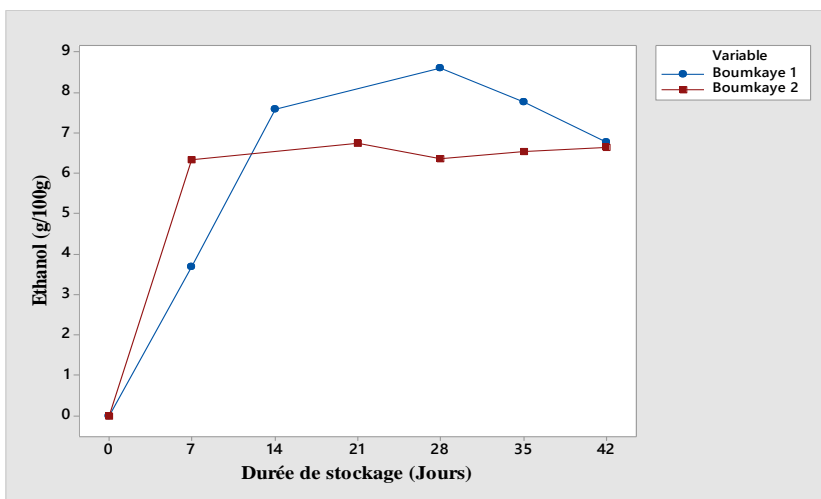


Figure 17 : Evolution de la teneur en éthanol pendant la maturation du « Boumkaye »

De nombreuses réactions se produisent pendant la fermentation résultant de la diminution des sucres réducteurs. Cette consommation se reflète sur le pH qui diminue avec la maturation, en raison des effets combinés de l'éthanol et des acides organiques. Le pH exerce d'abord une action sélective sur la microflore susceptible de se développer dans le milieu. Le pH plus bas protège la boisson du développement de toute flore pathogène sans inhiber l'activité de la levure. De plus, certains auteurs affirment qu'une inhibition importante se produirait à pH très acide (pH inférieur à 3) [121, 122].

Par conséquent, la diminution du pH, par l'apparition de produits de fermentation (acide ou alcool), réduit le taux de consommation du substrat carboné (sucres réducteurs) et portant ainsi à la réduction de la productivité [123]. Ainsi, l'éthanol devient toxique pour les microorganismes au-delà d'une certaine valeur. Ceci justifie le pH limitant de 3 du « Boumkaye » comme la plupart des boissons africaines traditionnelles [124–127], contrairement aux bières industrielles contenant du houblon [128]. Il est à distinguer, selon leur composition et leur apparence, deux types de bières traditionnelles : les bières douces, relativement légères et peu acides ; les bières brunes et opaques ressemblant à du porridge fluide. La principale différence entre ces deux catégories de bière est liée à la durée de la fermentation lactique [129]. De plus, les travaux sur la bière traditionnelle rwandaise « Ikigage » ont prouvé l'influence bénéfique des levures de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae* et des bactéries lactiques (*Lactobacillus fermentum*) sur le goût et l'arôme [130].

Dans le cas de « Tchapalo » ivoirien, la production de bactériocines par des bactéries lactiques inhibe le développement et la croissance de nombreux germes pathogènes du genre *Lactobacillus*, *Listeria*, *Enterococcus*, *Streptococcus* [131]. Le « Boumkaye » fermenté se caractérise par une teneur en éthanol comparable à celle du « Tchapalo » à base de sorgho ($5,03 \pm 0,77\text{g}/100\text{g}$) [124, 132], contrairement au « Dolo » ($2,3 \pm 0,25\text{g}/100\text{g}$) [133].

En résumé, le « Boumkaye » acquiert ses propriétés caractéristiques d'une étape de maturation (28 jours), marquée par une double fermentation. Les mêmes conclusions ont été tirées de nombreux procédés empiriques de fabrication de boissons fermentées traditionnelles [125, 132, 133].

Par ailleurs, les boissons traditionnelles préparées à partir du mil, du sorgho, du riz et du maïs jouent un rôle parfois central dans les cultures des peuples. En effet, souvent attachées aux traditions d'hospitalité et de convivialité, elles servent à sceller des relations entre les individus [114].

Cependant le « Boumkaye » à l'origine est préparé et utilisé en thérapie contre les fièvres et les maux de ventre. En effet, des renseignements ethnobotaniques et ethno taxonomiques révèlent qu'étymologiquement le nom local d'*Abrus pulchellus* est « Kaboune » et signifie « médicament » en langue Diola. Progressivement son usage s'est étendu lors des célébrations festives telles que les fêtes de récolte et d'initiation. De nos jours, le « Boumkaye » fait l'objet d'une activité lucrative dans les grandes villes et est consommé en dehors des périodes festives.

III.4. Essais de stabilisation à l'autoclave de la boisson « Boumkaye »

Les essais de stabilisation à l'autoclave avaient porté sur un « Boumkaye » brut et un « Boumkaye » fermenté (Figure 18). Ces différentes boissons ont été caractérisées et suivies au niveau physico-chimique et microbiologique afin d'évaluer l'impact du traitement thermique sur leurs propriétés nutritionnelles et sanitaires.



Figure 18 : Les boissons à base de mil : (a) « Boumkaye » brut ; b) « Boumkaye » fermenté

III.4.1. Caractéristiques des boissons « Boumkaye » stérilisées

La caractérisation initiale des boissons « Boumkaye » avait pour objectif de définir l'impact du traitement thermique sur les qualités nutritionnelles et organoleptiques (Tableau XIV).

La stérilisation n'a pas eu d'impact significatif sur les paramètres physico-chimiques et biochimiques du « Boumkaye » brut, à l'exception des indices de jaunissement et de brunissement. Pour le « Boumkaye » fermenté, un impact a été remarqué sur les cendres, la matière sèche et l'indice de brunissement.

Les différences ont été surtout notées en termes de polyphénols (251 mg/100g pour les produits non stérilisés, à 326 mg/100g pour les produits stérilisés) et d'indices de couleur qui augmentent de manière significative dans le « Boumkaye » fermenté. Les valeurs de pH et d'acidité titrable ont augmenté après la stérilisation du « Boumkaye » fermenté.

L'efficacité du traitement thermique est évaluée par la qualité microbiologique du produit après autoclavage. Différents germes ont été recherchés et les résultats consignés dans le tableau XV.

La caractérisation microbiologique montre une prépondérance des bactéries lactiques et des levures dans les boissons non stérilisées au détriment des moisissures. Aucun germe n'a été trouvé après le traitement thermique. Cela prouve bien, l'efficacité de la méthode de stabilisation à l'autoclave.

Tableau XIV : Caractéristiques du « Boumkaye » brut et du « Boumkaye » fermenté avant et après stérilisation

Paramètres	« Boumkaye » brut		« Boumkaye » fermenté	
	non stérilisé	Stérilisé	non stérilisé	stérilisé
pH	6,31 ± 0,01 ^a	6,31 ± 0,01 ^a	3,52 ± 0,02 ^b	3,63 ± 0,04 ^c
Matière sèche (g/100g)	10,41 ± 0,24 ^a	10,64 ± 0,52 ^a	15,44 ± 0,51 ^b	14,94 ± 0,10 ^b
Acidité titrable (mEq/100g)	1,24 ± 0,00 ^a	1,09 ± 0,12 ^a	8,94 ± 0,00 ^b	7,97 ± 0,24 ^c
Cendres (g/100g)	0,29 ± 0,11 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	0,24 ± 0,03 ^a	0,24 ± 0,03 ^a
Sucres totaux (g/100g)	0,33 ± 0,03 ^a	0,41 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,00 ^b	0,16 ± 0,00 ^c
Sucres réducteurs (g/100g)	0,30 ± 0,01 ^a	0,37 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,02 ^b	0,13 ± 0,02 ^c
Polyphénols (mg acide gallique/100g)	82,95 ± 7,54 ^a	86,79 ± 8,69 ^a	251,61 ± 5,87 ^b	326,01 ± 3,17 ^c
Ethanol (g/100g)	-	-	3,04 ± 0,07 ^a	3,59 ± 0,17 ^b
Indice de jaunissement	31,71 ± 0,17 ^a	36,14 ± 0,02 ^b	42,35 ± 0,04 ^c	41,69 ± 0,00 ^d
Indice de brunissement	31,46 ± 0,25 ^a	39,08 ± 0,00 ^b	46,36 ± 0,07 ^c	46,74 ± 0,00 ^c

Tableau XV : Evaluation microbiologique des boissons « Boumkaye » avant et après stérilisation

	« Boumkaye » brut		« Boumkaye » fermenté	
	non stérilisé	stérilisé	non stérilisé	Stérilisé
Flore totale	40000	0	360.10 ⁶	0
Bactéries lactiques	3300	0	6.10 ⁶	0
Levures	20000	0	19.10 ⁶	0
Moisissures	0	0	0	0

Les caractéristiques des boissons « Boumkaye » autoclavées reflètent l'efficacité de la stérilisation qui doit certainement assurer une qualité sanitaire mais tout en préservant les propriétés nutritionnelles. Cependant, les traitements thermiques peuvent conduire à des changements physico-chimiques et biochimiques plus ou moins significatifs. Les différences notées entre les boissons brutes et fermentées sont liées à la maturation du « Boumkaye » fermenté. Le « Boumkaye » brut est considéré comme un produit intermédiaire mais peut contenir les mêmes propriétés thérapeutiques (antihelminthique, antioxydant) que le « Boumkaye » fermenté. La boisson « Boumkaye » brute est sans alcool, ce qui est un atout contre les barrières culturelles.

En outre, de son utilisation première en tant que boisson alcoolisée, le « Boumkaye » fermenté possède davantage de propriétés nutritionnelles vu sa teneur en polyphénols plus élevée. Des recherches antérieures sur les céréales ont montré qu'une importante partie des composés phénoliques est présente dans les composés conjugués, sous forme solubles ou liés et insolubles. Le traitement thermique induit l'hydrolyse des composés phénoliques conjugués, ce qui entraîne la libération des acides phénoliques libres et augmente donc la quantité de composés phénoliques bio-disponibles [134–136]. Les indices chromatiques notés et corrélés avec la couleur jaune, augmenteraient considérablement son acceptation sensorielle. Les bières industrielles offrent une vaste gamme de couleurs de l'or pâle au noir. La couleur est aussi un critère d'acceptabilité des produits par les consommateurs

III.4.2. Etude de la stabilité des boissons « Boumkaye » stérilisées

Les boissons « Boumkaye » stérilisées ont été stockées à 4 et 25 °C suivies pendant une année au niveau physico-chimique et microbiologique.

L'étude de stabilité a été faite pour définir les conditions optimales température/durée de conservation des boissons à base de mil. Il en résulte une stabilité du « Boumkaye » brut et du « Boumkaye » fermenté pendant toute la durée du stockage et quelle que soit la température pour les paramètres physico-chimiques et microbiologiques. En effet, il n'y avait pas de différences significatives entre les résultats obtenus lors de l'étude de vieillissement. La température 4°C a les mêmes niveaux de conservation que la température 25°C (Figures 19, 20, 21, 22 et 23). Le « Boumkaye » brut et le « Boumkaye » fermenté ont été exemptés de germes lors de l'étude de stabilité.

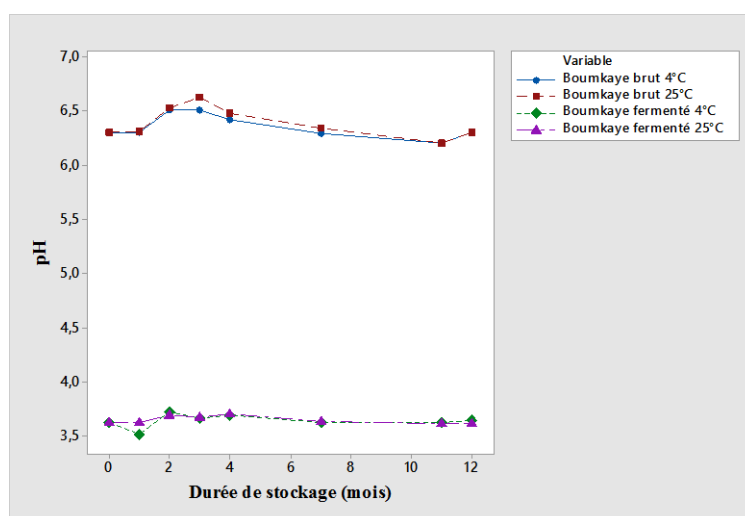


Figure 19 : Evolution du pH en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

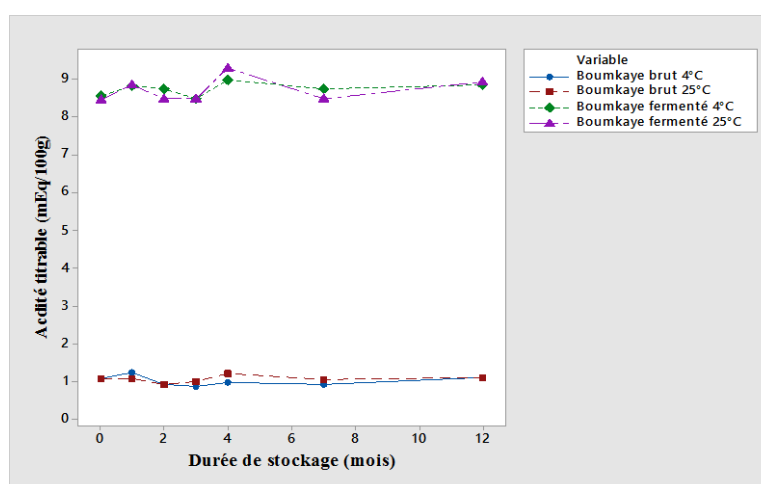


Figure 20 : Evolution de l'acidité titrable en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

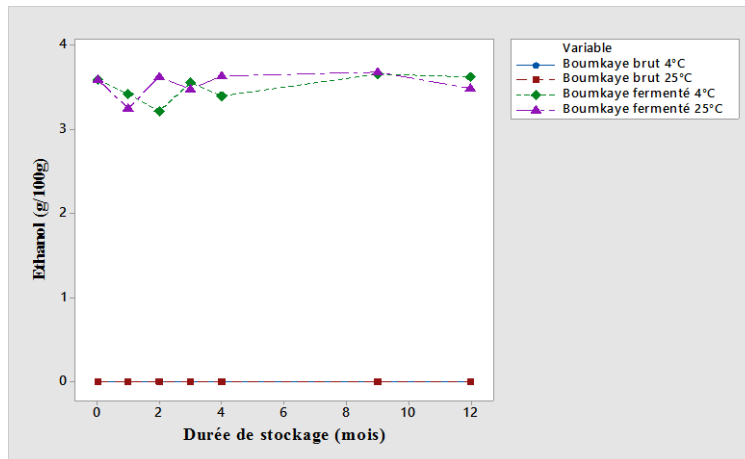


Figure 21 : Evolution de la teneur en éthanol en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

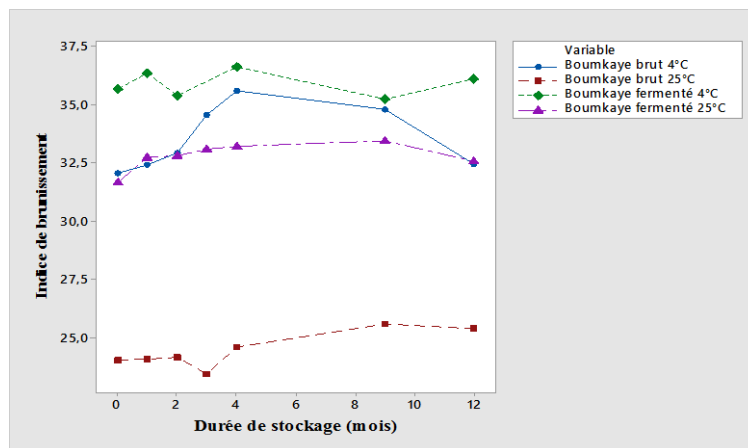


Figure 22 : Evolution de l'indice de brunissement en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

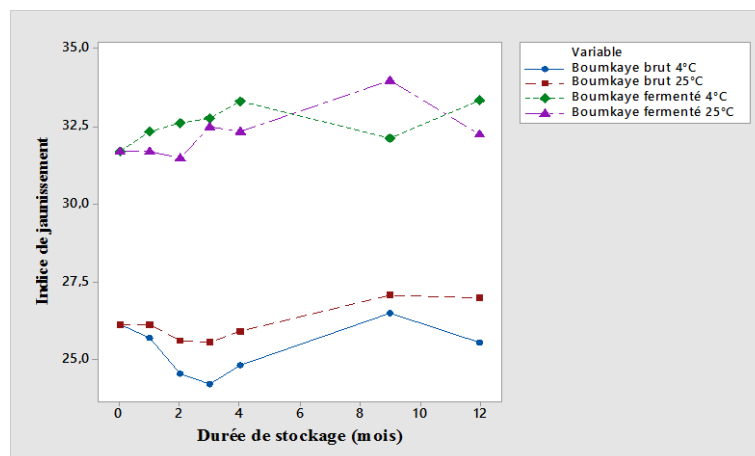


Figure 23 : Evolution de l'indice de jaunissement en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

La plupart des bières traditionnelles africaines posent de nombreux risques en raison de la nature spontanée de la fermentation [52, 127]. Les moûts sont principalement inoculés avec un levain traditionnel [52, 127, 133]. La bière résultante a une qualité sanitaire douteuse en raison du manque de contrôle des germes présents. La fabrication de la boisson « Boumkaye » a la particularité d'incorporer une espèce médicinale *Abrus pulchellus*, qui a des effets positifs sur la stabilité et la sélection de la flore de « Boumkaye ».

Les bières autochtones africaines sont caractérisées par une infection et une prolifération de levures et de bactéries à des niveaux multiples [137]. Ces micro-organismes indésirables (*Acetobacter*) produisent de l'acide acétique, des arômes volatils, des arômes fruités et des pellicules qui rendent le goût, l'odeur et la texture inacceptables pour les consommateurs. De plus, il n'existe pas de méthodes de stabilisation différenciées pour ces bières locales, ce qui entraîne une poursuite de la fermentation jusqu'à la consommation [5]. Dans le cas du « Tchapalo » à base de sorgho, une fermentation alcoolique a lieu, accompagnée d'une fermentation lactique naturelle. Les bières ainsi obtenues ne peuvent être conservées au frais que pour réduire la croissance microbienne [123]. Le « Boumkaye » autoclavé est exempt de germes jusqu'à la fin du suivi et la boisson peut être conservée à 25°C (température ambiante) pendant au moins 1 an. Ce qui constitue un avantage considérable pour une exploitation industrielle future.

III.5. Optimisation de la fabrication de la boisson « Boumkaye »

Le « Boumkaye » est surtout consommé pour ses propriétés thérapeutiques liées à *Abrus pulchellus* utilisées lors des procédés de fabrication [134]. *Abrus pulchellus* Wall est une plante médicinale appartenant à la famille des Fabacées. Les feuilles et les lianes d'*Abrus pulchellus* sont largement utilisées en médecine traditionnelle pour leurs vertus antioxydantes, antibactériennes et anthelminthiques [72, 135]. Dans la littérature de telles propriétés ont été rapportées pour des remèdes phytothérapeutiques riches en tanins [136–139].

L'extraction des principes actifs des lianes est une étape difficile et demande beaucoup de manutention. Elle est liée fortement aux qualités anthelminthiques prêtées au « Boumkaye ». Aussi, la double cuisson pratiquée reste incompatible avec la préservation des qualités nutritionnelles et organoleptiques.

III.5.1. Optimisation de l'extraction des principes actifs des lianes d'*Abrus pulchellus*

L'optimisation de l'extraction était basée sur les composés phytochimiques des lianes d'*Abrus pulchellus* (Figure 24). Plusieurs conditions ont été testées pour extraire les tanins et les polyphénols, et comparées à l'extraction traditionnelle (Tableau XVI). Le ratio lianes/eau était de 0,2g/100ml correspondant aux proportions décrites dans la fabrication du « Boumkaye ». Les tanins (Figure 25) et les polyphénols (Figure 26) ont été alors suivis lors de l'extraction aqueuse chaque 2 heures pendant 4 jours.



Figure 24 : *Abrus pulchellus* : (a) lianes entières; (b) Lianes broyées

Tableau XVI : Conditions d'extraction des principes actifs des lianes d'*Abrus pulchellus*

	Lianes d' <i>Abrus pulchellus</i>	Température (°C)
Extrait 1	Entières	25
Extrait 2	Broyées	25
Extrait 3	Broyées	80

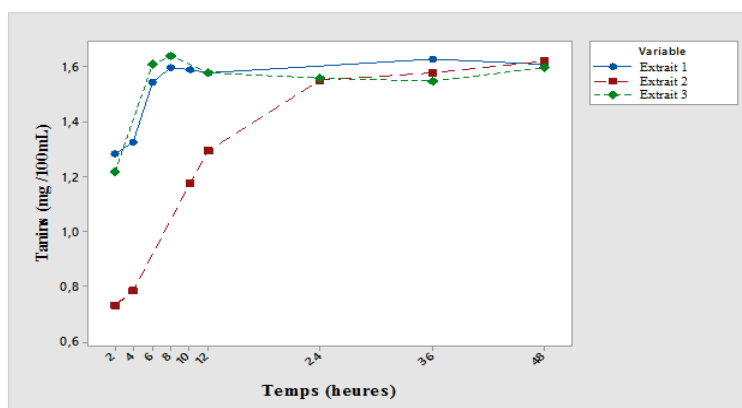


Figure 25 : Suivi de la concentration en tanins au cours de la macération des lianes d'*Abrus pulchellus*

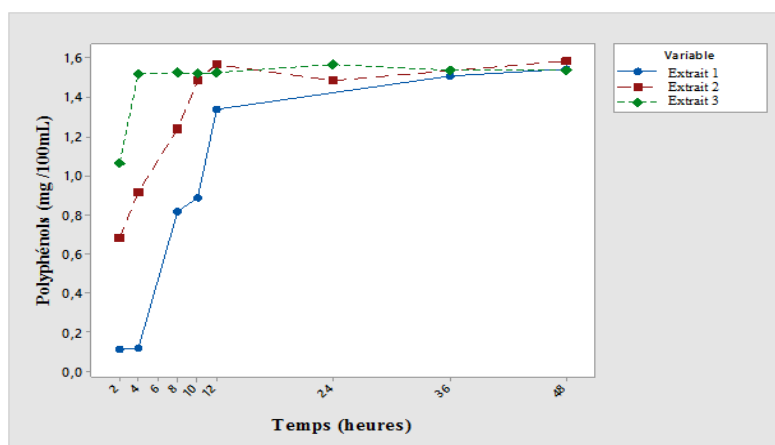


Figure 26 : Suivi de la teneur en polyphénols au cours de la macération des lianes d'*Abrus pulchellus*

Le suivi des composés phytochimiques a montré que l'extraction est optimale au bout de 4 heures. Les concentrations en tanins sont de 1,6 et 1,3 mg/100ml pour les extraits de lianes broyées ; 1,5 mg/100ml pour l'extrait de lianes entières. Les teneurs en polyphénols maximales sont respectivement de 1,2 ; 1,51 et 1,57 mg/100ml. La température de 80°C offre les concentrations les plus élevées en molécules antioxydantes. Cependant, le broyage des lianes d'*Abrus pulchellus* Wall n'a pas d'impacts significatifs sur le temps et le rendement d'extraction.

Les tanins et les polyphénols présentent une plus grande affinité avec les solvants organiques : acétone, éthyl acétate [136, 137] ; les alcools : éthanol, méthanol [137] ou l'eau en présence d'acide (HCl) ou de bases (NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃) [137–139]. Les rendements d'extraction varient considérablement en fonction du solvant, du temps et de la méthode d'extraction (macération ou micro-onde). Cependant des essais d'extraction de tanins et de polyphénols sur les écorces d'*Acacia mollissima* et les écorces de *Lathyrus maritimus* L. montrent un meilleur rendement pour les alcools comparés à l'eau et aux solvants organiques [136, 137]. Les teneurs en tanins et en polyphénols trouvées dans les lianes d'*Abrus pulchellus* sont alors comparées à celles trouvées dans d'autres plantes (Tableau XVII). Les extraits des lianes d'*Abrus pulchellus* Wall ont des teneurs en tanins plus élevées que les écorces d'*Acacia mollissima* et *Lathyrus maritimus* réputées riches en composés tanniques [137, 138].

Tableau XVII : Comparaison des concentrations en polyphénols et tanins obtenus par extraction aqueuse

Echantillons	Tanins (g/100g) ^a	Polyphénols (g/100g) ^b
Lianes entières <i>Abrus pulchellus</i>	1,50	1,20
Lianes broyées <i>Abrus pulchellus</i>	1,60	1,57
Ecorces d' <i>Acacia mollissima</i>	0,35	43,79
Ecorces de <i>Lathyrus maritimus</i>	0,015	-

^a : Tanins en g équivalent acide tannique/100g

^b : Polyphénols en g équivalent acide gallique/100g

En résumé, l'extraction des composés phytochimiques des lianes d'*Abrus pulchellus* est optimale au bout de 4 heures comparée à la méthode traditionnelle de 4 jours. Le macérât des lianes broyées pourrait permettre de simplifier la deuxième phase de fabrication basée sur l'incorporation de l'extrait aqueux dans du « Boumkaye » brut.

III.5.2. Optimisation de la phase de préparation du « Boumkaye »

La deuxième phase de la production de la boisson « Boumkaye » est caractérisée par des étapes d'empâtage et de cuisson à température élevée (90 – 100°C). Ces dernières sont à l'origine de diverses altérations nutritionnelles et antioxydantes. Ainsi, l'optimisation a consisté à ramener ces deux étapes en une cuisson unique partant des extraits optimisés d'*Abrus pulchellus*.

III.5.3. Caractéristiques physico-chimiques du « Boumkaye » optimisé

Les optimisations proposées sur le procédé de fabrication du « Boumkaye » ont permis de produire deux types de boissons (« Boumkaye » optimisé 1 et « Boumkaye » optimisé 2) partant respectivement des extraits aqueux des lianes broyées macérées à 25 et 80°C. Leurs différentes caractéristiques physico-chimiques ont été évaluées et comparées à celles d'un « Boumkaye » témoin (Tableau XVIII).

Tableau XVIII : Caractéristiques physico-chimiques des boissons « Boumkaye »

Paramètres	« Boumkaye » témoin	« Boumkaye » optimisé 1	« Boumkaye » optimisé 2
pH	6,65 ± 0,01 ^a	6,54 ± 0,00 ^b	6,34 ± 0,00 ^{a,b}
Acidité titrable (mEq/100g)	2,17 ± 0,11 ^a	2,39 ± 0,11 ^a	2,23 ± 0,06 ^a
Matière sèche (g/100g)	10,41 ± 0,24 ^a	10,64 ± 0,52 ^a	10,24 ± 0,32 ^a
Sucres réducteurs (g/100g)	0,30 ± 0,01 ^a	0,37 ± 0,01 ^a	0,57 ± 0,01 ^a
Polyphénols (mg acide gallique/100g)	107,43 ± 2,43 ^a	107,61 ± 1,77 ^a	97,05 ± 2,35 ^a
Tanins (mg acide tannique/100g)	52,42 ± 1,12 ^a	55,80 ± 1,75 ^a	45,04 ± 3,68 ^b
Indice brun	29,74 ± 0,15 ^a	32,24 ± 0,02 ^b	32,12 ± 0,03 ^b
Indice de jaunissement	29,63 ± 0,11 ^a	31,24 ± 0,00 ^b	33,44 ± 0,01 ^b

Les boissons « Boumkaye » témoin et « Boumkaye » optimisés 1 et 2 sont assez similaires du point de vue physico-chimique et biochimique. Ces caractéristiques en polyphénols sont respectivement 107,43 ; 107,61 et 97,05 mg/100g et celles en tanins : 52,42 ; 55,80 et 45,04 mg/100g. Ces valeurs en tanins et polyphénols ne présentent pas de différences significatives. Ce qui témoigne de l'efficacité de l'optimisation de l'extraction des principes des lianes d'*Abrus pulchellus*.

III.5.4. Etudes de la maturation du « Boumkaye » optimisé

Les boissons « Boumkaye » ont été conservées à température ambiante (25°C) et suivies pendant un mois. L'évolution du pH (Figure 27), de l'acidité titrable (Figure 28) et de la teneur en éthanol (Figure 29) des boissons optimisées et témoin suit les tendances décrites lors des travaux de diagnostic et de caractérisation du « Boumkaye ». Les concentrations en tanins (Figure 30) et en polyphénols (Figure 31) ont également été suivies au cours de la maturation.

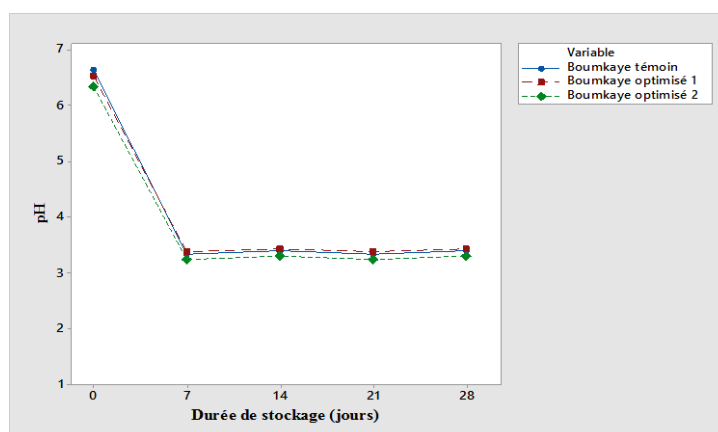


Figure 27 : Evolution du pH en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

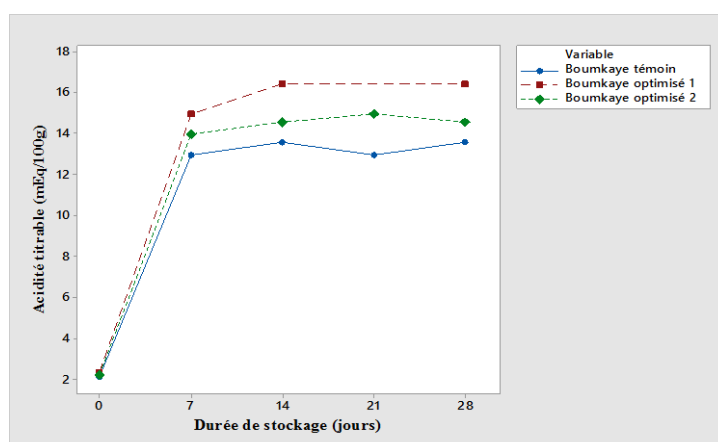


Figure 28 : Evolution de l'acidité titrable en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

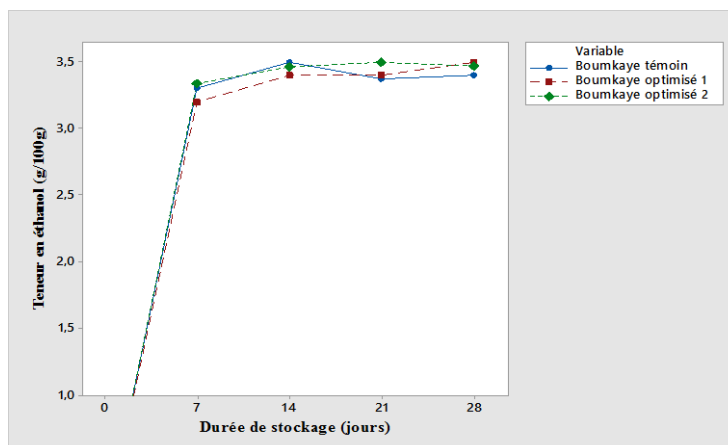


Figure 29 : Evolution de la teneur en éthanol en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

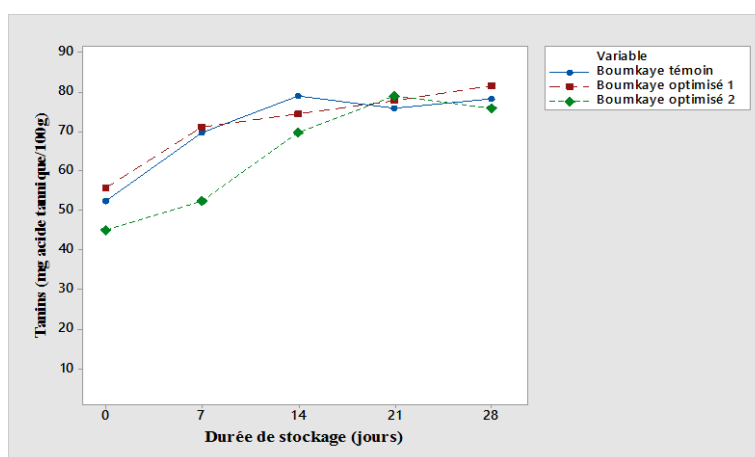


Figure 30 : Evolution de la concentration en tanins en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

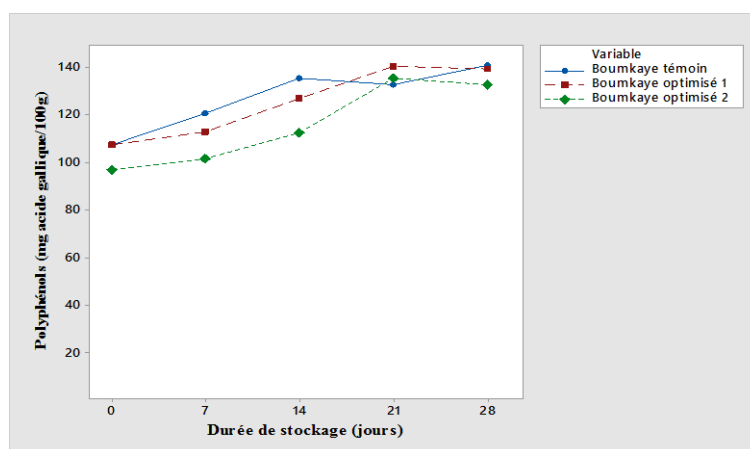


Figure 31 : Evolution de la concentration en polyphénols en fonction de la durée de stockage du « Boumkaye »

Le pH acide est lié à la maturation des boissons « Boumkaye » avec production d'acides et d'éthanol. La forte acidité a pour avantage d'assurer la stabilité microbiologique en inhibant le développement des germes pathogènes [121, 122]. Les levures et les bactéries lactiques du « Boumkaye » sont toutefois susceptibles d'amorcer les fermentations alcoolique et lactique. De plus, les boissons « Boumkaye » optimisées permettent d'aboutir à la même qualité nutritionnelle que l'échantillon témoin.

Dans les procédés traditionnels, l'utilisation des extraits végétaux est une étape délicate influençant fortement la qualité des bières finies. L'extrait aqueux d'*Hibiscus esculentus* utilisé comme agent de clarification dans la fabrication du « Tchapalo » entraîne une augmentation de la matière sèche et de la turbidité [20]. Dans le cas du « Dolo », des écorces de gombo sont incorporées pour faciliter la séparation des drêches du moût primitif [5]. L'extrait aqueux des lianes d'*Abrus pulchellus* du « Boumkaye » intervient également dans la production d'enzymes amylolytiques indispensable au brassage. Dans le cas du « Dolo », certaines méthodes de fabrication utilisent des extraits de bulbes d'*Abelmoschus esculentus*, *Curculigo pilosa*, *Gladiolus klattianus* ; ou de feuilles d'*Adansonia digitata* et *Boscia senegalensis*, pour augmenter l'apport en enzymes amylolytiques [17, 139].

IV. « BESSOUDIOURY » A BASE DE MIEL

IV.1. Procédé de fabrication

La préparation de l'hydromel « Bessoudioury » a été étudiée sur trois sites de production de la région de Kédougou (Sénégal) en décembre 2017. La méthode de préparation de « Bessoudioury » (Figure 32) consiste à chauffer le miel, une étape de formulation en ajoutant du vin de rônier (*Borassus akeassii*) ou du vin de palme (*Elaeis guineensis*) suivi d'une fermentation.

La fabrication de l'hydromel des « Bassari » débute par une dilution du miel au ratio 1/1 (v/v) avec de l'eau. Le mélange subit alors une cuisson de 1h30mn à une température maximale de 100°C. Ensuite, ce produit intermédiaire est refroidi jusqu'à 30°C (température ambiante), idéale pour l'incorporation du vin de rônier ou du vin de palme. Enfin, cet extrait est conservé à température ambiante (30°C) pour une étape de fermentation et de maturation de 2 jours (Figure 33).

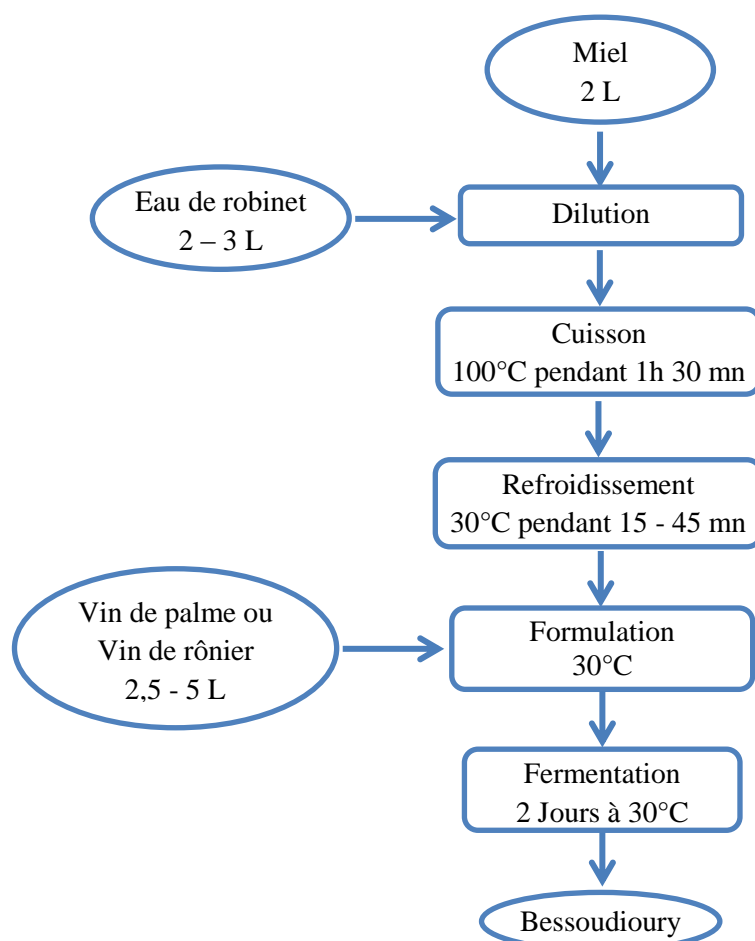


Figure 32 : Diagramme de fabrication de l'hydromel « Bessoudioury »



Figure 33 : L'hydromel « Bessoudioury »

Les méthodes artisanales africaines (Figure 34) se résument pour l'essentiel à une dilution du miel dans de l'eau, une phase de fermentation par ajout de levains traditionnels et une étape de clarification [40, 140]. Dans le cas du « Bessoudioury », la dilution du miel favorise la fermentation du mélange par une réduction de la pression osmotique, inhibitrice de l'activité des levures [37]. Ce ratio (miel/eau) est de 2/5 (v/v) dans le cas de « Tej » [40] et de 1/3 au niveau l'hydromel éthiopien « Ogol » [39]. L'étape de cuisson a pour objectif d'éliminer les composés d'amertume, également la flore autochtone du miel constituée de bactéries (*Bacillus*, *Micrococcus*), de levures (*Saccharomyces spp.*), et de fongiques (*Aspergillus*) [37]. Cette étape réduit certes le risque de fermentations spontanées mais elle est à l'origine de la dégradation des composés thermosensibles tels les acides phénoliques et les flavonoïdes du miel [141]. Aussi, il y a formation de 5-hydroxymethylfurfural (HMF) qui est un produit intermédiaire des réactions de Maillard due aux températures élevées [142, 143]. La durée de cuisson (1h30mn) justifie alors les faibles activités antioxydantes comparées aux hydromels polonais où le taux d'inhibition du DPPH varie de 30 à 70% [143].

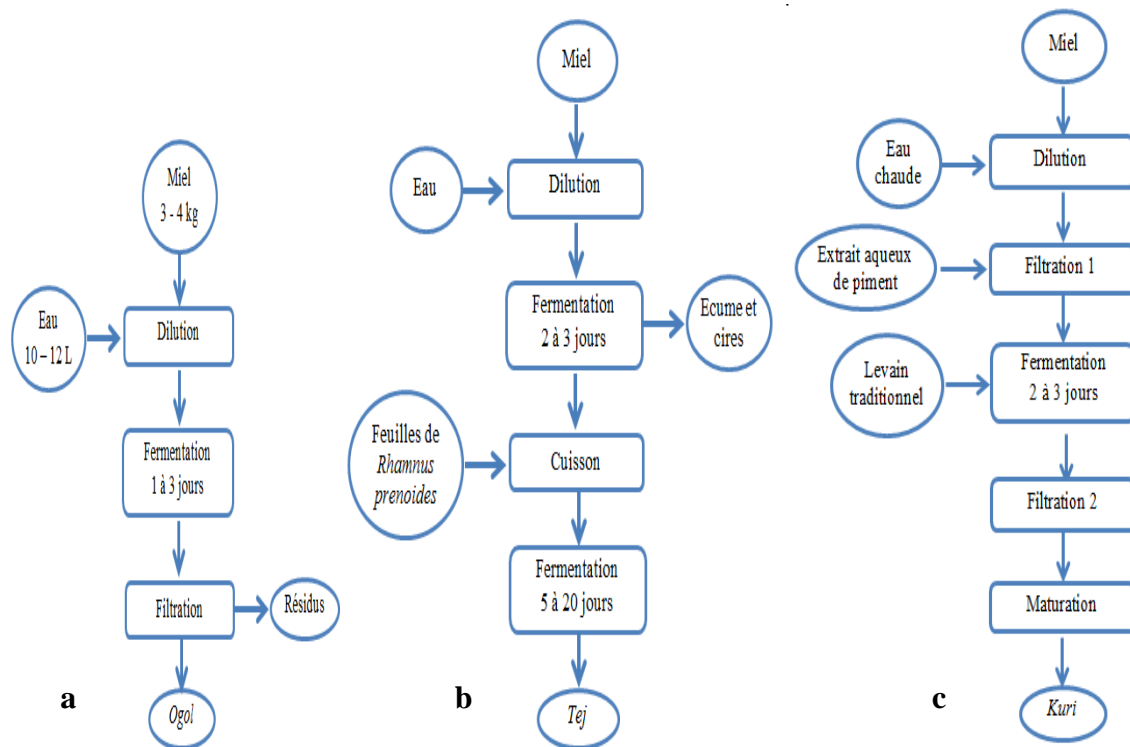


Figure 34 : Diagrammes de fabrication d'hydromels africains : a) *Ogol* ; b) *Tej* et c) *Kuri*

Le mélange eau/miel est inoculé avec un levain traditionnel pour une fermentation de 1 à 3 jours à température ambiante [39, 40]. Pour la production du « Bessoudioury », il n'a pas été décelé une phase d'ajout de ferments. Il est alors tenté de déduire que la formulation permet d'apporter les levures nécessaires à la conversion des sucres en éthanol. En effet, les levures sont présentes dans le vin de rônier et le vin de palme [144–146]. La présence de levures et de bactéries lactiques est bien confirmée par nos résultats à des valeurs de $2,4 \cdot 10^5$ à $5,8 \cdot 10^6$ UFC/ml pour les levures et de $3,2 \cdot 10^4$ à $44 \cdot 10^5$ UFC/ml pour les bactéries lactiques (Tableau XIX). Aucune moisissure ni de streptocoque n'étaient trouvés dans le « Bessoudioury ». Les levures et les bactéries lactiques recensées dans les vins sont directement impliquées dans le processus de fermentation spontanée des extraits de rônier et de palme [147–149]. Ces deux types de vin sont obtenus par extraction et fermentation de la sève de l'arbre. Leurs concentrations en éthanol varient entre 5,5 et 8% (v/v) [146, 148]. Les bactéries lactiques sont également impliquées dans la réduction de l'acidité du vin par fermentation malolactique. La fermentation malolactique accentue le profil sensoriel du vin en termes de goût et arôme [149].

Tableau XIX : Les microorganismes dénombrés dans les extraits fermentés en UFC/ml

	Vin de rônier	Vin de palme	HR	HP
Flore totale	1.10 ⁶	1.10 ⁵	3,2.10 ⁵	1,6.10 ⁵
Bactéries lactiques	44.10 ⁵	3,2.10 ⁴	2,5.10 ⁵	1,8.10 ⁴
Levures	58.10 ⁵	2,4.10 ⁵	3,3.10 ⁵	1,4.10 ⁵
Moisissures	0	0	0	0
<i>Streptococcus</i>	0	0	0	0

HR : hydromel « Bessoudioury » préparé par ajout de vin de rônier

HB : hydromel « Bessoudioury » préparé par ajout de vin de palme

IV.2. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques

IV.2.1. Principales composantes du miel

L'analyse des composantes du miel des diagnostics (Tableau XX) a confirmé sa teneur très élevée en sucres réducteurs (80 g/100g), assez similaire aux valeurs trouvées dans des échantillons de diverses origines [83, 150, 151]. Le pH de 4,06 du miel de Kédougou (Sénégal) est dans la limite standard (pH 3,40-6,10) proposée par le *Codex alimentarius* [152]. La comparaison des paramètres de couleur du système L*a*b du miel Roumain [153], donne des indices bruns respectifs de 16,2 et de 25,05. La différence fondamentale réside au niveau de la luminosité L avec des valeurs respectives de 20,82 et 79,9. Cependant, l'indice jaune de 18,02 est largement plus faible sur des miels récoltés dans différentes espèces végétales (37,6-57,0) [84].

La teneur en polyphénols exprimée en équivalent acide gallique est de 75 mg/100g, similaire à celles retrouvées dans la littérature. Cette concentration est de 26 à 100 mg/100g dans les miels du Brésil [154] ; de 32,17 à 119,42 mg/100 g pour les miels de Tunisie [83] ; et de 54,30 mg/100g pour des échantillons de Cuba [155].

Tableau XX : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du miel

Paramètres	Miel
pH	4,06 ± 0,01
Extrait sec soluble (g/100g)	81,8 ± 0,00
Acidité titrable (g acide tartrique/100g)	1,57 ± 0,21
Indice brun	16,46 ± 0,36
Indice jaune	18,02 ± 1,02
Sucres totaux (g/100g)	90,71 ± 0,00
Sucres réducteurs (g/100g)	81,58 ± 1,97
Polyphénols (mg acide gallique/100g)	75,75 ± 8,89

IV.2.2. Caractéristiques physico-chimiques de « Bessoudioury »

Les hydromels « Bessoudioury » produits avec du vin de rônier (HR1 et HR2) et avec du vin de palme (HP1 et HP2) ont été évalués aux niveaux physico-chimiques et biochimiques (Tableau XXI). Tous les échantillons de « Bessoudioury » ont un pH acide (3,72 - 3,91) comparable aux valeurs trouvées dans les hydromels traditionnels africains « Kuri » (pH 3,0) [153], « Ogol » (pH 3,8) [39], « Tej » (pH 3,02 - 4,90) [40]. Il n'y a pas de différences significatives en termes d'acidité titrable entre les vins de palme et de palme, et les boissons formulées.

Tableau XXI : Caractéristiques physico-chimiques du vin de rônier, du vin de palme et des hydromels « Bessoudioury »

Paramètres	Vin de rônier	Vin de palme	HR1	HR2	HP1	HP2
pH	3,96 ± 0,01 ^a	3,81 ± 0,01 ^b	3,91 ± 0,01 ^c	3,82 ± 0,01 ^d	3,81 ± 0,13 ^e	3,72 ± 0,02 ^e
Extrait sec soluble (g/100ml)	3,15 ± 0,07 ^a	3,1 ± 0,00 ^a	24,45 ± 0,07 ^b	26 ± 0,00 ^c	20,3 ± 0,00 ^d	23 ± 0,00 ^d
Acidité titrable (g acide tartrique/100ml)	1,05 ± 0,21 ^a	1,07 ± 0,21 ^a	1,22 ± 0,01 ^a	1,25 ± 0,01 ^a	0,09 ± 0,01 ^a	1,05 ± 0,01 ^a
Ethanol (ml/100ml)	2,41 ± 0,12 ^a	1,49 ± 0,11 ^a	3,45 ± 0,02 ^b	3,21 ± 0,00 ^b	2,12 ± 0,07 ^a	1,95 ± 0,01 ^a
Indice de brunissement	14,25 ± 0,02 ^a	12,23 ± 0,02 ^b	56,71 ± 0,10 ^c	57,71 ± 0,11 ^c	55,12 ± 0,28 ^c	58,12 ± 0,29 ^c
Indice jaune	16,82 ± 0,01 ^a	14,59 ± 0,01 ^b	49,87 ± 0,03 ^c	50,87 ± 0,04 ^d	50,91 ± 0,15 ^e	49,91 ± 0,16 ^f
Sucres totaux (g/100ml)	2,64 ± 0,07 ^a	8,34 ± 0,00 ^b	22,71 ± 0,44 ^c	20,71 ± 0,45 ^d	18,38 ± 0,16 ^e	19,45 ± 0,17 ^a
Sucres réducteurs (g/100ml)	1,34 ± 0,00 ^a	1,44 ± 0,00 ^b	19,36 ± 0,74 ^b	17,36 ± 0,75 ^c	15,29 ± 0,16 ^a	15,66 ± 0,17 ^b
Activité antioxydante (% inhibition)	17,99 ± 1,07 ^a	31,23 ± 2,17 ^b	36,44 ± 0,35 ^c	43,76 ± 0,76 ^d	41,68 ± 1,09 ^d	29,98 ± 1,61 ^b
Polyphénols (mg acide gallique/100ml)	38,08 ± 0,75 ^a	46,67 ± 15,29 ^b	56,52 ± 3,51 ^c	58,52 ± 0,52 ^d	66,46 ± 6,85 ^d	65,46 ± 0,05 ^c

IV.3. Etude de la maturation de l'hydromel « Bessoudioury »

Les hydromels « Bessoudioury » formulés avec les vins de rônier et de palme ont été conservés à 25°C (température ambiante) et analysés par fréquence de 7 jours. Le suivi du pH (Figure 35) traduit leur forte acidité avec une valeur limite de 3. L'augmentation de la teneur en éthanol au cours du stockage (Figure 36) se fait à la suite de la transformation des sucres simples contenus dans le miel jusqu'à des concentrations de 8 %. Cette fermentation alcoolique est permise par les levures apportées par le vin de rônier ou le vin de palme ajouté lors des procédés de fabrication du « Bessoudioury ».

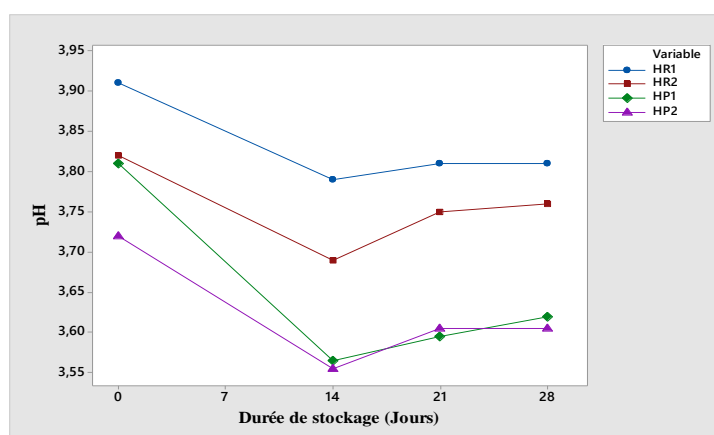


Figure 35 : Evolution du pH pendant la maturation de « Bessoudioury »

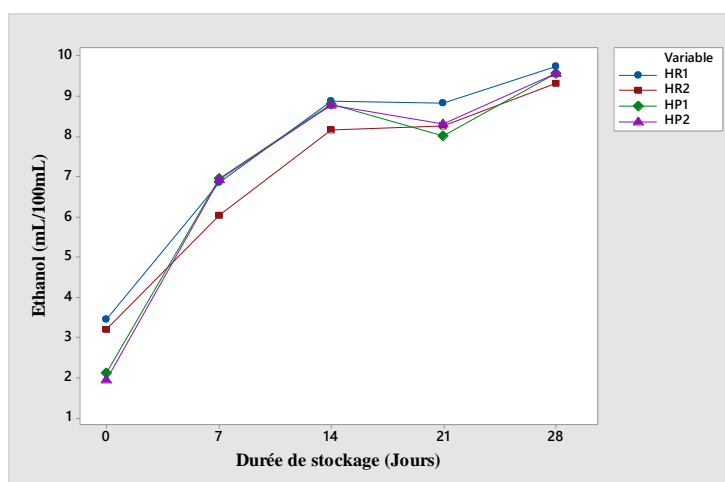


Figure 36 : Evolution de la teneur en éthanol pendant la maturation de « Bessoudioury »

Toutefois, les mélanges auxquels on a ajouté le vin de rônier (HR1 et HP2) ont une acidité volatile exprimée en g H₂SO₄/100ml (0,03 à 0,08), bien inférieure à celle des produits à base de vin de palme (0,18 à 0,19).

« Bessoudioury » a une teneur en éthanol de 8% (v/v), inférieure à celle trouvée dans les hydromels traditionnels « Kuri » du Cameroun (15,4% selon [153]); Ethiopie (16,5-17,5% pour « Ogol » [39]; 6,98-10,9% pour « Tej » selon [40]) et de l'Afrique du Sud (11,92-12,03 pour « iQhilika » selon [54]).

Les concentrations en polyphénols de « Bessoudioury » conservés pendant un mois (65,24 - 103,71 mg/100g) prouvent leurs meilleurs avantages nutritionnels par rapport aux vins (38,08 - 46,67 mg/100g). Les activités antioxydantes élevées le confirment bien (29,98 - 43,76%). La capacité antioxydante est le principal rôle physiologique attribué aux polyphénols. L'action antioxydante d'un composé phénolique peut résulter d'une combinaison de réactions chimiques, notamment l'inhibition enzymatique, la chélation des métaux, le don d'hydrogène et l'oxydation en un radical stable. Dans le corps, les radicaux libres sont à l'origine d'une dégradation très oxydante des macromolécules telles que l'ADN et les lipides. Les polyphénols peuvent agir en tant qu'antioxydants de différentes manières. En inhibant le potentiel de dégradation cellulaire et lipidique généré par les radicaux libres, les polyphénols joueraient un rôle dans la protection contre les maladies dégénératives, certains cancers et les maladies cardiovasculaires [156–158].

Le plan factoriel de l'analyse en composantes principales a confirmé les trois classes de produits étudiés (les vins de rônier et de palme, HR1/HR2, HP1/HP2). Des corrélations positives ont été établies entre « Bessoudioury » et les polyphénols, l'activité antioxydante et les indices de couleur. Cependant, la corrélation est plus forte pour les boissons préparées en ajoutant du vin de palme. Les hydromels HP1 et HP2 présentent également une dépendance plus étroite avec l'acidité volatile selon la deuxième dimension du plan factoriel (Figure 37).

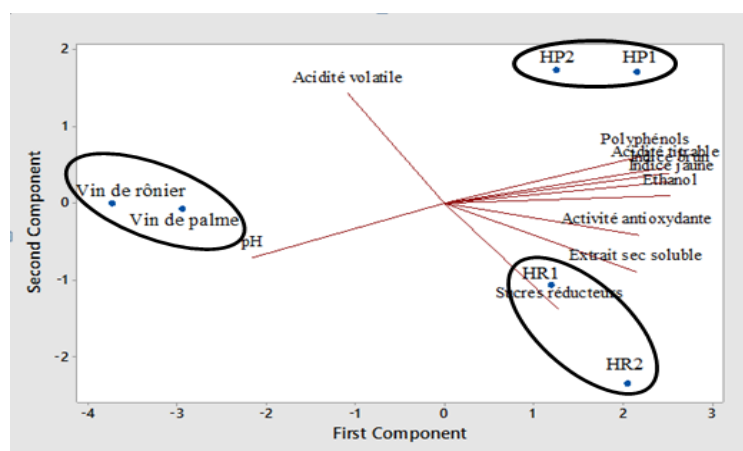


Figure 37 : Corrélation entre les paramètres physico-chimiques et les extraits analysés selon les deux premières dimensions de l'analyse en composantes principales

Traditionnellement utilisés pour conférer des arômes et des goûts particuliers à l'hydromel fini, les extraits de fruits et d'herbes sont utilisés sans pour autant masquer le flaveur du miel [37]. L'incorporation de vins de rônier et de palme est donc essentielle pour les qualités sensorielles recherchées dans le « Bessoudioury ». Par ailleurs, les recherches sur l'hydromel ont déjà établi différentes souches de *Saccharomyces cerevisiae*, testées sur leur résistance aux fortes concentrations en éthanol et au stress osmotique du miel [159, 160]. Ces souches assez proches de celle utilisées en œnologie, sont responsables de la biotransformation du glucose et du fructose, en éthanol et en dioxyde de carbone [37]. Les acidités volatiles établies dans les boissons « Bessoudioury », inférieure aux limites acceptables en œnologie [161], corroborent l'hypothèse d'une fermentation alcoolique unique. Ce qui confirme davantage sa qualité sanitaire et organoleptique. Le pH acide (pH = 3) des vins comme de l'hydromel fini est incompatible à la croissance de la plupart des microorganismes. A cela s'y ajoute l'effet bactéricide et antifongique de l'éthanol, sont probablement à l'origine de la teneur en alcool éthylique de 8% (v/v) du « Bessoudioury », inférieure à celle retrouvée dans les hydromels traditionnels africains [39, 40, 54, 153]. L'hydromel « Bessoudioury » est donc caractérisé par son étape de maturation de 14 jours responsable de ses paramètres chimiques et organoleptiques. Cette durée de maturation est de 15 à 20 jours pour le « Tej » [40] et de 7 à 14 jours pour « Kuri » [153].

Les deux formulations de l'hydromel des « Bassari » de Kédougou (Sénégal), font suite à la disponibilité des matières premières (vins de rônier ou de palme). Les informations recueillies auprès des producteurs et des consommateurs indiquent cependant une préférence pour le « Bessoudioury » préparé avec le vin de rônier. A l'origine, le « *Bessoudioury* » était la principale boisson partagée lors des cérémonies religieuses et des rites de passage. De nos jours, la fabrication de cet hydromel est devenue une activité génératrice de revenus pour de nombreux ménages de la localité.

V. « MBITE » A BASE DE *SCLEROCARYA BIRREA*

V.1. Procédé de fabrication

La boisson alcoolisée appelée « Mbite » est traditionnellement préparée avec les fruits de *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hostcht par les Seerer Sine au Sénégal. L'étude a été menée sur deux sites de production Loul-séssène et Boyard de la région de Fatick (Sénégal) en mai 2019. La préparation se résume en deux principales phases : une extraction du jus de marula et une fermentation (Figure 38).

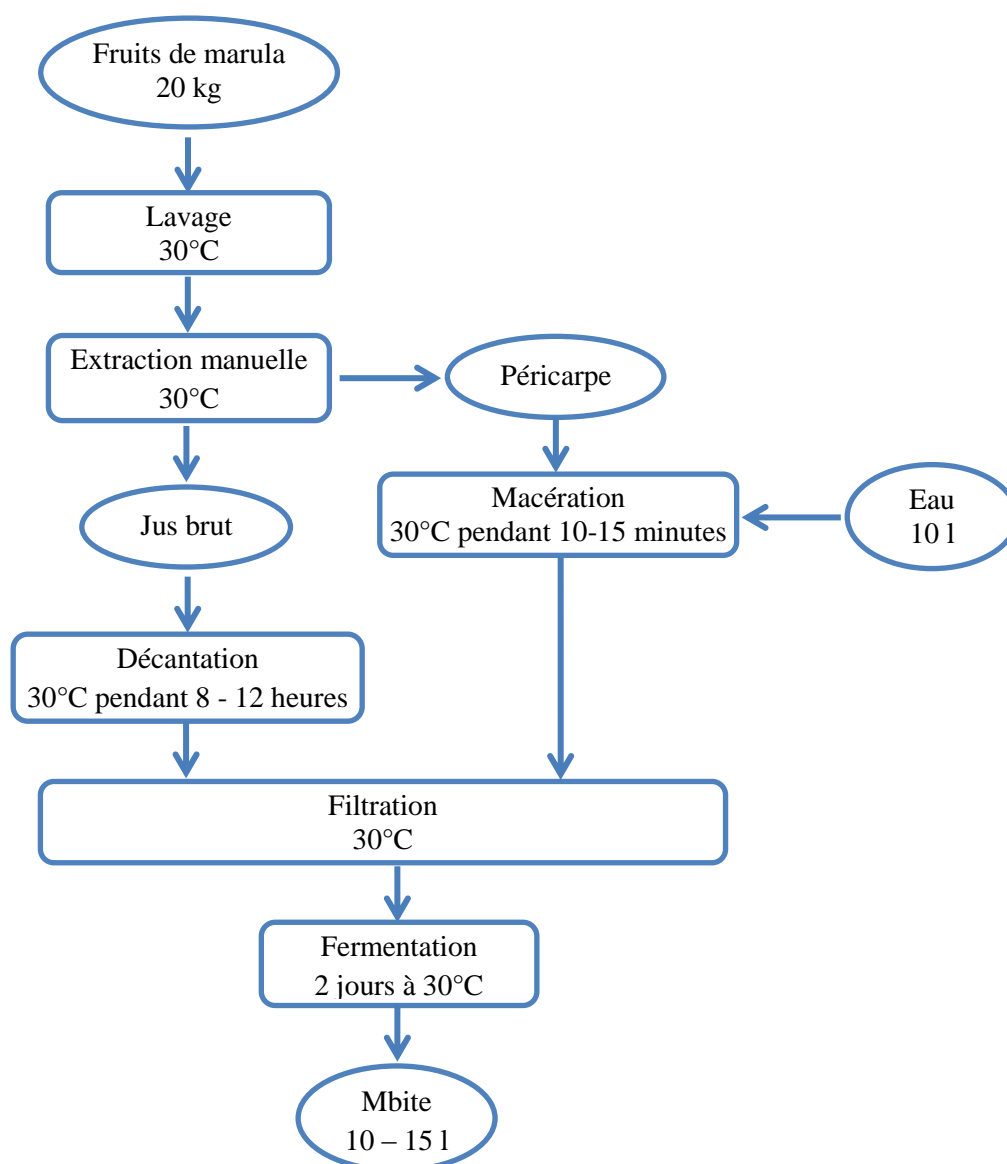


Figure 38 : Diagramme de fabrication de la boisson « Mbite » à base de *Sclerocarya birrea*

La fabrication de la boisson « Mbite » débute par une extraction manuelle du jus. Il s'agit d'une étape difficile faite à l'aide de tiges de *Guiera senegalensis* ou de *Combretum glutinosum* pour faciliter la séparation du péricarpe de l'amande. Deux types d'extraits sont alors obtenus : le pur jus appelé « O gone » et le macérât des péricarpes appelé « A thiamba » en langue locale (Seerer, Sénégal). Les extraits sont ensuite filtrés et mélangés en fonction des productrices. Enfin, une fermentation naturelle de 2 jours permet d'obtenir la boisson fermentée alcoolisée à base de *Sclerocarya birrea* (Figure 39).



Figure 39 : La boisson « Mbite »

Le jus de marula est traditionnellement utilisé pour préparer deux types de boissons. Le jus acidulé et nutritif est réservé aux enfants et la boisson alcoolisée exclusivement aux adultes [162]. Au Zimbabwe, la boisson locale « Umkumbi » est préparée après extraction du jus de marula à l'aide de cornes de chèvre effilée. Le moût subit une première fermentation naturelle de 24 heures puis est clarifié à l'aide d'un panier de feuilles tressées de palmier [163]. Le procédé de fabrication de la boisson « Buganu » de Swaziland présente la particularité d'extraire le jus de marula par broyage dans un mortier en bois [47]. Dans le cas de la boisson « Mbite », la clarification par décantation intervient en amont de la fermentation pour éliminer le maximum de mucilages. La filtration du moût est alors faite en utilisant des pailles de mil (*Pennisetum glaucum* L.) comme support.

Dans la fabrication de « Mbite », il n'a pas été décelé une étape différenciée d'ajout de levain. Il s'agit, en effet d'une fermentation spontanée liée aux levures endogènes aux fruits de *Sclerocarya birrea* [46, 163]. Les analyses microbiologiques sur les extraits fermentés le confirment bien. Les levures et les bactéries lactiques ont été dénombrées à des valeurs respectives de 10^6 et 10^4 UFC/ml (Tableau XXII).

Tableau XXII : Les microorganismes dénombrés dans les boissons « Mbite » en UFC/ml

	« Mbite » 1	« Mbite » 2	« Mbite » 3
Bactéries lactiques	6.10 ⁵	3.10 ⁴	10 ⁵
Levures	4.10 ⁶	1,6.10 ⁶	4.10 ⁶
Moisissures	0	0	0

V.2. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de la boisson « Mbite »

Les boissons « Mbite » à base de *Sclerocarya birrea* ont été analysées. Les résultats présentés correspondent aux échantillons des trois sites de fabrication (Tableau XXIII). Les boissons « Mbite » sont peu acides avec des pH de 3,82 à 3,97. Elles sont également très riches en polyphénols à des concentrations respectives de 158,25 ; 151,10 et 124,92 mg/100ml. Cependant, il existe une différence significative sur les teneurs en éthanol obtenues (4,09 ; 4,04 et 1,85 ml/100ml) dans les boissons « Mbite ». Cette variabilité incombe au nombre de germes présents dans le jus de marula.

Tableau XXIII : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de « Mbite »

Paramètres	« Mbite » 1	« Mbite » 2	« Mbite » 3
Ph	3,85 ± 0,02 ^a	3,82 ± 0,00 ^a	3,97 ± 0,00 ^b
Acidité titrable (mEq/100ml)	11,40 ± 0,42 ^a	12,85 ± 0,35 ^b	16,00 ± 0,14 ^c
Extrait sec soluble (g/100ml)	4,10 ± 0,00 ^a	4,60 ± 0,00 ^b	4,25 ± 0,01 ^c
Ethanol (ml/100ml)	4,09 ± 0,02 ^a	4,04 ± 0,14 ^a	1,85 ± 0,25 ^b
Polyphénols (mg acide gallique/100ml)	152,56 ± 7,15 ^a	154,96 ± 7,15 ^b	142,23 ± 13,75 ^c
Tanins (mg acide tannique/100ml)	10,35 ± 0,57 ^a	9,36 ± 0,02 ^b	9,32 ± 0,10 ^{a,b}
Sucres réducteurs (g/100ml)	0,77 ± 0,00 ^a	0,19 ± 0,00 ^b	0,24 ± 0,07 ^b
Sucres totaux (g/100ml)	0,77 ± 0,00 ^a	0,72 ± 0,07 ^a	2,30 ± 0,41 ^b
Indice de brunissement	30,65 ± 0,01 ^a	102,51 ± 9,65 ^b	70,61 ± 1,46 ^c
Indice jaune	35,07 ± 0,01 ^a	64,50 ± 2,28 ^b	54,79 ± 1,46 ^c

V.3. Etude de la maturation de la boisson « Mbite »

La teneur en éthanol a été suivie dans les boissons préparées lors des descriptions des procédés (Figure 40). Ces échantillons conservés à température ambiante (25°C) atteignent une concentration limite en alcool de 5% (v/v) au bout de 3 jours. Le pH et l'acidité titrable sont respectivement 3,57–3,80 et 12,65–15,43 mEq/100ml.

Les concentrations de tanins (8,04-9,28 mg/100ml) et de polyphénols (124,92–158,25 mg/100ml) ; et les indices de couleur traduisent une bonne stabilité des boissons au cours du stockage.

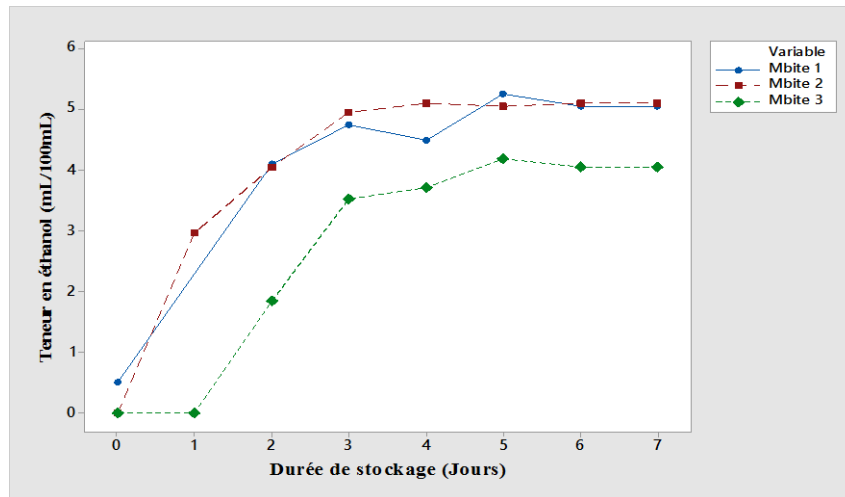


Figure 40 : Evolution de la teneur en éthanol pendant la maturation de « Mbite »

La maturation des boissons fermentées est la phase correspondante au pic de la concentration en éthanol, mais surtout au développement des composés aromatiques et gustatifs. Elle est fonction de la durée des différentes fermentations (principale ou secondaire) qui conditionnent les qualités sanitaires et marchandes. Cette durée de maturation est de 2 jours pour la boisson Zimbabwéenne « Umkumbi » [157] ; et 3 jours pour « Baganu » de Swaziland à température ambiante (25-30°C) [47].

Les acidités volatiles trouvées sur les boissons « Mbite » respectivement 1,6 ; 2,4 et 2,6 g acide acétique/l sont largement supérieure à la limite tolérée (1,2 g/l) dans les vins [156]. Il serait tenté de déduire qu'une fermentation secondaire conduit à la production d'acides organiques, de diacétyls et d'ester volatils [157, 158]. Les mêmes conclusions ont été obtenues dans plusieurs boissons traditionnelles africaines à base de Marula [46, 47, 157]. La boisson « Mbite » a un degré alcoolique de 2 à 4% (v/v) et assez similaire à ceux de « Umkumbi » et « Baganu » variant de 2 à 5% (v/v) [46, 47] .

Différents travaux génomiques ont montré la prépondérance de souches de *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Saccharomyces*, *Salmonella* et *Shigella* dans les boissons locales à base de marula [46, 157].

Ces germes naturellement présents dans le fruit de marula sont impliqués dans le processus de fermentation et de nombreux cas d'intoxications [158]. Cependant, la forte acidité des boissons fermentées à base de *Sclerocarya birrea* participent à l'inhibition des microorganismes pathogènes tels *Escherichia coli* [159]. Toutefois, il serait indiqué de tester des fermentations contrôlées pour une meilleure maîtrise de la qualité sanitaire et hygiénique.

V.4. Essais de fermentations contrôlées de la boisson « Mbite »

Les boissons traditionnelles à base de marula sont considérées comme étant assez stables compte tenu de leurs pH acides (3,5 – 4,0) et leurs degrés alcooliques de 2 à 5% (v/v) [46, 47]. Il n'en pas demeure pas moins qu'elles présentent des risques sanitaires élevés du caractère spontané de la fermentation impliquant la flore autochtone du jus [56, 160]. En ce sens, des essais de fermentations contrôlées permettront d'assurer la maîtrise du processus qui conditionne aussi bien les qualités hygiéniques qu'organoleptiques.

V.4.1. Caractéristiques physico-chimiques des jus bruts de *Sclerocarya birrea*

Les échantillons analysés étaient les jus de *S. birrea* issus d'extraction manuelle et filtrés avec une poche filtrante de 0,45 µm de porosité. Les extraits ont ensuite été traités à l'autoclave au barème de 120°C/15 minutes. Le tableau XXIV présente les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques des jus stérilisés et non stérilisés.

Tableau XXIV : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques des jus bruts stérilisés et non stérilisés de *Sclerocarya birrea*

Paramètres	Jus non stérilisé	Jus stérilisé
pH	4,82 ± 0,01 ^a	4,90 ± 0,01 ^b
Acidité titrable (mEq/100ml)	4,60 ± 0,00 ^a	4,75 ± 0,92 ^a
Extrait sec soluble (g/100ml)	16,90 ± 0,00 ^a	16,85 ± 0,07 ^a
Polyphénols (mg acide gallique/100ml)	236,40 ± 1,00 ^a	221,98 ± 10,54 ^a
Tanins (mg acide tannique/100ml)	18,65 ± 0,27 ^a	19,15 ± 1,05 ^a
Sucres réducteurs (g/100ml)	5,28 ± 0,14 ^a	5,88 ± 0,14 ^a
Sucres totaux (g/100ml)	8,86 ± 0,15 ^a	11,69 ± 0,15 ^b
Indice de brunissement	37,43 ± 0,64 ^a	67,73 ± 0,14 ^b
Indice jaune	43,45 ± 0,16 ^a	73,68 ± 0,03 ^b

Les jus de *S. birrea* non stérilisés et stérilisés sont non acides avec des pH de 4,82 et 4,90. Ce qui se traduit par des acidités titrables respectives de 4,60 et 4,75 mEq/100ml. Ces résultats sont assez différents des échantillons de la zone de Ferlo (Sénégal) avec des pH de 3,88-3,95 et des acidités élevées (150-199 mEq/l) [103]. Ces paramètres sont très liés à l'état de maturité de la plante et aux conditions pédoclimatiques. Cependant, les jus du fruit de *Sclerocarya birrea* ont des teneurs élevées en composés antioxydants (polyphénols : 221-236 mg/100ml et tanins : 18-19 mg/100ml), en sucres réducteurs (5,28-5,88 g/100ml) et totaux (8,86-11,69 g/100ml).

Le traitement thermique à l'autoclave n'a pas induit de modifications majeures sur les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques. Seuls les indices de couleur ont subi une modification significative. Les jus non stérilisés et stérilisés sont similaires du point de vue statistique aussi bien pour les composés nutritionnels que ceux énergétiques. La stérilisation a certes pour objectif d'éliminer tous les microorganismes pathogènes et d'altération mais en préservant les qualités nutritionnelles et sensorielles du produit. Dans le cas du jus de marula, la stérilisation devait éliminer la flore autochtone composée de pathogènes tels que *Salmonella* et *Shigella* [161] et *Lactobacillus*, responsable de la fermentation secondaire. Aussi, les indices de couleur notés prouvent qu'il n'y a pas eu de réactions de brunissements majeurs.

V.4.2. Suivi de la teneur en éthanol au cours de la fermentation

Les jus stérilisés de *S. birrea* ont été inoculés par la souche *Saccharomyces cerevisiae* : MC1 et MC2 ; et la souche *Saccharomyces boularii* : MB1 et MB2. Le suivi de la teneur en éthanol a établi que la fermentation était optimale à 24 heures pour les boissons MC1 et MC2 et à 30 heures pour les boissons MB1 et MB2. La production d'alcool est lente aux premières heures de la fermentation et a tendance à s'accélérer à partir 12 heures de stockage (Figure 40).

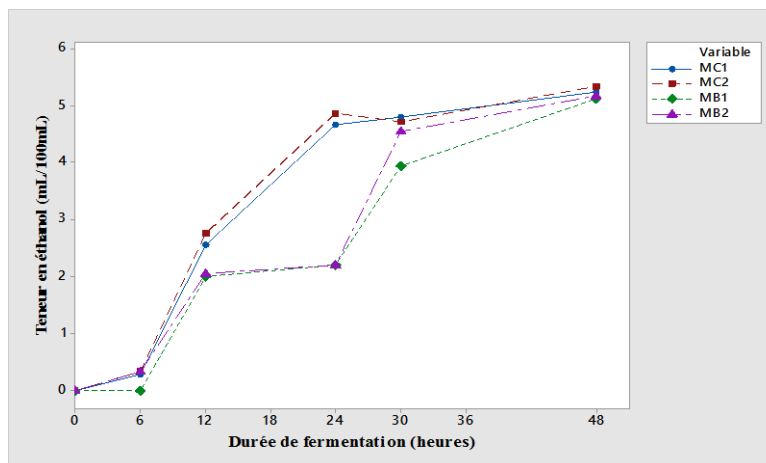


Figure 41 : Suivi de la teneur en éthanol au cours de la fermentation

La fermentation alcoolique correspond à la dégradation des sucres en éthanol et gaz carbonique par les levures. Il s'agit pour ces champignons de produire l'énergie nécessaire à leur croissance et leur développement. Dans le cas de la bière industrielle comme du vin, *Saccharomyces cerevisiae* reste l'espèce utilisée par excellence. *Saccharomyces boulardii* est un probiotique utilisé comme antidiarrhéique. Elle participe au maintien et à la restauration de la flore intestinale du gros intestin ainsi que celle de l'intestin grêle. Les boissons fermentées traditionnelles sont caractérisées par plusieurs fermentations susceptibles de s'y produire [46, 123]. Des travaux antérieurs ont pu établir des germes fermentaires appartenant au genre *Saccharomyces* et *Lactobacillus* ; et des germes pathogènes [46, 56].

La stérilisation a permis d'assurer une meilleure maîtrise aussi bien de la fermentation que de la qualité hygiénique. La fermentation alcoolique unique amorcée par les souches de *Saccharomyces* a favorisé une réduction importante de la durée de fermentation de 3 jours à 24 heures comparée à la méthode traditionnelle. De plus, la température d'incubation est bénéfique pour la préservation des molécules antioxydantes. Des travaux ont montré que la fermentation du jus de *S. birrea* à une température inférieure à 30°C permet de conserver plus de 90% des polyphénols [56]. Ce qui est un avantage certain pour une valorisation industrielle.

VI. « NIENIEBANE » A BASE DE MIL

VI.1. Procédé de fabrication

La boisson traditionnelle dénommée « Niéniébane » est préparée à partir de la farine de mil à chandelles et un extrait aqueux de *Boscia senegalensis*. Les travaux de diagnostics ont été faits sur deux sites de Diass de la région de Thiés (Sénégal) en août 2019. Le diagramme de fabrication propre aux « Seerer Diobass » est marqué d'abord par une extraction aqueuse des composés phytochimiques des tiges de *Boscia senegalensis*. Enfin, la bouillie obtenue après mélange avec l'extrait aqueux et de l'eau, aboutit au « Niéniébane ».

VI.1.1. Extraction des composés phytochimiques de tiges de *Boscia senegalensis*

La phase d'extraction (Figure 42) commence par une étape de trituration au mortier des tiges de *Boscia senegalensis* pour en éliminer les écorces (Figure 43a). Les tiges pilées sont ensuite ramollies dans de l'eau puis triturées à nouveau dans un mortier en bois (Figure 43b). L'extrait aqueux des tiges de *Boscia senegalensis* est enfin obtenu après filtration (Figure 43c).

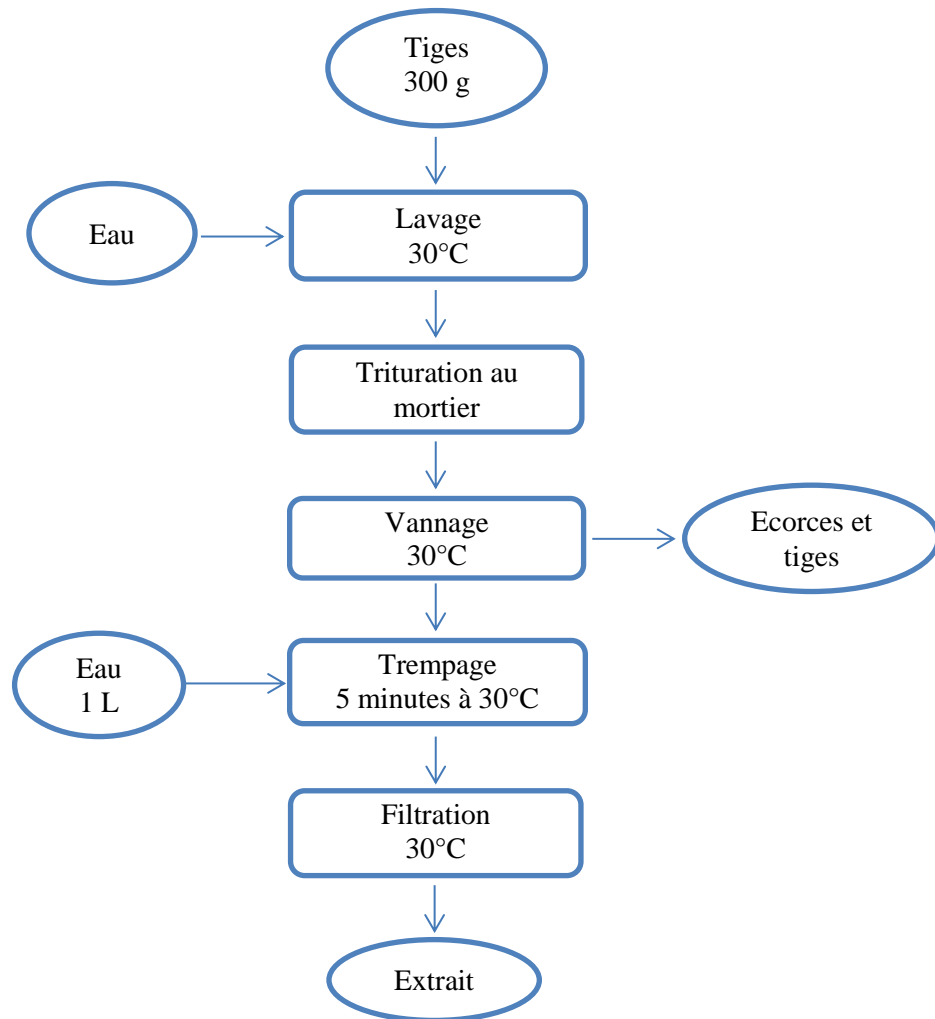


Figure 42 : Diagramme d'obtention de l'extrait aqueux des tiges de *Boscia senegalensis*



Figure 43 : Tiges de *Boscia senegalensis* avant (a) et après (b) trituration-trempe et extrait aqueux (c)

VI.1.2. Préparation de la boisson « Niéniébane »

La farine de mil est d'abord mélangée avec l'extrait aqueux des tiges de *Boscia senegalensis* au ratio 1/1. A ce mélange est ajouté 20 l d'eau chaude correspondant à l'empâtage (Figure 44). Enfin, une fermentation de 2 à 3 jours permet d'obtenir la boisson « Niéniébane » (Figure 45).

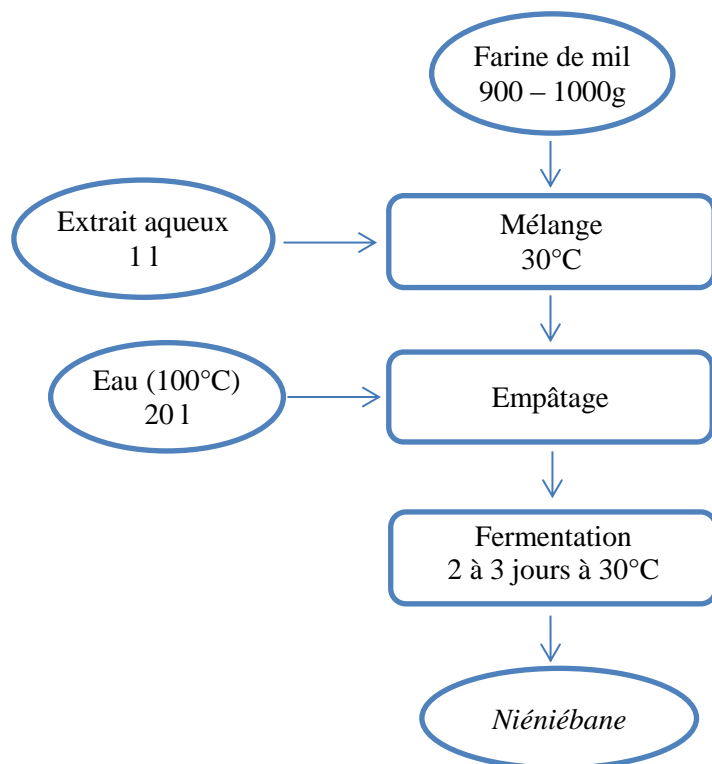


Figure 44 : Diagramme de fabrication de « Niéniébane »

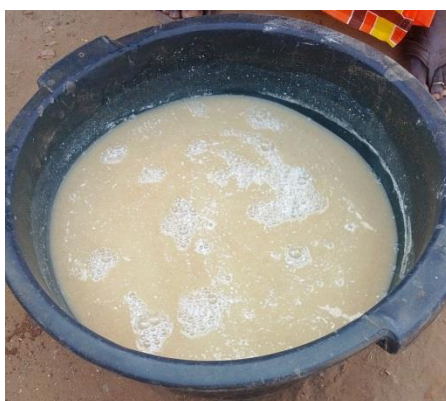


Figure 45 : La boisson « Niéniébane »

Le procédé de fabrication de la boisson Seerer « Niéniébane » présente de nombreuses analogies avec celui de la boisson Diola « Boumkaye ». L'extrait des tiges de *Boscia senegalensis* est utilisé compte tenu de leurs propriétés antiparasitaires et à lutter contre les constipations. En effet, de telles propriétés ont été rapportées dans la littérature [1, 110].

L'empâtage en brasserie est la phase d'extraction et d'hydrolyse de l'amidon en glucose par les amylases et les protéines en acides aminés par les protéases. Ce qui suppose, une étape de production enzymes hydrolytiques, manifeste lors de la germination des grains de céréales.

La technique d'empâtage dans la préparation du « Niéniébane » rappelle le procédé de brassage par infusion qui présente l'avantage de mieux conserver les nutriments. Tel est le cas de la boisson « Ikigage » [130] et à la différence du « Tchapalo » et du « Dolo » où l'empâtage se fait à température ambiante [20, 162].

Les plantes constituent des matières premières essentielles dans la fabrication des bières traditionnelles africaines. Ces extraits aqueux sont utilisés en général comme coagulant pour faciliter la filtration du moût avant la fermentation [1, 20]. Dans le cas de la boisson « Niéniébane », l'extrait de *Boscia senegalensis* pourrait apporter les enzymes nécessaires à la lyse de l'amidon et des protéines de la farine de mil.

VI.2. Caractéristiques physico-chimiques de « Niéniébane »

La boisson « Niéniébane » à base de mil est caractérisée par son pH acide ($3,41 \pm 0,14$) avec une acidité titrable de $8,83 \pm 1,66$ mEq/100ml (Tableau XXV). La teneur en éthanol reste très faible ($0,87 \pm 0,01$ g/100ml). Ce qui laisse supposer une acidification et une production d'alcool lors de la fermentation. Les polyphénols sont également présents dans les boissons à des concentrations appréciables ($23,96$ mg acide gallique/100ml).

Tableau XXV : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de « Niéniébane »

Paramètres	« Niéniébane »
pH	$3,41 \pm 0,14$
Acidité titrable (mEq/100ml)	$8,83 \pm 1,66$
Extrait sec soluble (g/100ml)	$5,20 \pm 0,01$
Polyphénols (mg acide gallique/100ml)	$23,96 \pm 0,68$
Sucres réducteurs (g/100ml)	$1,63 \pm 0,03$
Ethanol (g/100ml)	$0,87 \pm 0,01$
Indice de brunissement	$231,38 \pm 45,44$
Indice jaune	$77,21 \pm 3,37$

VI.3. Etude de la maturation de la boisson « Niéniébane »

Le suivi du pH (Figure 46), de l'acidité titrable (Figure 47) et de la teneur en éthanol (Figure 48) de « Niéniébane » a vérifié les différentes réactions biochimiques au cours de la maturation. Ces paramètres indiquent une fermentation lactique prépondérante avec des valeurs maximales de pH de 2,81 et d'acidité titrable de 20,23 mEq/100ml au bout de 9 jours de stockage à température ambiante (25°C). De plus les concentrations en éthanol sont faibles pendant la période de maturation (0,75 – 0,93 g/100ml).

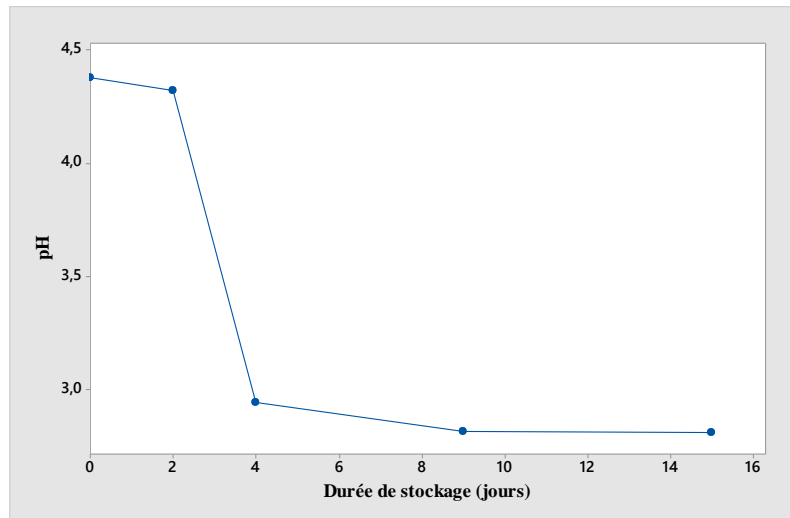


Figure 46 : Evolution du pH au cours de la maturation de « Niéniébane »

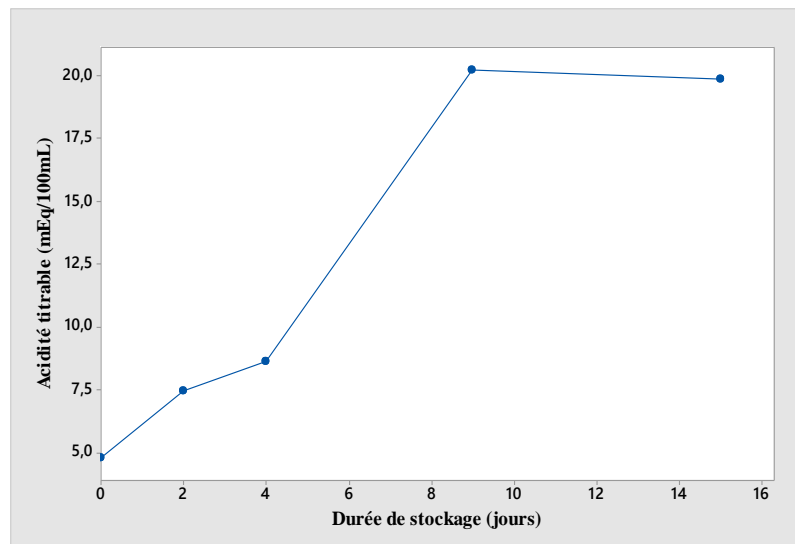


Figure 47 : Evolution de l'acidité titrable au cours de la maturation de « Niéniébane »

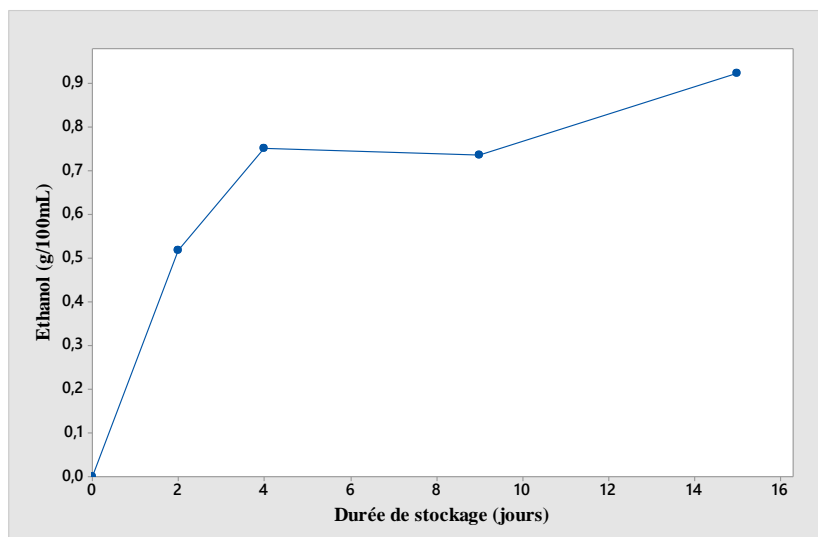


Figure 48 : Evolution de la teneur en éthanol au cours de la maturation de « Niéniébane »

De nombreuses boissons africaines sont caractérisées par une fermentation lactique en amont de la fermentation alcoolique [124, 133, 163]. Il s'agit d'une acidification amorcée par des bactéries lactiques qui est responsable de certaines qualités organoleptiques [31] ; mais elle assure par la même occasion l'inhibition de la flore pathogène à pH inférieur à 3 [121, 122]. Ce qui aboutit à des boissons très acides avec des teneurs en alcool de 5,03 g/100 ml pour le « Tchapalo » [20] ; 2,3 g/100 ml pour le « Dolo » [51] et 4,18 g/100 ml pour le « Bili bili » [24]. Dans le cas de la boisson « Niéniébane », la fermentation alcoolique n'est pas manifeste. Les informations et les interviews aux producteurs laissent penser que « Niéniébane » est consommé d'abord en tant que aliment. En effet, le produit garde toutes les valeurs nutritives du mil d'autant plus que la fermentation permet de solubiliser davantage de polyphénols [118].

VII. « POUKH » A BASE DE MIL

VII.1. Procédé de fabrication

La boisson dénommée « Poukh » présente la particularité d'utiliser les grains de mil comme matière. Les suivis de production réalisés en août 2019 à Diass dans la région de Thiés (Sénégal) ont permis d'établir un diagramme de fabrication (Figure 49).

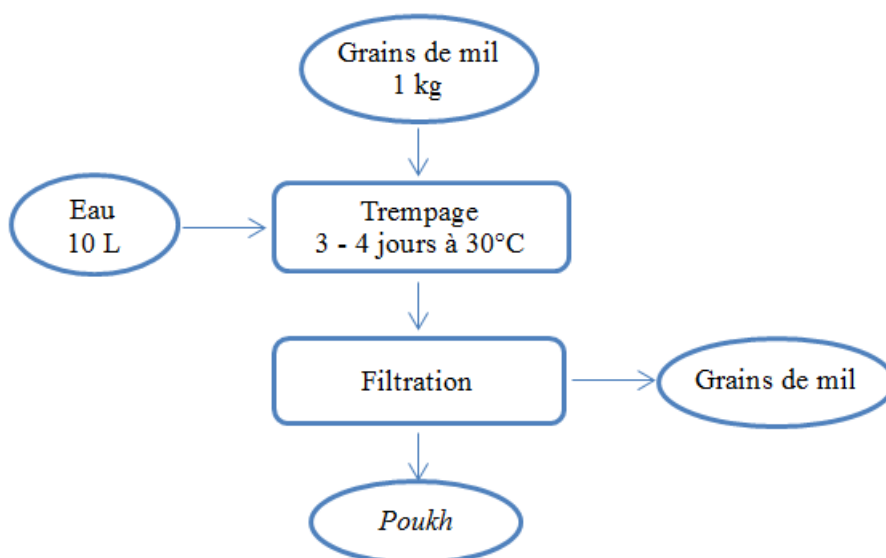


Figure 49 : Diagramme de fabrication de la boisson « Poukh »

La préparation débute par un trempage des grains de mil à température ambiante (30°C). L'idée est d'amorcer un transfert de nutriments favorisé par une éventuelle germination des grains. La boisson « Poukh » est alors obtenue après filtration du moût au bout de 3 à 4 jours (Figure 50).



Figure 50 : La boisson « Poukh »

Les procédés de fabrication des boissons traditionnelles à base de céréales ont pour point de départ le trempage des grains crus. La macération des céréales permet de favoriser leur reprise d'humidité pour induire la germination au bout de laquelle les grains sont réduits en farine [51, 52, 124, 133]. Toutefois, les grains ont besoin d'une quantité d'oxygène minimale pour leur croissance et éviter tout risque d'asphyxie. Les enzymes amylolytiques et protéolytiques produites sont directement liées au degré de fermentation et à la composition nutritionnelle des bières finies. Dans le cas de « Poukh », le trempage est suivi d'une filtration. Ce qui est incompatible à l'extraction des constituants nutritionnels du mil. En ce sens, le « Poukh » est plus un macérât de grains de mil qu'une boisson au sens technologique et biochimique du terme.

VII.2. Caractéristiques physico-chimiques de la boisson « Poukh »

La composition physico-chimique de « Poukh » (Tableau XXVI) corrèle bien avec les hypothèses émises dans la restitution du procédé de fabrication. La teneur en matière sèche soluble (0,45 g/100ml) démontre d'emblée un faible rendement d'extraction des composantes du mil lors du trempage. La concentration en sucres réducteurs de 0,23 g/100ml traduit une faible hydrolyse de l'amidon effectuée à l'étape d'empâtage par les enzymes lytiques. Toutefois, la teneur en polyphénols de 29,56 mg/100 ml est intéressante d'autant plus que les céréales ne sont pas les meilleures sources en molécules phénoliques.

Tableau XXVI : Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de « Poukh »

Paramètres	« Poukh »
pH	5,19 ± 0,01
Acidité titrable (mEq/100ml)	1,18 ± 0,04
Extrait sec soluble (g/100ml)	0,45 ± 0,01
Polyphénols (mg acide gallique/100ml)	29,56 ± 2,26
Sucres réducteurs (g/100ml)	0,23 ± 0,03
Indice de brunissement	11,51 ± 0,03
Indice jaune	15,33 ± 0,03

CHAPITRE III : DISCUSSION GENERALE

Les boissons fermentées ainsi identifiées au Sénégal lors de ce travail, tout comme les autres boissons africaines font parties intégrantes des traditions d'hospitalité et de convivialité des peuples. Cependant elles peuvent présenter d'autres avantages recherchés comme une meilleure digestion de viande pendant la fête de tabaski (cas de « Niéniébane »), le déparasitage (« Boumkaye »). Pour ces raisons, elles doivent être reconsidérées et revalorisées par les nouvelles générations.

Les boissons fermentées africaines sont brassées selon des procédés empiriques spécifiques aux origines géographiques et aux matières premières disponibles. Toutefois, ces technologies classiques présentent de nombreuses analogies avec la fabrication des boissons fermentées industrielles (bière, vin, hydromel) [37, 56, 132, 137]. Les méthodes de production des boissons africaines ont l'avantage d'utiliser des moyens du terroir. Par exemple, dans la production du « Tchapalo » à base de sorgho, la séparation du moût est accélérée par un ajout de flocculant végétal (*Hibiscus esculentus*) avant décantation et filtration [115]. Des agents de collage préparés à partir d'écorce de gombo, sont également utilisés pour la fabrication du « Dolo » de mil [164]. Ce qui constitue une alternative intéressante par rapport aux filtres-presses et aux cuves filtrantes des procédés industriels de brasserie. Par contre, les productions de boissons « Boumkaye » et « Niéniébane » connaissent une étape d'incorporation d'un extrait aqueux de plantes médicinales (*Abrus pulchellus* et *Boscia senegalensis*) afin de bénéficier de leurs vertus thérapeutiques. En ce sens, ces boissons sont considérées par les populations locales comme des « médicaments » ou alicaments. Ces dernières présentent également l'avantage de conserver tous les nutriments provenant des céréales et un enrichissement en polyphénols totaux. Ces deux boissons sénégalaises présentent des similarités avec les boissons « Dolo » et « Ikigage » de par leurs teneurs en protéines respectives de 0,65 g/100 [23] et 0,92 g/100g [31].

Lors de la production des boissons fermentées locales, les différentes opérations unitaires ne sont généralement pas maîtrisées de façon cartésienne. Leurs durées de conservation sont alors limitées dues entre autres à l'activité de la microflore résiduelle provenant principalement des matières premières après les étapes de fermentation et de maturation [127]. Les moûts non stérilisés en amont, sont inoculés avec un levain traditionnel. La fermentation se poursuit alors jusqu'à la consommation [24, 127].

La boisson fermentée résultante présente des risques sanitaires du fait que les germes présents ne sont pas maîtrisés [69]. On distingue généralement la contamination et la prolifération de bactéries indésirables à plusieurs étapes des procédés de production [165]. Ces microorganismes produisent de l'acide acétique et des arômes volatils qui rendent le goût, l'odeur et la texture inacceptables pour les consommateurs [28, 139]. Ainsi, plusieurs méthodes de stabilisation ont été testées sur les boissons sénégalaises étudiées. Le « Boumkaye » a fait l'objet d'un traitement thermique à l'autoclave au barème de 120°C/15 minutes. Ces essais ont permis de préserver les molécules antioxydantes (les polyphénols et les tanins) et d'éliminer tout risque microbiologique. Le « Boumkaye » stabilisé se conserve très bien à température ambiante (25°C) pour une durée d'au moins un an.

Les boissons fermentées consommées au Sénégal sont toutes obtenues par fermentation naturelle induite par la flore autochtone des matières premières. Il n'a pas été établi dans les procédés de fabrication une étape différenciée d'ajout de levain. Ce qui explique les longues durées de fermentation (14 à 28 jours) et les faibles concentrations d'éthanol produites : 3-5% pour « Boumkaye » ; 2-4% pour « Mbite » ; 0,75-0,93% pour « Niéniébane ». L'hydromel « Bessoudioury » avec une teneur en éthanol de 8%, a la particularité d'utiliser du vin de rônier et du vin de palme comme sources de levures. Cependant, des essais de fermentation contrôlée appliquée à la boisson « Mbite » à base de *Sclerocarya birrea* ont montré que les souches de *Saccharomyces cerevisiae* sélectionnées permettent de réduire la durée de fermentation de 72 heures à 24 heures.

Les boissons fermentées africaines ont des caractéristiques nutritionnelles intéressantes. Elles demeurent de bonnes sources en protéines et en minéraux [22, 26, 34, 37] et en molécules antioxydantes [39, 46, 47, 54, 55, 167]. Tel est le cas de « Boumkaye » et « Niéniébane » considérés comme un aliment plutôt qu'une boisson.

Les boissons fermentées étudiées dans le cadre de cette thèse présentent de nombreuses potentialités d'industrialisation. Leur production s'appuie sur des moyens rudimentaires mais permet néanmoins d'obtenir des produits de bonnes qualités nutritionnelles et organoleptiques. Aussi, serions-nous appeler à améliorer leurs procédés de fabrication ? Dans le cas de la boisson « Boumkaye », les optimisations proposées ont permis de réduire le temps d'extraction des composés phytochimiques des lianes d'*Abrus pulchellus* de 4 jours à 4 heures.

Aussi, les deux étapes de cuisson du « Boumkaye » ont été ramenées à une cuisson unique. Ce qui aboutit à simplifier son diagramme de fabrication et d'améliorer de manière intéressante ses caractéristiques nutritionnelles.

Les boissons fermentées africaines sont caractérisées par leur forte acidité et leur aspect de bouillies fluides [168]. Contrairement à la bière industrielle à base d'orge, les boissons africaines sont des exemples typiques de fermentation lactique suivie d'une fermentation alcoolique dans laquelle initialement, les bactéries lactiques, et les levures, jouent le rôle dominant [169, 170]. En raison de leur taux de croissance plus élevé, les bactéries dominent généralement les premiers stades de la fermentation. Une relation symbiotique pourrait expliquer la présence simultanée de levures et de bactéries lactiques. Les bactéries lactiques créent un environnement acide favorable à la prolifération des levures. Ces levures produisent des vitamines et d'autres métabolites, tels que les acides aminés, pour aider à la croissance des bactéries lactiques.

Plusieurs auteurs ont travaillé sur l'identification des germes des boissons africaines par les tests biochimiques ou les méthodes de biologie moléculaire [29–31]. Ils signalent essentiellement *Saccharomyces cerevisiae* et des bactéries du genre *Lactobacillus* sp (Tableau XXVII).

Tableau XXVII : Microorganismes impliqués dans la fermentation de bières traditionnelles africaines

Boissons fermentées	Microorganismes impliqués	Céréales	Références
« <i>Ikikage</i> »	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Lactobacillus fermentum</i> <i>Lactobacillus buchneri</i> <i>Lactobacillus sp.</i>	Sorgho (<i>Sorghum bicolor</i>)	[69]
« <i>Bili bili</i> »	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Cryptococcus albidius</i> Bactéries lactiques	Sorgho (<i>Sorghum bicolor</i>)	[22]
« <i>Tchapalo</i> »	<i>S. cerevisiae</i> <i>Lactobacillus divergens</i> <i>Lactobacillus. fermentum</i> <i>Lactobacillus sp.</i>	Maïs (<i>Zea mays</i>) Mil (<i>Pennisetum glaucum</i>) Sorgho (<i>Sorghum bicolor</i>)	[18]
« <i>Dolo</i> »	<i>S. cerevisiae</i> <i>Lactobacillus fermentum</i> <i>Lactobacillus lactis</i>	Sorgho (<i>Sorghum bicolor</i>)	[53]

Les bactéries lactiques interviennent dans la fabrication de nombreux produits alimentaires notamment les laits fermentés et yaourt, les boissons fermentées alcoolisées. Elles participent à l'augmentation de la conservation des mets fermentés et à l'inhibition des germes pathogènes [171, 172]. Ces bactéries lactiques sont également des probiotiques des systèmes digestif et immunitaire. Les probiotiques sont des microorganismes provenant de certains aliments, confèrent à l'organisme hôte des bénéfices en matière de santé. Pour exercer leurs effets sur l'hôte, il est nécessaire qu'ils atteignent vivants leur site d'action à un niveau de population suffisant, de l'ordre de 10^7 bactéries/ml [173]. Excepté au moment de la naissance, les facteurs de défense de l'hôte s'opposent efficacement à l'implantation durable de toute bactérie exogène dans la flore colique dominante. Les boissons fermentées africaines à l'image du yaourt constituent un apport majeur de probiotiques, récemment redéfinis comme des « suppléments alimentaires microbiens exerçant un effet bénéfique sur l'hôte en améliorant son écosystème intestinal » [174, 175].

Il est bien connu que la composition qualitative de la flore autochtone intestinale possède une physionomie pratiquement stable et typique pour chaque espèce, avec des variations plus ou moins grandes, compte tenu de la composition du milieu [176]. Plusieurs auteurs ont démontré que les lactobacilles du yaourt survivaient au cours de leur passage à travers tout le tube gastro-entérique. Elles permettent de lutter efficacement contre les germes pathogènes présents dans le tube digestif [176]. Les bactéries lactiques améliorent l'équilibration de la microflore intestinale et réduisent le risque d'allergie alimentaire [177]. Les boissons fermentées consommées au Sénégal sont en ce sens, de bonnes sources de probiotiques dues aux levures et bactéries lactiques dénombrées lors des étapes de fermentation et de maturation. Ce qui expliquerait dans une certaine mesure les vertus digestives et anti-diarrhéiques qui leurs sont prêtées.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Différentes boissons consommées au Sénégal ont été étudiées dans notre travail, d'une part pour une meilleure connaissance de leur procédé, leurs rôles socio-culturels et d'autre part leur apport nutritionnel. Ce travail a révélé que ces boissons traditionnelles pour être bien vulgarisées, nécessitent une maîtrise technologique de leur production.

Les boissons fermentées locales ont été obtenues selon des procédés empiriques et préparées à partir du mil (« Boumkaye », « Niéniébane » et « Poukh »), de marula (« Mbite ») et du miel (« Bessoudioury »). Leurs procédés présentent de différences comme l'absence de maltage et de brassage caractéristiques des boissons à base de céréales. De plus, la fermentation se fait de manière naturelle et sans ajout de levain. Les levures et les bactéries lactiques sont les principaux germes dénombrés. Toutefois, la teneur en éthanol des boissons fermentées Sénégalaises sont semblables aux boissons fermentées africaines.

Certaines boissons étudiées « Boumkaye » et le « Niéniébane » incorporent des extraits de plantes (*Abrus pulchellus* et *Boscia senegalensis*) lors des productions. Ces plantes médicinales riches en composés phytochimiques (polyphénols et tanins) sont impliquées dans l'utilisation de ces boissons comme « médicament ». Par ailleurs, l'extrait aqueux des lianes d'*Abrus pulchellus* a un effet positif sur la sélection des germes susceptibles de se développer dans le « Boumkaye ».

Les boissons fermentées consommées au Sénégal ont une composition nutritionnelle intéressante de par leurs teneurs élevées en protéines, en minéraux essentiels et en polyphénols. Ce qui justifie leur utilisation première en tant qu'aliment.

Les essais d'optimisation ont permis de simplifier les procédés de production et d'assurer les qualités hygiéniques des boissons étudiées. Le temps de process a été réduit au maximum aux étapes d'extraction des composés phytochimiques et de fermentation. Les traitements thermiques proposés assurent une stabilité microbiologique et nutritionnelle des boissons pendant au moins un an et conservées à 25°C (température ambiante). Ce qui est un atout considérable pour une future exploitation industrielle.

A ce point de nos investigations, plusieurs perspectives de recherches ont été identifiées. Une étude parasitologique permettrait de mieux comprendre l'effet anthelminthique d'*Abrus pulchellus* et de *Boscia senegalensis*. Aussi, des travaux sur l'activité antifongique de ces extraits aqueux seraient nécessaires. Des essais d'optimisation de la fabrication de l'hydromel « Bessoudioury » par les méthodes membranaires auraient pour objectif de substituer l'étape d'ébullition incompatible avec la préservation molécules antioxydantes du miel. Enfin, une caractérisation génomique des différentes espèces rencontrées dans les boissons fermentées traditionnelles du Sénégal permettrait de garantir davantage leurs qualités sanitaires et hygiéniques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Hébert J.P. (2003) *La bière et le dolo au pays Dogon : Origine, savoir-faire et phénomène social*. Agropolis Museum, Montpellier, France, 9.
- [2] Urion E. et Eyer, F. (1968) *La Bière : Art et tradition*. 1^{ère} édition, Librairie Istra, Paris, France, 188.
- [3] Dayagi-Mendels M. (2000) *Drink and be merry: wine and beer in ancient times*. 1st edition, Israel Museum, Jerusalem, Israel, 136.
- [4] Strouhal E., Forman W., Martin G. T. et Viney D. (1992) *Life of the Ancient Egyptians*. 1st edition, University of Oklahoma Press, Oklahoma, USA, 280.
- [5] Dahouenon-Ahoussi E., Degnon R. G., Adjou E. S. et Sohounhloue D. C. (2012) Stabilisation de la bière produite à partir de matières amylacées locales (*Sorghum bicolor* et *Musa acuminata*) par adjonction de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*. *J Appl Biosci*, 51, 3596–3607.
- [6] Quin P. J. (1959) *Foods and Feeding Habits of the Pedi*. Witwatersr, Johannesburg, South Africa, 255.
- [7] Monjerezi M., Vogt R. D., Aagaard P. et Saka J. D. (2011) Hydro-geochemical processes in an area with saline groundwater in lower Shire River valley, Malawi: An integrated application of hierarchical cluster and principal component analyses. *Appl. Geochem.*, 26 (8), 1399-1413.
- [8] Haggblade S. et Holzapfel H. (2004) Industrialization of Africa's indigenous beer brewing, in *industrialization of indigenous fermented foods*. 2^e éd., CRC Press, New York City, USA, 600.
- [9] PROTA (2006) *Céréales et légumes secs. Ressources végétales de l'Afrique tropicale, vol. 1*. Fondation PROTA - Backhuys, Paris, France, 328.
- [10] Brink M. et PROTA (2006) *Cereals and Pulses. Plant Resources of Tropical Africa 1*. PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands, 232.
- [11] Bonafous M. (1833) *Traité du maïs ou histoire naturelle et agricole de cette céréale*. Huzard, Paris, France, 190.

- [12] Loeillet D., Rival A. et Biénabe E. (2016) Développement durable et filières tropicales. Editions Quae, Paris, France, 356.
- [13] Food and Agriculture Organization (FAO) (2018) *Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales*. FAO, Rome, Italie, 7.
- [14] Direction de l'analyse, de la prévision et des statistiques agricoles (2013) *Rapport de présentation des résultats définitifs de l'enquête agricole 2012-2013*. Ministère de l'agriculture et de l'équipement rural, République du Sénégal, Dakar, Sénégal, 33.
- [15] Adeola O. et Orban J. I. (1995) Chemical composition and nutrient digestibility of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) fed to growing pigs. *J. Cereal Sci.*, 22 (2), 177-184.
- [16] Dias-Martins A. M., Pessanha K. L. F., Pacheco S., Rodrigues J. A. S. et Carvalho C. W. P. (2018) Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. *Food Res. Int.*, 109, 175-186.
- [17] Sade F. O. (2009) Proximate, antinutritional factors and functional properties of processed pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *J. Food Technol.*, 7 (3), 92-97.
- [18] Kayodé A., Aégbidi A., Linnemenn A. R., Nout M. J. R. et Hounhouigana J. D. (2005) Quality of farmer's varieties of sorghum and derived foods as perceived by consumers in Benin. *Ecol Food Nutr*, 44, 271-294.
- [19] Dicko M. H., Gruppen H., Traoré A. S., Voragen A. G. J. et Van Berkel W. J. H. (2006) Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *Afri J Biotechnol*, 5, 384-395.
- [20] Amane N. D., Assidjo N. E., Gbongue M. A., Bohoussou K. et Cardot P. (2009) Caractérisation physico-chimique d'une bière traditionnelle ouest africaine: le Tchapalo. *Agron. Afr.*, 17 (2), 143-152.
- [21] Faparusi S. I., Olofinboba M. O. et Ekwundayo J. A. (1973) The Microbiology of burukutu beer *Z. Allg Mikrobiol.*, 13, 563-568.
- [22] Maoura N., Mbaiguinam M., Nguyen H., Gaillardin C. et Pourquoi J. (2005) Identification and typing of the yeast strains isolated from bili bili, a traditional sorghum beer of Tchad. *Afr J Biotechnol*, 4, 646-656.

- [23] Lyumugabe F., Gros J., Nzungize Jh., Bajyana E. et Thonart Ph. (2012) Characteristics of African traditional beers brewed with sorghum malt – a review. *Biotechnol. Agron. Société Environ.*, 16 (4), 509-530.
- [24] Benjamin K. K., Casimir K. A., Masse D. et Emmanuel A. N. (2015) Batch fermentation process of sorghum wort modeling by artificial neural network. *Eur. Sci. J.*, 11(3), 1-19.
- [25] Desobgo Z. S., Naponni F. Y. et Nso E. J. (2013) Caractérisation des moûts et bières du sorgho Safrari houblonnés avec *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, 2 (1), 83–91.
- [26] Ekundayo J. A. (2007) The production of Pito, a Nigerian fermented beverage. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 4 (3), 217-225.
- [27] Lestienne I. (2004) *Contribution à l'étude de la biodisponibilité du fer et du zinc dans le grain de mil et conditions d'amélioration dans les aliments de complément*. Thèse de doctorat, Sciences des aliments, Université Montpellier II, Montpellier, France, 229.
- [28] Kayodé A. P. P., Hounhouigan J. D. et Nout M. J. R. (2007) Impact of brewing process operations on phytate, phenolic compounds and in vitro solubility of iron and zinc in opaque sorghum beer. *LWT - Food Sci. Technol.*, 40 (5), 834-841.
- [29] Lyumugabe L., Kamaliza G., Bajyana E. et Thonart Ph. (2010) Microbiological and physico-chemical characteristic of Rwandese traditional beer “Ikigage”. *Afr J Biotechnol*, 9, 4241-4246.
- [30] Rao P. V., Krishnan K. T., Salleh N. et Gan S. H. Biological and therapeutic effects of honey produced by honey bees and stingless bees: a comparative review. *Rev. Bras. Farmacogn.*, 26 (5), 657-664.
- [31] Alvarez-Suarez J. M. (2010) Antioxidant and antimicrobial capacity of several monofloral Cuban honeys and their correlation with color, polyphenol content and other chemical compounds. *Food Chem. Toxicol.*, 48 (8), 2490-2499.
- [32] Bentabol Manzanares A., García Z. H., Galdón B. R., Rodríguez E. R. et Romero C. D. (2011) Differentiation of blossom and honeydew honeys using multivariate analysis on the physicochemical parameters and sugar composition. *Food Chem.*, 126 (2), 664-672.

- [33] Maugenet J. (1964) L'hydromel. *Ann. Abeille*, 7 (3), 165–179.
- [34] Ramalhosa E., Gomes T., Pereira A. P., Dias T. et Estevinho L. M. (2011) Mead Production. *Advances in Food and Nutrition Research*, 63, 101-118.
- [35] McConnell D. S. et Schramm K. D. (1995) Mead success: Ingredients, processes and techniques. *Zymurgy Spring*, 4, 33–39.
- [36] Teramoto Y., Sato R. et Ueda S. (2005) Characteristics of fermentation yeast isolated from traditional Ethiopian honey wine, ogol. *Afr. J. Biotechnol.*, 4 (2), 160–163.
- [37] Bahiru B., Mehari T. et Ashenafi M. (2001) Chemical and nutritional properties of “tej”, an indigenous Ethiopian honey wine: variations within and between production units. *J. Food Technol. Afr.*, 6, 104-108.
- [38] Nindi M. M., Kgarebe B. V., Wolfender J.-L. et Abegaz B. M. (1999) Electrospray liquid chromatography–mass spectrometry of the leaf extract of *Rhamnus prinoides*. *Phytochem. Anal.*, 10 (2), 69-75.
- [39] Mulaw G. et Tesfaye A. (2017) Technology and microbiology of traditionally fermented food and beverage products of Ethiopia: A review. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 11 (21), 825-844.
- [40] Béhi Y. E. N., Mollet M., Girardin O., Sorg J.-P. et Herzog F. (2002) Palm Wine: dietary component and source of income for the rural population of the Ivory Coast. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 153 (4), 123-129.
- [41] Portères R. (1964) Le palmier rônier (*Borassus aethiopum* Mart.) dans la Province du Baoule (Côte d’Ivoire). *J. Agric. Tradit. Bot. Appliquée*, 11 (12), 499-514.
- [42] Bergeret B. et Masseyeff R. (1958) Composition chimique de quelques aliments peu connus du Cameroun. *Qual. Plant. Mater. Veg.*, 3-4 (1), 202-209.
- [43] Nomusa R. D. et Shadreck D. (2008) Studies on the physico-chemical, nutritional and microbiological changes during the traditional preparation of Marula wine in Gwanda, Zimbabwe. *Nutr. Food Sci.*, 38 (1), 61-69.
- [44] Simatende P., Gadaga T. H., Jabulani Nkambule S. et Siwela M. (2015) Methods of preparation of Swazi traditional fermented foods. *J. Ethn. Foods*, 2 (3), 119-125.

- [45] Bismuth H. et Ménage G. (1961) *Les boissons alcooliques en Afrique Occidentale Française*. Bulletin de l'IFAN., 8. 60-118.
- [46] Mbaye E. H. R. (1976) *L'islam au Sénégal*. Thèse de Doctorat de troisième cycle, Arabe, Université de Dakar, Dakar, Sénégal, 634.
- [47] Palau-Marti M. (1965) L'Islam noir. *Rev. Hist. Relig.*, 168 (2), 225-226.
- [48] Abdoul-latif F. M., Bassolé I. H. et Dicko M. H. (2013) Proximate composition of traditional local sorghum beer “dolo” manufactured in Ouagadougou. *Afr. J. Biotechnol.*, 12 (13), 1517-1522.
- [49] Sawadogo-Lingani H. (2007) The biodiversity of predominant lactic acid bacteria in dolo and pito wort, for production of sorghum beer. *J Appl Microbiol*, 103, 765-777.
- [50] Šmogrovičová D., Nádaský P., Tandlich R., Wilhelmi B. S. et Cambray G. (2012) Analytical and Aroma Profiles of Slovak and South African Meads. *Czech J. Food Sci.*, 30 (3), 241–246.
- [51] Roger D. D., Daoudou B., James B. et Etoa F. (2014) Artisanal production of “kuri” an honey made alcoholic beverage from Adamaoua Cameroon. *Global J. Sci. Res.*, 2 (3), 65-70.
- [52] Hiwilepo-van Hal P., Bille P. G., Verkerk R. et Dekker M. (2013) The effect of temperature and time on the quality of naturally fermented marula (*Sclerocarya birrea* subsp. Caffra) juice. *LWT - Food Sci. Technol.*, 53 (1), 70-75.
- [53] Association Française de Normalisation (AFNOR) (1982) *Produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits*. AFNOR. Paris, France, 327.
- [54] Georgé S., Brat P., Alter P. et Amiot M. J. (2005) Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *J. Agric. Food Chem.*, 53 (5), 1370-1373.
- [55] Joslyn M. (1970) *Methods in Food Analysis*, 2^e éd. Academic Press, New York, USA, 109-140.
- [56] Adaramola B., Onigbinde A. et Shokunbi O. (2016) Physiochemical properties and antioxidant potential of *Persea americana* seed oil. *Chem. Int.*, 2(3), 168-175.

- [57] Association Française de Normalisation (AFNOR) (2011) *Colorimétrie - Partie 4 : espace chromatique L*a*b* CIE 1976*, 1^{re} éd. Paris, France, 8.
- [58] Amblard S. et Pernès J. (1989) The identification of cultivated pearl millet (*Pennisetum*) amongst plant impressions on pottery from Oued Chebbi (Dhar Oualata, Mauritania). *Afr. Archaeol. Rev.*, 7 (1), 117-126.
- [59] Stemler A. (1990) A Scanning Electron Microscopic Analysis of Plant Impressions in Pottery from the Sites of Kadero, El Zakiab, Um Direiwa and El Kadada. *Archéologie Nil Moyen*, 4, 87-105.
- [60] Berhaut J. (1974) La Flore illustrée du Sénégal. *J. Agric. Tradit. Bot. Appliquée*, 21 (7), 269-270.
- [61] Adanson M. (1763) *Famille des plantes*, 2, Paris, France, 627.
- [62] Fuccillo D., Sears L. et Stapleton P. (2007) *Biodiversity in Trust: Conservation and Use of Plant Genetic Resources in CGIAR Centres*. Cambridge University Press, England, 388.
- [63] Andrews D. J. et Kumar K. A. (1992) Pearl Millet for Food, Feed, and Forage. *Advances in Agronomy*, 48, 89-139.
- [64] Lestienne I., Buisson M., Lullien-Pellerin V., Picq C. et Trèche S. (2007) Losses of nutrients and anti-nutritional factors during abrasive decortication of two pearl millet cultivars (*Pennisetum glaucum*). *Food Chem.*, 100 (4), 1316-1323.
- [65] Garaniya N. et Bapodra A. (2014) Ethno botanical and Phytopharmacological potential of *Abrus precatorius* L.: A review. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 4, S27-S34.
- [66] Machana S., Weerapreeyakul N., Thitimetharoch T. et Sripanidkulchai B. (2010) Anticancer activity screening of Thai medicinal plants in human leukemic cell line MOLT-4. *EJC Suppl.*, 8 (5), 83-154.
- [67] Vinayaka K. S., Swarnalatha S. P., Preethi H. R., Surabhi K. S., Kekuda T. R. P. et Sudharshan S. J. (2009) Studies on In vitro Antioxidant, Antibacterial and Insecticidal Activity of Methanolic Extract of *Abrus pulchellus* Wall (*Fabaceae*). 1 (5-6), 110-116.

- [68] Quattrocchi U. (2012) *CRC World Dictionary of Medicinal and Poisonous Plants: Common Names, Scientific Names, Eponyms, Synonyms, and Etymology (5 Volume Set)*. CRC Press, London, England, 3960.
- [69] Breteler F. J. (1960) Revision of *Abrus* Adanson (Pap.) with special reference to Africa. *Blumea - Biodivers. Evol. Biogeogr. Plants*, 10 (2), 607-624.
- [70] Rodríguez J. P., Rodríguez-Clark K. M., Keith D. A., Barrow E. G., Benson J., Nicholson E. et Wit P. (2012) IUCN Red List of Ecosystems. *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, 5 (2), 61-70.
- [71] Ball D. W. (2007) The Chemical Composition of Honey. *J. Chem. Educ.*, 84 (10), 1643.
- [72] Ahmed S. et Elhadi M. (2013) Anaesthetic implications of Sotos syndrome. *Anaesth. Cases*, 1 (2), 6-7.
- [73] Ramanauskiene K., Stelmakiene A., Briedis V., Ivanauskas L. et Jakštas V. (2012) The quantitative analysis of biologically active compounds in Lithuanian honey. *Food Chem.*, 132 (3), 1544-1548.
- [74] do Nascimento K. S., Sattler J. A. G., Macedo L. F. L., González C. V. S., Melo I. L. P., da Silva Araújo E., Granato D., Sattler A. et de Almeida-Muradian L. B. (2018) Phenolic compounds, antioxidant capacity and physicochemical properties of Brazilian *Apis mellifera* honeys. *LWT*, 91, 85-94.
- [75] Baroni M., Arrua C., Nores M. L., Fayé P., del Pilar Diaz M., Chiabrando G. A. et Wunderlin D. A. (2009) Composition of honey from Córdoba (Argentina): Assessment of North/South provenance by chemometrics. *Food Chem.*, 114 (2), 727-733.
- [76] Ahmad N. S., Abdul Aziz A., Kong K. W., Hamid M. S. A., Cheong J. P. G. et Hamzah S. H. (2017) Dose–Response Effect of Tualang Honey on Postprandial Antioxidant Activity and Oxidative Stress in Female Athletes: A Pilot Study. *J. Altern. Complement. Med.*, 23 (12), 989-995.
- [77] Erejuwa O. O., Sulaiman S. A., Wahab M. S., Sirajudeen K. N. S., Salleh M. S. M. et Gurtu S. (2010) Antioxidant protection of Malaysian tualang honey in pancreas of normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *Ann. Endocrinol.*, 71 (4), 291-296.

- [78] Boussaid A., Chouaibi M., Rezig L., Hellal R., Donsi F., Ferrari G. et Hamdi S. (2018) Physicochemical and Bioactive Properties of Six Honey Samples from Various Floral Origins from Tunisia. *Arab. J. Chem.*, 11, 265-274.
- [79] Oroian M. et Ropciuc S. (2017) Honey authentication based on physicochemical parameters and phenolic compounds. *Comput. Electron. Agric.*, 138, 148-156.
- [80] Chakir A., Romane A., Barbagianni N. et Bartoli D. (2011) Major and trace elements in different types of Moroccan honeys. *Australian J. Basic Appl. Sci.*, 5 (4), 223.
- [81] Saxena S., Gautam S. et Sharma A. (2010) Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. *Food Chem.*, 118 (2), 391-397.
- [82] Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R. et Simmons A. (2009) Agroforestry database: a treereference and selection guide, version 4.0. *World Agroforestry Centre*, 10.
- [83] Bayton, R. P. (2007) A Revision of *Borassus* L. (*Arecaceae*). *Kew Bull.*, 62 (4), 561-585.
- [84] Willemin P. V., Cabannes Y. et Chantry G. (1987) *Le rônier et le palmier à sucre: production et mise en œuvre dans l'habitat*. Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques, Paris, France, 144.
- [85] Dransfield J. (1986) *Flora of Tropical East Africa - Palmae*. CRC Press, London, England, 240.
- [86] Ezoua P., Kouamé D. et Agbo N. G. (1999) Caractéristiques du jus de la pulpe fraîche du fruit de rônier (*Borassus aethiopum* Mart.). *Cah. Agric.*, 8 (2), 126-128.
- [87] Ezoua P., Biego H., Kouame D. et Agbo N'zi G. (2008) Détermination de la composition en sucres, alcools et évolution des paramètres physico-chimiques au cours de la conservation du jus de fruit de rônier (*Borassus aethiopum*, Mart., *Arecaceae*). *J Sci Pharm Biol*, 9 (1), 44-56.
- [88] Adjou E. S., Amamion H., Tchobo F. P., Aissi V. M. et Soumanou M. M. (2013) Extraction assistée par enzyme du jus de la pulpe fraîche du rônier (*Borassus aethiopum* Mart.) acclimaté au Bénin : caractérisation physico-chimique et microbiologique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 (3), 1135-1146-1146.

- [89] Rohwer J. G. (2012) *Guide des plantes tropicales. A l'état sauvage ou acclimatées*. Guide de Lachaux. Delachaux et Niestlé, Paris, France, 288.
- [90] Karamoko D., Djeni N. T., N'guessan K. F., Bouatenin K. M. J.-P. et Dje K. M. (2012) The biochemical and microbiological quality of palm wine samples produced at different periods during tapping and changes which occurred during their storage. *Food Control*, 26 (2), 504-511.
- [91] Okafor N. (1978) Microbiology and Biochemistry of Oil-Palm Wine. *Advances Appl. Microbio.*, 24, 237-256.
- [92] Bantiono/Kando P., Zongo J. D., Nanema R. K. et Traore E. R. (2008) Etude de la variation de quelques caractères morphologiques d'un échantillon de *Sclerocarya birrea* au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 2 (4), 549-562.
- [93] Hall J. B., O'Brien E. M. et Sinclair F. L. (2002) *Sclerocarya birrea*: A Monograph School of Agriculture and Forest Science Publication No. 19. *Univ. Wales Bang.* England, 157.
- [94] Sene A. L. (2015) *Qualité biochimique et valeurs nutritionnelles du fruit de Sclerocarya birrea (A. Rich) Hoscht*. Mémoire de Master, Faculté des Sciences et Techniques, UCAD, Dakar, Sénégal, 65.
- [95] Kerharo J. et Adam J.-G. (1974) *La pharmacopée sénégalaise traditionnelle: plantes médicinales et toxiques*. Vigot, Paris, France, 1011.
- [96] Malgras D. (1992) *Arbres et arbustes guérisseurs des savanes maliennes*. Agence de coopération culturelle et technique, Paris, France, 478.
- [97] Viljoen A. M., Kamatou G. P. P. et Başer K. H. C. (2008) Head-space volatiles of marula (*Sclerocarya birrea* subsp. *caffra*). *South Afr. J. Bot.*, 74 (2), 325-326.
- [98] Sene A. L., Niang K., Faye G., Ayessou N., Sagna M. B., Cissé M., Diallo A., Cissé O. I. K., Gueye M. et Guissé A. (2018) Identification des usages de *Sclerocarya birrea* (A.Rich) Hoscht dans la zone du Ferlo (Sénégal) et évaluation du potentiel biochimique et nutritionnel de son fruit. *Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev.*, 18 (02), 13474-13491.
- [99] Mariod A. A. et Abdelwahab S. I. (2012) *Sclerocarya birrea* (Marula), an African tree of nutritional and medicinal uses: a review. *Food Rev. Int.*, 28 (4), 375-388.

- [100] Ejilah R. I., Lukman A. et Bello A. A. (2012) Investigation of *Sclerocarya birrea* seed oil extracted as a bioenergy resource for compression ignition engines. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 5 (3), 59-67.
- [101] Haddad C. (2000) *Fruitiers sauvages du Sénégal*. Thèse de doctorat, Pharmacie, Université de Montpellier I, Montpellier, France, 343.
- [102] Salih O. M., Nour A. M. et Harper D. B. (1991) Chemical and nutritional composition of two famine food sources used in Sudan, Mukheit (*Boscia senegalensis*) and Maikah (*Dobera roxburghi*). *J. Sci. Food Agric.*, 57 (3), 367-377.
- [103] De Fabrègues B. P. et Lebrun J.-P. (1976) *Catalogue des plantes vasculaires du Niger*. Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire de Pays Tropicaux, France, 433.
- [104] Boury N. J. (1962) Végétaux utilisés dans la médecine africaine dans la région de Richard-Toll (Sénégal). *Adam Plantes Utiles En Afr. Occident. Notes Afr.*, 93, 14-16.
- [105] Ahua K. M., Ioset J. R., Ioset K. N., Diallo D., Mauël J. et Hostettmann K. (2007) Antileishmanial activities associated with plants used in the Malian traditional medicine. *J. Ethnopharmacol.*, 110 (1), 99-104.
- [106] Adam Sakine M. N., Mahmoud Y., Gbenou J., Agbodjogbe W. et Moudachirou M. (2011) Effet antihyperglycémiant des extraits de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir et de *Colocynthis vulgaris* (L.) Schrad. *Phytothérapie*, 9 (5), 268-273.
- [107] Seck D. (1993) Biological activity of the shrub *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam ex Poir. (Capparaceae) on stored grain insects. *J. Chem. Ecol.*, 19 (2), 377-389.
- [108] Gueye M. T. (2011) Insecticidal activity of *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam ex Poir. on *Caryedon serratus* (Oliv.) pest of stored groundnuts. *Afr. J. Agric. Res.*, 6 (30), 6348-6353.
- [109] Maoura N., Mbaiguinam M., Gaillardin C. et Pourquoi J. (2006) Suivi technique, analytique et microbiologique de la «bili bili», bière traditionnelle tchadienne. *Afr. Sci. Rev. Int. Sci. Technol.*, 2 (1), 69-82.
- [110] Aka S., Djeni N. T., N'guessan K. F., Yao K. C. et Dje K. (2008) Variabilité des propriétés physico-chimiques et dénombrement de la flore fermentaire du tchapalo, une bière traditionnelle de sorgho en Côte d'Ivoire. *Afr. Sci. Rev. Int. Sci. Technol.*, 4 (2), 274-286.

- [111] Hébert J.-P. et Griffon, D. (2012) *Des bières et des hommes*, 1^{re} éd. Quae, France, 844.
- [112] Collin S. et Crouzet J. (2011) *Polyphénols et procédés: Transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire*. Tec & Doc Lavoisier, France, 336.
- [113] Achi O. K. (2005) The potential for upgrading traditional fermented foods through biotechnology. *Afr. J. Biotechnol.*, 4 (5), 375-380.
- [114] Coulibaly W. H., N'guessan K. F., Coulibaly I., Djè K. M. et Thonart P. (2014) Les levures et les bactéries lactiques impliquées dans les bières traditionnelles à base de sorgho produites en Afrique subsaharienne (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Société Environ.*, 18 (2), 209-219.
- [115] Thomas K. C., Hynes S. H. et Ingledew W. M. (2002) Influence of medium buffering capacity on inhibition of *Saccharomyces cerevisiae* growth by acetic and lactic acids », *Appl Env. Microbiol*, 68 (4), 1616-1623.
- [116] Torija M. J. (2003) Effect of Organic Acids and Nitrogen Source on Alcoholic Fermentation: Study of Their Buffering Capacity. *J. Agric. Food Chem.*, 51 (4), 916-922.
- [117] Sawadogo-Lingani H. (2007) The biodiversity of predominant lactic acid bacteria in dolo and pito wort for the production of sorghum beer. *J. Appl. Microbiol.*, 103 (4), 765-777.
- [118] Amane N. D., Assidjo, N. E., Gbongue M. A., Bohoussou K. et Cardot P. (2005) Caractérisation physico-chimique d'une bière traditionnelle ouest africaine: le Tchapalo. *Agron. Afr.*, 17 (2), 143-152.
- [119] Valyasevi R. et Rolle R. S. (2002) An overview of small-scale food fermentation technologies in developing countries with special reference to Thailand: scope for their improvement. *Int. J. Food Microbiol.*, 75 (3), 231-239.
- [120] Parawira W., Kudita I., Nyandoroh M. G. et Zvauya R. (2005) A study of industrial anaerobic treatment of opaque beer brewery wastewater in a tropical climate using a full-scale UASB reactor seeded with activated sludge. *Process Biochem.*, 40 (2), 593-599.
- [121] Kayodé A., Hounhouigana J. D. et Nout M. J. R. (2007) Impact of brewing process operations on phyta, phenolic compounds and in vitro solubility of iron and zinc in opaque sorghum beer. *LWT*, 40, 834-841.

- [122] Blandino A., Al-Aseeri M. E., Pandiella S. S., Cantero D. et Webb C. (2003) Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Res. Int.*, 36 (6), 527-543.
- [123] Lyumugabe F., Uyisenga J. P., Songa E. B. et Thonart P. (2014) Production of Traditional Sorghum Beer "Ikigage" using *Saccharomyces cerevisiae* ; *Lactobacillus fermentum* and *Issatckenkia orientalis* as Starter Cultures. *Food Nutr. Sci.*, 05 (06), 507-515.
- [124] Aka-Gbezo S., N'Guessan F. K., Djeni T. N., Djè M. K. et Bonfoh B. Partial Characterization of Bacteriocins from Two *Pediococcus acid lactic* Strains Isolated during Traditional Sorghum Beer Processing in Côte d'Ivoire. *Adv. Microbiol.*, 04 (16), 1250-1259.
- [125] Dewanto V., Wu X., Adom K. K. et Liu R. H. (2002) Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.*, 50 (10), 3010-3014.
- [126] Randhir R., Kwon Y. I. et Shetty K. (2008) Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health- relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 9, 355-364.
- [127] Ranilla L. G., Genovese M. I. et Lajolo F. M. (2009) Effect of different cooking conditions on phenolic compounds and antioxidant capacity of some selected Brazilian bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *J. Agric. Food Chem.*, 57 (13), 5734-5742.
- [128] Walt J. P. V. D. (1956) Kaffircorn malting and brewing studies. II.—Studies on the microbiology of Kaffir beer. *J. Sci. Food Agric.*, 7 (2), 105-113.
- [129] Mwesigye P. K. et Okurut T. O. (1995) A Survey of the Production and Consumption of Traditional Alcoholic Beverages in Uganda. *Process Biochem.*, 30 (6), 497-501.
- [130] Chung K.-T., Wei C.-I. et Johnson M. G. (1998) Are tannins a double-edged sword in biology and health? *Trends Food Sci. Technol.*, 9 (4), 168-175.
- [131] Hatano T. (2005) Effects of tannins and related polyphenols on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Phytochemistry*, 66 (17), 2047-2055.
- [132] Song J.-H., Kim S.-K., Chang K.-W., Han S.-K., Yi H.-K. et Jeon J.-G. (2006) In vitro inhibitory effects of *Polygonum cuspidatum* on bacterial viability and virulence factors of *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sobrinus*. *Arch. Oral Biol.*, 51 (12), 1131-1140.

- [133] Song J.-M., Lee K.-H. et Seong B.L. (2005) Antiviral effect of catechins in green tea on influenza virus. *Antiviral Res.*, 68 (2), 66-74.
- [134] Chavan U. D., Shahidi F. et Naczki M. (2001) Extraction of condensed tannins from beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) as affected by different solvents. *Food Chem.*, 75 (4), 509-512.
- [135] Rhazi N., Hannache H., Oumam M., Sesbou A., Charrier B., Pizzi A. et Charrier-El Bouhtoury F. (2015) Green extraction process of tannins obtained from Moroccan *Acacia mollissima* barks by microwave: Modeling and optimization of the process using the response surface methodology RSM. *Arab. J. Chem.*, 2-17.
- [136] Brahim M., Gambier F. et Brosse N. (2014) Optimization of polyphenols extraction from grape residues in water medium. *Ind. Crops Prod.*, 52, 18-22.
- [137] Ping L., Pizzi A., Guo, Z. D. et Brosse N. (2011) Condensed tannins extraction from grape pomace: Characterization and utilization as wood adhesives for wood particleboard. *Ind. Crops Prod.*, 34 (1), 907-914.
- [138] Sealy-Fisher V. J. et Pizzi A. (1992) Increased pine tannins extraction and wood adhesives development by phlobaphenes minimization. *Holz Als Roh Werkst.*, 50 (5), 212-220.
- [139] Adenuga W., Olaleye O. N. et Adepoju P. A. (2010) Utilization of bitter vegetable leaves (*Gongronema latifolium*, *Vernonia amygdalina*) and *Garcinia kola* extracts as substitutes for hops in sorghum beer production. *Afr. J. Biotechnol.*, 9 (51), 8819-8823.
- [140] Escriche I., Kadar M., Juan-Borrás M. et Domenech E. (2014) Suitability of antioxidant capacity, flavonoids and phenolic acids for floral authentication of honey. Impact of industrial thermal treatment. *Food Chem.*, 142, 135-143.
- [141] Tosi E., Ciappini M., Ré E. et Lucero H. (2002) Honey thermal treatment effects on hydroxymethylfurfural content. *Food Chem.*, 77, 71-74.
- [142] Ramirez-Jiménez A., Garcia-Villanova B. et Guerra-Hernandez E. (2000) Hydroxymethylfurfural and methylfurfural content of selected bakery products. *Food Res. Int.*, 33, 833-838.

- [143] Socha R., Pająk P., Fortuna T. et Buksa K. (2015) Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Polish Meads. *Int. J. Food Prop.*, 18 (12), 2713-2725.
- [144] Amoa-Awua W. K., Sampson E. et Tano-Debrah K. (2007) Growth of yeasts, lactic and acetic acid bacteria in palm wine during tapping and fermentation from felled oil palm (*Elaeis guineensis*) in Ghana. *J. Appl. Microbiol.*, 102 (2), 599-606.
- [145] Bassir O. (1962) Observations on the fermentation of palm wine. *West Afr. J. Biol. Chem.*, 6, 20-25.
- [146] Tapsoba F., Savadogo A., Somda K. M., Zongo C. et Barro N. (2011) Biodiversité microbienne et paramètres physico- chimiques de quelques vins de rônier (*Borassus akeassii*) produits traditionnellement au Burkina Faso. *Rev Microbiol Ind San Environn*, 5 (2), 1-22.
- [147] Nwachukwu I., Ekaiko M. U. et Stephen C. (2016) Microbiological quality of palm wine (*Elaeis guineensis* and *Raphia hookeri*) sold within Aba metropolis, Abia state, south eastern Nigeria. *Eur. J. Biotechnol. Genet. Eng.*, 3 (1), 38-44.
- [148] Santiago-Urbina J. A. et Ruíz-Terán F. (2014) Microbiology and biochemistry of traditional palm wine produced around the world. *Int. Food Res. J.*, 21 (4), 1261-1269.
- [149] Alexandre H., Grandvalet C., Guilloux-Benatier M., Remize-Barnavon F. et Tourdot-Maréchal R. (2008) *Les bactéries lactiques en œnologie*. Tec & Doc Lavoisier, France, 172.
- [150] Rao P. V., Krishnan K. T., Salleh N. et Gan S. H. (2016) Biological and therapeutic effects of honey produced by honey bees and stingless bees: a comparative review. *Rev. Bras. Farmacogn.*, 26 (5), 657-664.
- [151] da Silva P. M., Gauche C., Gonzaga L. V., Costa A. C. O. et Fett R. (2016) Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chem.*, 196, 309-323.
- [152] Codex Alimentarius (2001) Draft revised standard for standard for honey (at step 10 of the Codex procedure). *Alinorm*, 1 (25), 19–26.
- [153] Kuś P.M., Jerković I., Marijanović Z., Kranjac M. and Tuberoso C.I.G. (2018) Unlocking *Phacelia tanacetifolia* Benth. Honey Characterization through Melissopalynological Analysis, Color Determination and Volatiles Chemical Profiling. *Food Res. Int.*, 106, 243-253

- [154] do Nascimento K. S. (2018) Phenolic compounds, antioxidant capacity and physicochemical properties of Brazilian *Apis mellifera* honeys. *LWT*, 91, 85-94.
- [155] de Almeida A. M. M., Oliveira M. B. S., da Costa J. G., Valentim I. B. et Goulart M. O. F. (2016) Antioxidant Capacity, Physicochemical and Floral Characterization of Honeys from the Northeast of Brazil. *Rev. Virtual Quím.*, 8 (1), 57-77.
- [156] Hennebelle T., Sahpaz S. et Bailleul F. (2004) Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytotherapie*, 2 (1), p. 3-6.
- [157] Mukhtar H. et Ahmad N. (2000) Tea polyphenols: prevention of cancer and optimizing health. *Am. J. Clin. Nutr.*, 71 (6), 1698S-1702S.
- [158] Scalbert A., Johnson I. T. et Saltmarsh M. (2005) Polyphenols: antioxidants and beyond », *Am. J. Clin. Nutr.*, 81 (1), 215S-217S.
- [159] Carrasco P., Querol A. et Olmo M. (2001) Analysis of the resistance of commercial wine yeast strains. *Arch. Microbiol.*, 175, 450-457.
- [160] Pereira A. P., Dias T., Andrade J., Ramalhosa E. et Estevinho L. M. (2009) Mead production: Selection and characterization assays of *Saccharomyces cerevisiae* strains. *Food Chem. Toxicol.*, 47 (8), 2057-2063.
- [161] International Organization of Vine and Wine (OIV) (2015) Maximum Acceptable Limits. In: *Collection of International Methods of Analysis of Wines and Musts*, OIV, Paris, 6.
- [162] Tredgold M. H. (1986) *Food Plants of Zimbabwe*. Mambo Press. Harare, Zimbabwe.
- [163] Mugochi T., Parawira W., Mporu A., Simango C. et Remigio Z. (1999) Survival of some species of *Salmonella* and *Shigella* in mukumbi, a traditional Zimbabwean wine. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 50 (6), 451-455.
- [164] Garver K. I. et Muriana P. M. (1993) Detection, identification and characterization of bacteriocin-producing lactic acid bacteria from retail food products. *Int. J. Food Microbiol.*, 19 (4), 241-258.
- [165] Amerine M. A. (1977) Wine, beer and spirits technology, in *Desrosier*. The AVI Publishing Company, New York, United States, 617-628.

- [166] Jay J. M. (1986) *Modern Food Microbiology*, 3rd ed. van Nostrand Reinhold, New York, United States, 637.
- [167] Iliassou M., Marius S. K., Ibrahim K. et Alfred S. (2017) Evaluation of hygienic quality of ferment of local beer “dolo” used as condiment in Burkina Faso. *Afr J Biotechnol*, 16 (26), 1449-1456.
- [168] Vogel S. et Gobezie A. (1983) Ethiopian “tej”, in *Handbook of Indigenous Fermented Foods*, Steinkraus KH., New York, United States.
- [169] Maoura N. et Pourquoi J. (2009) Sorghum beer: Production, nutritional value and impact upon human health, in *Beer in health disease prevention*. Academic press, England. 53-60.
- [170] Novellie L. (1982) Fermented porridge, in *Proceedings of the international symposium on sorghum grain quality*. ICRISAT, Pantacheru, India, 121-128.
- [171] Mensah P. (1997) Fermentation — the key to food safety assurance in Africa? *Food Control*, 8 (5), 271-278.
- [172] Tamime A. Y. (2013) Lactic Acid Bacteria – Microbiological and Functional Aspects (2012), 4th ed. CRC Press, *Int. J. Dairy Technol.*, 66 (1), 149-150.
- [173] Afric R. F. Probiotics in man and animals », *Journal of Applied Bacteriology*, 01-mai-1989. [En ligne]. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>. [Consulté le: 07-oct-2019].
- [174] Bouhnik Y. (1993) Survie et effets chez l’homme des bactéries ingérées dans les laits fermentés. *Le lait*, 73 (2), 241-247.
- [175] Drouault S. et Corthier G. (2001) Effets des bactéries lactiques ingérées avec des laits fermentés sur la santé. *Vet. Res.*, 32 (2), 101-117.
- [176] Bianchi-Salvador B., Gotti M., Brughera F. et Polinelli U. (1978) Etude sur les variations de la flore lactique et bifide intestinale par rapport à l’administration des cellules lactiques du yaourt. *Le Lait*, 58 (571-572), 17-42.

[177] Yao A. A., Egounlety M., Kouame L. P. et Thonart P. (2009) Les bactéries lactiques dans les aliments ou boissons amylicés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest: leur utilisation actuelle. *Ann Méd Vét*, 153, 54-65.

ANNEXES

Annexe 1 : Détermination de la teneur en matière sèche (NF V18-109)

Principe

Il consiste à sécher une masse connue de l'échantillon à 105°C dans une étuve isotherme jusqu'à masse constante (24h environ). Après refroidissement dans un dessiccateur, les échantillons sont pesés à nouveau. La teneur en eau représente la différence de masse avant et après passage à l'étuve.

Mode opératoire

L'échantillon est introduit dans les coupelles préalablement nettoyées, séchées pendant 30 minutes à 105° C à l'étuve ; puis refroidies dans un dessiccateur. Après avoir noté la masse C_v de la nacelle vide, on y introduit une masse d'échantillon et l'ensemble est porté dans l'étuve à 105 °C. Après 24 heures, la masse $C_{echt\ sec}$ de la nacelle contenant l'échantillon séché est notée.

Expression des résultats

La matière sèche est donnée par la formule :

$$MS = \frac{C_{echt\ sec} - C_v}{P.E} \times 100$$

MS : Matière sèche (g/100g) ;

$C_{echt\ sec}$: Masse capsule + échantillon sec ;

C_v : Masse capsule à vide ;

$P.E$: Prise d'essai (g).

Annexe 2 : Détermination des minéraux (NF V 76-101)

Principe

Les cendres sont déterminées par méthode gravimétrique après avoir calciné l'échantillon à analyser dans un four à moufles à $525 \text{ °C} \pm 25 \text{ °C}$.

Mode opératoire

- Evaporer à sec 25 ml ou 25 g de l'échantillon à analyser dans une capsule de platine préalablement pesée (C_v).
- Chauffer lentement dans une hotte d'aspiration le résidu sec sur une plaque chauffante jusqu'à ce que la majeure partie des constituants organiques soit brûlée.
- Calciner le résidu dans un four à moufles à $525 \pm 25 \text{ °C}$ pour parachever la combustion du carbone et jusqu'à ce que le résidu de combustion soit devenu blanc.
- Laisser refroidir la capsule à température ambiante dans un dessiccateur et peser rapidement ($C_{cendres}$).

Expression des résultats

La teneur en minéraux est donnée par la formule :

$$C = \frac{C_{cendres} - C_v}{P.E} \times 100$$

C : Teneur en minéraux (g/100g) ;

$C_{cendres}$: Masse capsule + cendres ;

C_v : Masse capsule à vide ;

$P.E$: Prise d'essai (g).

Annexe 3 : Détermination du pH (NF V 05-108)

Principe

La mesure du pH de l'échantillon s'effectue par potentiométrie.

Mode opératoire

Si l'échantillon contient des quantités notables de gaz carbonique, éliminer autant que possible ce dernier en agitant vigoureusement l'échantillon dans un erlenmeyer fermé (puis en l'ouvrant de temps en temps), ou en utilisant une méthode par ultrasons, jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de gaz.

La détermination du pH dans les produits solides ou pâteux se fait après une étape de mise en solution. Pour ce faire, on pèse 10g d'échantillon que l'on complète à 100 ml. Puis, on immerge l'électrode du pH-mètre pour procéder à la lecture du pH.

Annexe 4 : Détermination de l'acidité titrable (NF V 05-101)

Principe

Titration potentiométrique à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium.

Réactifs

Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 0,1N

Solutions tampon de pH connu

Mode opératoire

Dans les produits solides

- Peser $m = 1,5$ g d'échantillon découpé en petit morceaux et les placer dans une fiole conique avec un barreau aimanté et ajouter 40 ml d'eau déminéralisée. Mélanger jusqu'à obtention d'un liquide homogène.
- Adapter un réfrigérant à reflux à la fiole conique puis chauffer à l'aide d'un agitateur magnétique chauffant pendant 30 minutes à 100°C.
- Refroidir, transvaser quantitativement le contenu dans une fiole jaugée de 50 ml et compléter jusqu'au trait-repère avec de l'eau déminéralisée. Bien mélanger, transvaser une partie aliquote dans un godet et prendre le pH.
- Prélever à la pipette, dans la mesure du possible une quantité suffisante d'échantillon afin que 5 à 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium neutralisent la prise d'essai, rajouter 30 ml d'eau déminéralisée et le verser dans un bêcher muni d'un barreau aimanté.
- Mettre en marche l'agitateur et à l'aide du titrateur effectuer le dosage jusqu'à un pH de 8,1, en se référant à la fiche d'utilisation de l'appareil.
- Effectuer trois déterminations sur le même échantillon.

Dans les produits liquides

- Prélever une partie aliquote de l'échantillon homogénéisé.
- Filtrer sur papier filtre.
- Prélever dans la mesure du possible de 25 ml de filtrat et les verser dans une fiole jaugée de 250 ml, ajuster avec de l'eau déminéralisée.
- Prélever à la pipette, dans la mesure du possible une quantité suffisante d'échantillon afin que 5 à 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium neutralisent la prise d'essai
- Mettre en marche l'agitateur et à l'aide du titrateur effectuer le dosage jusqu'à un pH de 8,1, en se référant à la fiche d'utilisation de l'appareil.
- Effectuer trois déterminations sur le même échantillon.

Expression des résultats

L'acidité titrable est donnée par les formules :

Cas des produits solides

$$A = N_b * V_b * \frac{50}{PE} * \frac{100}{m}$$

Cas des produits liquides

$$A = \frac{N_b * V_b}{PE}$$

A : Acidité titrable en meq/100g ou eq/l ;

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

V_b : Volume de la solution de soude versé (ml) ;

PE : Prise d'essai d'échantillon (ml) ;

m : Masse d'échantillon (g)

Annexe 5 : Détermination de l'acidité volatile (NF V 05-118)

Principe

Titration des acides volatils séparés du vin par entraînement à la vapeur d'eau et rectification des vapeurs. L'acidité du dioxyde de soufre libre et du dioxyde de soufre combiné distillés dans ces conditions doit être retranchée de l'acidité du distillat. L'acidité de l'acide sorbique éventuellement ajouté au vin doit également être retranchée.

Remarque : L'acide salicylique utilisé dans certains pays pour stabiliser les vins préalablement à l'analyse se retrouve en partie dans le distillat. Il est nécessaire de le doser et de le défalquer de l'acidité.

Réactifs

Acide tartrique cristallisé

Solution d'hydroxyde de sodium (0,1 M)

Solution de phénolphtaléine à 1% dans l'alcool

Mode opératoire

Préparation de l'échantillon : élimination du dioxyde de carbone

Placer environ 50 ml de vin dans une fiole à vide ; agiter et en même temps faire le vide au moyen de la trompe à vide d'eau. L'agitation doit durer 1 à 2 min.

Entraînement à la vapeur d'eau

Placer 20 ml de vin décarboniqué

Ajouter 0,5 g environ d'acide tartrique. Recueillir au moins 250 ml de distillat

Titration

Titration par la solution 0,1 M d'hydroxyde de sodium en présence de 2 gouttes de solution de phénolphtaléine, soit V_b ml le volume versé.

Expression des résultats

L'acidité volatile est donnée par la formule :

$$A = \left[\frac{N_b \times V_b}{V_0} \right] \times P_m$$

A : Acidité volatile en g H_2SO_4/l ;

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

V_b : Volume de la solution de soude versé en ml ;

V_0 : Prise d'essai de boisson en ml ;

P_m : Poids moléculaire de l'acide sulfurique (H_2SO_4) en g/mol.

Annexe 6 : Détermination des polyphénols totaux (Georgé et al., 2005)

Principe

Les polyphénols sont déterminés par la méthode de Folin-Ciocalteu qui consiste à oxyder les groupements oxydables des phénols en milieu basique. Les produits de réduction de couleur bleue ont une intensité d'absorption proportionnelle à la quantité de polyphénols présents. Les absorbances sont lues à 760 nm. Les résultats sont corrigés par la suite des substances interférentes.

Réactifs

Réactif de Folin-Ciocalteu dilué au dixième avec de l'eau distillée

Solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3 à 75g/l)

Acide gallique 5 mg/ml

Acétone

Mode opératoire

Préparation de la gamme d'étalonnage

A partir d'une solution mère d'acide gallique (polyphénols de référence) à 5 mg/ml, on établit des solutions filles de concentrations variant de 0,01 à 0,1g/l. Les solutions filles de 500 µl de volume sont ensuite dosées par Folin-Ciocalteu. Les valeurs d'absorbance obtenues permettent de tracer la droite d'étalonnage.

Dosage des échantillons

- Peser une masse de 0,1g d'échantillon
- Ajouter 10 ml d'acétone/eau 70/30 (v/v)
- Agiter pendant 30 min à 25°C (température ambiante)
- Déposer 50 µl de l'extrait dans un tube à vis
- Ajouter 450 µl d'eau distillée
- Ajouter 2,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu dilué au 1/10
- Agiter au vortex et incuber pendant 2 min à température ambiante
- Ajouter 2,5 ml d'une solution de carbonate de sodium à 75g/l
- Agiter au vortex et incuber à 50°C dans un bain marie pendant 15 min.
- Mesurer l'absorbance à la longueur de 760 nm contre de l'eau distillée.

Un témoin avec de l'eau distillée à la place de l'extrait est réalisé dans les mêmes conditions.

Expression des résultats

La concentration en polyphénols totaux est donnée par les relations :

Cas des produits solides

$$C_p = \frac{(A - b)}{a} * 10 * \frac{10}{1000} * \frac{100}{m}$$

Cas des produits liquides

$$C_p = \frac{(A - b)}{a} * Fd$$

C_p : Teneur en polyphénols totaux exprimée en g équivalent acide gallique/100g ou g équivalent acide gallique/l ;

A : Absorbance de l'échantillon ;

a : Coefficient directeur de la droite d'étalonnage = 3,12 ;

b : Ordonnée à l'origine de la droite d'étalonnage = 0,0696 ;

Fd : Facteur de dilution ;

m : Masse de l'échantillon (g).

Annexe 7 : Détermination des Tanins (Joslyn, 1970)

Principe

Les tanins sont dosés selon la méthode colorimétrique de Folin Denis, décrite par Joslyn, 1970. Le principe est basé sur la réduction de l'acide phosphomolybdique et tungstique en milieu alcalin, en présence de tanins pour donner une coloration bleue dont l'intensité est mesurée à 760 nm sous 1 cm d'épaisseur.

Réactifs

Réactif de Folin Denis

Solution saturée de carbonate de sodium Na_2CO_3 à 43,75 g/100ml

Mode opératoire

Dosage des échantillons

Dans une fiole de 100 ml, on introduit :

- 1 ml d'échantillon ;
- 5 ml de réactif de Folin Denis ;
- 10 ml de la solution saturée de Na_2CO_3 ;
- compléter au volume avec de l'eau distillée.

Après agitation mécanique, la préparation repose pendant 30 minutes, la mesure de la densité optique est faite à 760 nm. Un témoin avec de l'eau distillée à la place de l'extrait est réalisé dans les mêmes conditions.

Préparation de la gamme d'étalonnage

Une gamme étalon d'acide tannique (1 g/l) est préparée dans les mêmes conditions dont les concentrations allant de 0 à 0,1 g/l.

Expression des résultats

La concentration en tanins est donnée par la relation :

$$C_T = \frac{(DO - b)}{a} * fd$$

C_T : Concentration tanins en g équivalent acide tannique/l ;

DO : Absorbance de l'extrait ;

b : Ordonnée à l'origine de la droite d'étalonnage ($b = -0,034$) ;

a : Coefficient de la droite d'étalonnage ($a = 7,28$) ;

fd : Facteur de dilution.

Annexe 8 : Détermination de l'activité antioxydante (Adaramola et al., 2016)

Principe

La méthode est basée sur la dégradation du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH). Un antioxydant aura la capacité de donner un électron singulet au radical synthétique DPPH de coloration violette pour le stabiliser en DPPH de coloration jaune-verte.

Réactifs

Méthanol

Solution de DPPH à 0,1 mM

Quercétine

Mode opératoire

Dans le protocole d'analyse, 2 ml de DPPH (0,1 mM dans du méthanol) ont été introduits dans un tube à essais contenant 0,5 ml d'extrait. Le mélange a été agité pendant 5 minutes, puis incubé à l'obscurité et à la température ambiante pendant 30 minutes. L'absorbance a été lue à 517 nm contre un blanc ou contrôle (0,5 ml d'extrait et 2 ml de méthanol).

Expression des résultats

L'activité antioxydante est évaluée par la formule :

$$AAO = \frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{extrait}}}{A_{\text{contrôle}}}$$

AAO : Activité antioxydante en pourcentage d'inhibition du DPPH ;

A_{contrôle} : Absorbance du contrôle ;

A_{extrait} : Absorbance de l'échantillon.

Annexe 9 : Détermination des indices de couleur (NF EN ISO 11664)

Principe

Selon le principe de base de la colorimétrie, toutes les couleurs peuvent être représentées comme un espace colorimétrique tridimensionnel, où chaque couleur est définie par trois paramètres indépendants. Une notation colorimétrique comprend trois nombres, ou coordonnées, qui sont utilisés pour localiser une couleur dans un modèle spécifique d'espace colorimétrique et sert d'adresse ou de description. Il existe différents espaces colorimétriques comme le système CIE 1976 (L^* a^* b^*) ou CIE LAB est le plus utilisé pour caractériser la couleur.

Mode opératoire

L'espace colorimétrique sélectionné est : l'espace L^* a^* b^* . Avant chaque mesure, un étalonnage est effectué. Le focus est positionné sur l'échantillon. Le diamètre de la sphère d'intégration doit être inférieur ou égal à la taille de la surface de l'échantillon. Trois flashes sont nécessaires à chaque mesure. Ils sont effectués automatiquement par le colorimètre.

Expression des résultats

Les valeurs des indices de couleur sont directement lues sur l'écran du colorimètre.

Annexe 10 : Détermination des sucres réducteurs (Luff-Schoorl)

Principe

La liqueur sucrée est oxydée à chaud par une solution cupro-alcaline et l'excès de liqueur cuprique est titré par iodométrie. Parallèlement, on titre la liqueur cupro-alcaline.

Réactifs

Solution cupro-alcaline

Solution d'iodure de potassium (KI) à 30%

Solution d'acide sulfurique (H₂SO₄) à 25%

Solution de thiosulfate de sodium (Na₂S₂O₃) à 0,1N

Mode opératoire

- Peser avec précision 1g ou 1 ml de l'échantillon
- Diluer la prise d'essai dans 100 ml d'eau déminéralisée
- Agiter et filtrer sur papier
- Diluer le filtrat si nécessaire. Soit d le facteur de dilution.
- Prélever 25 ml de filtrat dilué dans une fiole conique de 250 ml
- Ajouter 25 ml de solution cupro-alcaline
- Ajouter quelques billes de verre
- Porter à ébullition (qui doit être atteint rapidement)
- Maintenir l'ébullition pendant 10 min exactement
- Refroidir immédiatement sous un courant d'eau froide
- Ajouter 10 ml de solution d'iodure de potassium à 30 %
- Ajouter 25 ml d'acide sulfurique à 25 %
- Titrer par la solution 0,1 N de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon
- Effectuer un dosage témoin dans lequel les 25 ml du filtrat sont remplacés par 25 ml d'eau distillée.

Expression des résultats

La teneur en sucres réducteurs en mg/100 g ou mg/100 ml de produit est donnée par la relation :

$$C = m * \frac{100}{25} * d * \frac{100}{P.E}$$

m : Masse de sucre (en mg), correspondant à la différence de volume entre le blanc et l'échantillon (V₀-V₁) dans le tableau de Luff Schoorl ;

d : Facteur de dilution ;

$P.E$: Prise d'essai (en g ou en ml).

Annexe 11 : Détermination des sucres totaux (Luff-Schoorl)

Principe

Le principe est basé sur l'hydrolyse par HCl pendant 3 minutes d'ébullition. La liqueur sucrée est oxydée à chaud par une solution cupro-alcaline et l'excès de liqueur cuprique est titré par iodométrie. Parallèlement, on titre la liqueur cupro-alcaline.

Réactifs

Solution cupro-alcaline

Solution d'iodure de potassium (KI) à 30%

Solution d'acide sulfurique (H₂SO₄) à 25%

Solution de thiosulfate de sodium (Na₂S₂O₃) à 0,1N

Mode opératoire

- Prélever 1g ou 1ml de l'échantillon ;
- Diluer dans 50 ml d'eau déminéralisée ;
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique (d = 1,18) ;
- Mélanger et placer au bain marie bouillant pendant 3 min ;
- Refroidir puis ajouter quelques gouttes de lessive de soude ;
- Transvaser dans une fiole de 100 ml et compléter au trait de jauge ;
- Diluer le filtrat si nécessaire. Soit d le facteur de dilution.
- Prélever 25 ml de filtrat dilué dans une fiole conique de 250 ml
- Ajouter 25 ml de solution cupro-alcaline
- Porter à ébullition (qui doit être atteint rapidement)
- Maintenir l'ébullition pendant 10 min exactement
- Refroidir immédiatement sous un courant d'eau froide
- Ajouter 10 ml de solution d'iodure de potassium à 30 %
- Ajouter 25 ml d'acide sulfurique à 25 %
- Titrer par la solution 0,1 N de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon
- Effectuer un dosage témoin dans lequel les 25 ml du filtrat sont remplacés par 25 ml d'eau distillée.

Expression des résultats

La teneur en sucres totaux en mg/100 g ou mg/100 ml de produit est donnée par la relation :

$$C = m * \frac{100}{25} * d * \frac{100}{P.E}$$

m : Masse de sucre (en mg), correspondant à la différence de volume entre le blanc et l'échantillon (V₀-V₁) dans le tableau de Luff Schoorl ;

d : Facteur de dilution ;

P.E : Prise d'essai (en g ou en ml).

Extrait table des valeurs pour 25 ml de réactif selon Luff-Schoorl

Thiosulfate de sodium Na₂S₂O₃ 0,1N (ml)	Glucose, fructose, sucre inverti (mg)	Lactose (mg)	Maltose (mg)
1	2,4	3,6	3,9
2	4,8	7,2	7,8
3	7,2	11,0	11,
4	9,7	14,7	15,6
5	12,2	18,2	19,6
6	14,7	22,1	23,5
7	17,2	25,8	27,5
8	19,8	29,5	31,5
9	22,4	33,2	35,5
10	25,0	37,0	39,5
11	27,6	40,8	43,5
12	30,3	44,6	47,5
13	33,0	48,4	51,6
14	35,7	52,2	55,7
15	38,2	56,0	59,8
16	41,3	59,9	63,9
17	44,2	63,8	68,0
18	47,1	67,7	72,2
19	50,0	71,7	76,5
20	53,0	75,7	80,9
21	56,0	79,8	85,4
22	59,1	83,9	90,0
23	62,2	88,0	94,6

Annexe 12 : Détermination de la teneur en éthanol (NF V 05-107)

Principe

La détermination est basée sur la séparation de l'éthanol par distillation, puis oxydation en milieu sulfurique par le dichromate de potassium. L'excès du dichromate est dosé par le sulfate de fer(II) et d'ammonium en présence d'orthophénantroline ferreuse.

Réactifs

Solution d'acide sulfurique à 50%

Granulés d'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2

Solution de dichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) à 45,572 g/l

Solution de Sulfate de fer (II) et d'ammonium hexahydraté $\text{Fe(NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$ ou sel de Mohr à 170,2 g/litre

Mode opératoire

Distillation

Diluer la prise d'essai avec 50 ml d'eau distillée, et transvaser quantitativement dans le ballon à distiller, rincer le vase de pesé avec au plus 120 ml d'eau distillée, en recueillant l'eau de rinçage dans le ballon.

Rendre le produit légèrement alcalin (pH voisin de 8), à l'aide des granulés d'hydroxyde de calcium. Ajouter des billes de verre ou des morceaux de porcelaine pour régulariser l'ébullition. Distiller ; recueillir le distillat dans une fiole jaugée de 100 ml, après y avoir introduit préalablement 10 ml d'eau distillée et fait plonger l'allonge jusqu'au fond.

Le distillat doit être recueilli à une température relativement basse. Si nécessaire, plonger la fiole dans l'eau fraîche. Compléter le volume contenu dans la fiole jaugée avec de l'eau distillée jusqu'au trait repère.

Oxydation

Dans le flacon de 250 ml à col rodé, verser 20 ml exactement mesuré de la solution de dichromate, puis 20 ml d'acide sulfurique dilué et agiter. Ajouter 10 ml de distillat exactement mesuré. Agiter et attendre ensuite au minimum 30 minutes en agiter de temps en temps.

Le mélange obtenu ne doit en aucun cas prendre la coloration verte du cation chrome, ce qui indiquerait une teneur trop forte en éthanol de la prise d'essai. Si un tel cas e produisait, recommencer l'oxydation (ou même la distillation), en prélevant un volume de distillat (ou une prise d'essai) moins importante, et en tenir compte dans les calculs.

Titration

Titration l'excès de dichromate au moyen de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium en présence d'orthophénantroline ferreuse. L'excès de dichromate doit être au moins égal à 20% de la quantité utilisée pour l'essai à blanc.

Expression des résultats

La teneur en éthanol est donnée par la formule :

$$T_{\text{ethanol}} = 12,44 * \left(\frac{1 - V_{\text{échantillon}}}{V_{\text{témoin}}} \right)$$

T_{ethanol} : Teneur en éthanol en ml/100ml ;

$V_{\text{échantillon}}$: Volume de sel de Mohr versé en ml pour titrer l'échantillon ;

$V_{\text{témoin}}$: Volume de sel de Mohr versé en ml pour titrer le témoin.

Annexe 13 : Détermination des protéines (NF V 03-050)

Principe

Minéralisation d'une prise d'essai par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation de l'ammoniac libéré qui, recueilli dans une solution d'acide borique, est titré par une solution d'acide sulfurique. Détermination de la teneur en azote et calcul de la teneur en protéines brutes.

Réactifs

Catalyseurs en pastilles (sélénium et sulfate de cuivre)

Acide sulfurique concentré ($d = 1,84$)

Solution d'acide borique à 40g/l

Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 33%

Solution d'acide sulfurique ou d'acide chlorhydrique à 0,1 N

Indicateurs mixtes (Vert de bromocrésol et Rouge de méthyle)

Mode opératoire

Minéralisation

- Introduire la prise d'essai (1 g) dans le tube de minéralisation.
- Ajouter une pastille de catalyseurs et 20 ml d'acide sulfurique concentré
- Mélanger soigneusement de manière à assurer un mouillage complet de la prise d'essai.
- Placer les tubes dans le bloc de minéralisation préchauffé à $420\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$.
- Après 2 h minimum de minéralisation, laisser refroidir.

Distillation

- Le minéralisât est repris dans une fiole de 250 ml
- Prendre une aliquote de 25ml et placé dans le tube de distillation
- Ajouter 60 ml de soude 33 % pour neutraliser l'excès d'acide et rendre basique l'aliquote
- Distiller et recueillir le distillat dans une fiole conique de 250 ml contenant au préalable 25 ml d'acide borique et un indicateur mixte (en général on utilise le rouge de méthyle plus le vert de bromocrésol qui est rouge en milieu acide et vert en milieu basique).

Titrage

L'ammoniaque recueilli dans la fiole conique est dosée par de l'acide sulfurique 0,1N. Soit un volume V versé.

Expression des résultats

La teneur en azote, N, exprimée en pourcentage de produit, est obtenue à l'aide de la formule :

$$N = \frac{(V_1 - V_0) \times T \times 0,014 \times 100}{m}$$

V_0 : volume, en millilitres, de la solution d'acide sulfurique utilisée pour l'essai à blanc ;

V_1 : volume, en millilitres, de la solution d'acide sulfurique utilisée pour la prise d'essai ;

T : normalité de la solution d'acide sulfurique utilisée lors du titrage ;

m : masse, en grammes, de la prise d'essai.

La valeur en protéines est obtenue par le produit de la teneur en azote et le facteur conventionnel de 5,70.

Annexe 14 : Suivi de la maturation de la boisson « Boumkaye »

Evolution du pH en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Boumkaye » 1	« Boumkaye » 2
0	4,62	4,26
7	3,45	3,15
14	3,58	3,22
21	3,12	3,24
28	2,95	3,12
35	2,89	3,18
42	2,88	3,12

Evolution de l'acidité titrable (mEq/100g) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Boumkaye » 1	« Boumkaye » 2
0	1,81	3,41
7	3,85	17,88
14	5,62	11,34
21	7,37	15,58
28	7,53	7,86
35	11,33	8,47
42	10,68	10,76

Evolution de la teneur en éthanol (g/100g) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Boumkaye » 1	« Boumkaye » 2
0	0,00	0,00
7	3,69	6,34
14	6,60	-
21	-	6,75
28	6,61	6,38
35	6,76	6,56
42	6,78	6,65

Annexe 15 : Suivi de la stabilité des boissons « Boumkaye » stérilisées

Evolution du pH en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (mois)	« Boumkaye » brut		« Boumkaye » fermenté	
	4°C	25°C	4°C	25°C
0	6,31	6,31	3,63	3,63
1	6,31	6,31	3,52	3,63
2	6,51	6,73	3,83	3,80
3	6,52	6,84	3,97	3,98
4	6,42	6,49	3,93	4,03
9	5,07	5,09	3,63	3,62
12	5,08	5,05	3,65	3,62

Evolution de l'acidité titrable (mEq/100g) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (mois)	« Boumkaye » brut		« Boumkaye » fermenté	
	4°C	25°C	4°C	25°C
0	1,09	1,09	7,97	7,97
1	1,24	1,09	8,94	7,97
2	0,94	0,94	7,75	7,50
3	0,88	1,00	7,00	6,50
4	1,38	2,13	10,00	11,50
9	0,94	1,06	10,75	9,50
12	1,13	1,13	9,75	8,25

Evolution de la teneur en éthanol (g/100g) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (mois)	« Boumkaye » brut		« Boumkaye » fermenté	
	4°C	25°C	4°C	25°C
0	-	-	3,59	3,59
1	-	-	3,42	3,25
2	-	-	3,22	3,62
3	-	-	3,55	3,48
4	-	-	3,09	3,63
9	-	-	3,66	3,68
12	-	-	3,62	3,49

Evolution de l'indice brun en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (mois)	« Boumkaye » brut		« Boumkaye » fermenté	
	4°C	25°C	4°C	25°C
0	39,08	39,08	41,69	41,69
1	31,46	39,08	46,36	46,74
2	21,94	24,19	32,41	31,85
3	34,59	24,46	30,09	33,13
4	35,62	24,62	36,64	33,23
9	24,83	25,62	30,27	37,47
12	28,47	28,41	28,15	31,58

Evolution de l'indice jaune en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (mois)	« Boumkaye » brut		« Boumkaye » fermenté	
	4°C	25°C	4°C	25°C
0	36,14	36,14	41,69	41,69
1	31,71	36,14	42,35	41,69
2	24,55	25,64	32,63	31,49
3	24,23	25,55	30,76	32,49
4	24,82	25,93	35,30	32,34
9	26,50	27,07	31,12	35,99
12	28,57	28,98	33,33	30,26

Annexe 16 : Suivi de l'extraction des composés phytochimiques des lianes d'*Abrus pulchellus*

Suivi des tanins (mg/100ml) au cours de la macération des lianes d'*Abrus pulchellus*

Durée d'extraction (heures)	Extrait témoin	Extrait à 25°C	Extrait à 80°C
2	1,3	0,7	1,2
4	1,35	0,8	1,61
6	1,58	1,2	1,63
10	1,58	1,23	1,60
12	1,6	1,3	1,58
24	1,59	1,55	1,55
36	1,61	1,58	1,54
48	1,60	1,6	1,59

Suivi des polyphénols (mg/100ml) au cours de la macération des lianes d'*Abrus pulchellus*

Durée d'extraction (heures)	Extrait témoin	Extrait à 25°C	Extrait à 80°C
2	0,1	0,7	1,15
4	0,1	0,9	1,55
6	0,8	-	1,57
10	0,88	1,27	1,56
12	0,9	-	1,57
24	1,3	-	1,58
36	1,4	1,42	1,59
48	1,44	1,45	1,57

Annexe 17 : Suivi de la maturation des boissons « Boumkaye » optimisées

Evolution du pH en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Boumkaye » Témoin	« Boumkaye » optimisé 1	« Boumkaye » optimisé 2
0	6,58	6,7	6,65
7	3,33	3,45	3,43
14	3,35	3,42	3,39
21	3,32	3,33	3,35
28	3,34	3,36	3,35

Evolution de l'acidité titrable (mEq/100g) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Boumkaye » Témoin	« Boumkaye » optimisé 1	« Boumkaye » optimisé 2
0	2,1	2,2	2,2
7	12,2	15	14
14	13	-	14,3
21	12,5	16,3	15
28	13,1	16,5	14,8

Evolution de la teneur en éthanol (g/100g) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Boumkaye » Témoin	« Boumkaye » optimisé 1	« Boumkaye » optimisé 2
0	0	0	0
7	3,2	3,1	3,3
14	3,4	3,3	3,4
21	3,1	3,4	3,5
28	3,2	3,5	3,4

Evolution de la concentration en tanins (mg/100g) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Boumkaye » Témoin	« Boumkaye » optimisé 1	« Boumkaye » optimisé 2
0	52,42	55,80	45,04
7	69,89	71,29	52,42
14	79,05	74,46	69,89
21	75,89	77,79	79,05
28	78,28	81,55	75,89

Evolution de la concentration en polyphénols (mg/100g) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Boumkaye » Témoin	« Boumkaye » optimisé 1	« Boumkaye » optimisé 2
0	105,32	105,67	98,05
7	120,11	111,21	103,54
14	138,05	134,66	104,62
21	129,21	139,18	135,07
28	140,04	137,82	132,02

Annexe 18 : Etude de la maturation de l'hydromel « Bessoudioury »

Evolution du pH en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	HR1	HR2	HP1	HP2
0	3,91	3,82	3,81	3,72
7	3,665	3,605	3,525	3,51
14	3,79	3,69	3,565	3,555
21	3,81	3,75	3,595	3,605
28	3,81	3,76	3,62	3,605

Evolution de l'acidité titrable (mEq/100ml) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	HR1	HR2	HP1	HP2
0	8,15	8,34	6,2	7
7	10,9	10,95	11,75	11,9
14	9,45	9,5	10,4	10,55
21	7,85	7,30	10,05	9,25
28	11,90	9,70	11,80	12,35

Evolution de la teneur en éthanol (ml/100ml) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	HR1	HR2	HP1	HP2
0	3,45	3,21	2,12	1,95
7	6,86	6,06	6,97	6,94
14	8,88	8,18	8,83	8,80
21	8,83	8,26	8,02	8,32
28	9,75	9,34	9,57	9,58

Annexe 19 : Suivi de la teneur en éthanol (ml/100ml) de la boisson « Mbite » au cours de la maturation

Durée de stockage (jours)	« Mbite » 1	« Mbite » 2	« Mbite » 3
0	0,51	0	0
1	-	2,97	0
2	4,09	4,04	1,85
3	4,73	4,95	3,52
4	4,48	5,09	3,70
5	5,25	5,03	4,18
6	5,03	5,09	4,05
7	5,05	5,09	4,05

Annexe 20 : Suivi de la teneur en éthanol (ml/100ml) de la boisson « Mbite » au cours des essais de fermentation contrôlée

Durée de fermentation (heures)	MC1	MC2	MB1	MB2
0	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,29	0,33	0,00	0,33
12	2,55	2,76	2,00	2,05
24	4,67	4,87	2,21	2,21
30	4,80	4,71	3,94	4,54
48	5,24	5,34	5,12	5,16

Annexe 21 : Etude de la maturation de la boisson « Niéniébane »

Evolution du pH en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Niéniébane »
0	4,38
2	4,32
4	2,95
9	2,81
15	2,81

Evolution de l'acidité titrable (mEq/100ml) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Niéniébane »
0	4,83
2	7,45
4	8,63
9	20,23
15	19,90

Evolution de la teneur en éthanol (ml/100ml) en fonction de la durée de stockage

Durée de stockage (jours)	« Niéniébane »
0	0
2	0,52
4	0,75
9	0,74
15	0,93

DIAGNOSTIC DU PROCÉDE ET CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET BIOCHIMIQUE D'UNE BOISSON FERMENTEE A BASE DE MIL : LE BOUMKAYE

Oumar Ibn Khatab CISSE^{1,2}, Guedel FAYE¹, Mahamat SEID ALI³, Nicolas Cyrille AYEISSOU^{1,2*},
Mady CISSE^{1,2}, Mariama DIATTA¹ et Mama SAKHO^{1,2}

¹Ecole Supérieure Polytechnique, UCAD, Dakar BP 5085, Sénégal

²Centre d'Etudes sur la Sécurité Alimentaire et les Molécules Fonctionnelles

³Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Doba, Tchad

* Correspondance, courriel : nayessou@yahoo.fr

Résumé

Le mil (*Pennisetum glaucum* L.) est une céréale de première importance en Afrique de par sa composition en substances glucidiques et son utilisation pour la production de bières traditionnelles diverses. La boisson « Boumkaye » très peu connue et circonscrite dans la région de Casamance au Sénégal en est une. Elle est réputée avoir des propriétés thérapeutiques grâce de l'incorporation d'extrait aqueux des lianes d'*Abrus pulchellus*. Ainsi l'objectif de ce travail a consisté d'en décrire le procédé et de déterminer les composants biochimiques majeurs à partir de deux sites de production. Les résultats montrent que contrairement aux procédés classiques de brasserie, il n'a pas été décelé d'étapes séparées de maltage ni de brassage. La boisson de mil « Boumkaye » est caractérisée par un pH de 3,15, une teneur en éthanol de 6,34 g / 100 g et la présence de polyphénols pouvant atteindre 54,46 mg / 100 g. Le taux de protéines atteignant 10,37 en fait un aliment nourrissant plutôt qu'une boisson classique.

Mots-clés : *Pennisetum glaucum* L., boissons fermentées traditionnelles africaines, Boumkaye, *Abrus pulchellus*.

Abstract

Diagnostic processes and physic-chemical and biochemical characterization of a fermented drink made from millet called "Boumkaye"

Millet (*Pennisetum glaucum* L.) is a major cereal in Africa and usually used for the production of traditional uses beers. The drink « Boumkaye » is little known beer circumscribed in the Casamance region of Senegal. It is reputed to have therapeutic properties due to the aqueous extract of *Abrus pulchellus* creepers. Thus the objective of this work was to describe the process and determine the major biochemical components from two production sites. Results show that unlike conventional methods of brewing; there was not detected separate step of malting and brewing. This beer called « Boumkaye » is characterized by a low pH of 3.15, an ethanol content of 6.34 g / 100 g and the presence of polyphenols up to 54.46 mg / 100 g. The protein rate reaching 10.37 % indicate that in fact it is a nutritious food rather than a drink.

Keywords: *Pennisetum glaucum* L., african traditional fermented beverages, Boumkaye, *Abrus pulchellus*.

1. Introduction

Les céréales sont des produits de première importance en Afrique et constituent une importante source énergétique et de micronutriments [1]. Au Sénégal, le mil *Pennisetum glaucum L.* est la céréale la plus cultivée avec 42 % de la production céréalière totale [2]. Dans la région de Casamance au Sénégal, le mil est utilisée pour la production d'une boisson alcoolisée appelée « Boumkaye » et réputée avoir des vertus thérapeutiques. Ces dernières lui sont attribuées à cause de l'introduction des extraits aqueux d'*Abrus pulchellus* lors de la préparation. *Abrus pulchellus* est une liane grimpante à tige mince, légèrement poilue et jaune appartenant à la famille des Fabacées. C'est une plante médicinale qui pousse dans la zone tropicale notamment en Afrique de l'ouest [3]. L'espèce est connue pour ses nombreuses utilisations en médecine traditionnelle pour traiter les maux gastriques, mais également pour ses propriétés pharmacologiques et anticancéreuses [4, 5]. Malgré son importance sociologique dans cette zone sud du Sénégal, les travaux relatifs à cette bière traditionnelle sont inexistantes. Ainsi, les objectifs de ce présent travail visent à décrire le procédé de fabrication du Boumkaye et à établir ses caractéristiques physicochimiques et biochimiques.

2. Matériel et Méthodes

2-1. Diagnostic des procédés de fabrication

Le procédé de fabrication de cette boisson est suivi et diagnostiqué auprès de deux producteurs du terroir afin d'en percevoir les variabilités. Chaque opération unitaire est identifiée et décrite. Les flux de matières et paramètres physiques sont répertoriés. Sur les sites de transformation, les informations sont ensuite enrichies par des observations, des enregistrements (température, durée), des mesures (poids, volume), des interviews aux opérateurs. La description des procédés est réalisée à deux reprises sur chaque site de production. Ce travail sur site permet de produire le plus fidèlement possible cette boisson au laboratoire selon les pratiques séculaires de sa localité d'origine.

2-2. Matériel végétal

Les échantillons analysés sont constitués des boissons de « Boumkaye » obtenus au cours des diagnostics sur les deux sites de production. Deux échantillons par site sont acheminés au laboratoire pour les besoins des analyses biochimiques.

2-3. Méthodes analytiques

Le pH, l'acidité titrable, la matière sèche, les sucres réducteurs et totaux, la teneur en éthanol ont été évalués selon les méthodes normalisés AFNOR [6].

2-4. Analyses statistiques

Les résultats analytiques obtenus sont soumis à l'analyse de la variance (ANOVA) avec le logiciel STATISTICA 7.1. Les différences statistiques avec une valeur de probabilité supérieure à 0,05 sont considérées significatives.

3. Résultats

3-1. Le procédé de fabrication

Les suivis réalisés sur les deux sites ont permis d'établir un diagramme de production. Il comporte trois parties majeures et distinctes : la production d'un extrait aqueux par macération des lianes d'*Abrus pulchellus* ; la préparation de la bouillie de mil et une dernière phase de fermentation pour en obtenir le « Boumkaye ».

3-1-1. L'extrait aqueux d'*Abrus pulchellus* (Figure 1)

Les lianes d'*Abrus pulchellus* (Figure 2a) sont macérées pendant trois à quatre jours dans l'eau pour les ramollir et faciliter l'extraction des principes actifs. Les lianes ramollies sont ensuite triturées au mortier de façon ménagée puis trempées dans une bassine d'eau. Cette opération est répétée plusieurs fois afin d'en retirer suffisamment l'écorce (Figure 2b). L'extrait est ensuite filtré pour être utilisé lors de la phase suivante de préparation de la bouillie (Figure 2c).

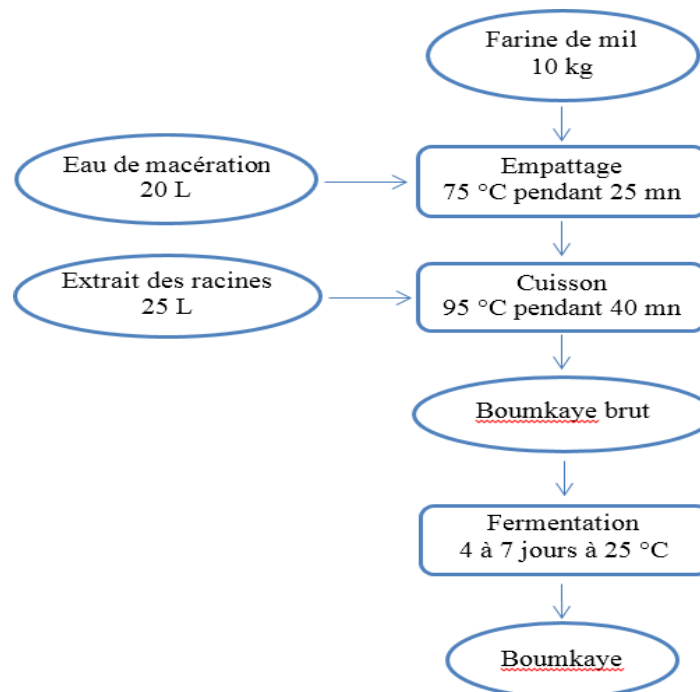


Figure 1 : Diagramme d'obtention de l'extrait aqueux des lianes d'*Abrus pulchellus*



Figure 2 : Lianes d'*Abrus pulchellus* avant (a) et après (b) trituration-trempage et extrait aqueux (c)

3-1-2. Préparation et phase de fermentation (Figure 3)

La farine de mil est mise en pâte dans un ratio de 10 kg/20 L au cours d'une première phase de cuisson : c'est l'empattage qui dure 25 à 30 minutes et amène la pâte à une température maximale de 75°C. L'eau utilisée au cours de cette phase est l'eau de macération. La deuxième phase de cuisson est amorcée après ajout de 25 litres d'extrait des lianes d'*Abrus pulchellus*. La cuisson est réalisée à 95°C pendant 40 minutes et permet d'obtenir après refroidissement un « Boumkaye brut » qui peut être consommé. Cependant ce produit intermédiaire est conservé à température ambiante, pour subir une fermentation pendant 4 à 7 jours pour donner le « Boumkaye » proprement-dit (Figure 4).

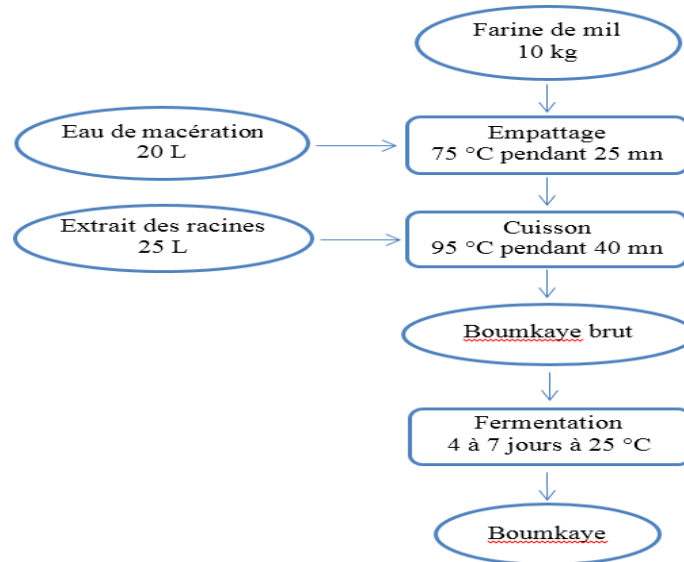


Figure 3 : Diagramme de fabrication du Boumkaye



Figure 4 : La boisson de Boumkaye

3-2. Caractéristiques physico-chimiques de la boisson « Boumkaye »

Les boissons de « Boumkaye » obtenues lors des diagnostics ont fait l'objet de caractérisations physicochimiques, biochimiques et nutritionnelles dont les résultats sont présentés dans le **Tableau 1**. Les produits ont un pH acide qui tourne autour de 3 et surtout une teneur en éthanol, maximale de 6,34 g/ 100 g. Les sucres totaux sont en très faibles quantités (1,2 à 2,1 g / 100 g) et les polyphénols de 31,86 et 54,46 mg/ 100 g. Les deux essais de production sur le « Boumkaye » révèlent des différences significatives des constantes à l'exception des polyphénols, de la matière sèche et des matières minérales.

Tableau 1 : *Caractéristiques physicochimiques et biochimiques du Boumkaye*

Analyse	Boumkaye 1	Boumkaye 2
Matière sèche (g / 100g)	10,34 ± 0,44 ^a	10,64 ± 0,23 ^a
Cendres (g / 100g)	0,69 ± 0,19 ^a	0,88 ± 0,19 ^a
pH	3,45 ± 0,03 ^a	3,15 ± 0,05 ^b
Acidité titrable (mEq / 100 g)	3,85 ± 0,12 ^a	17,88 ± 0,70 ^b
Polyphénols (mg / 100 g)	31,86 ± 0,01 ^a	54,46 ± 0,01 ^a
Ethanol (g / 100 g)	3,72 ± 0,03 ^a	6,34 ± 0,00 ^b
Sucres réducteurs (g/100g)	0,93 ± 0,1 ^a	0,42 ± 0,01 ^b
Sucres totaux (g / 100 g)	1,04 ± 0,00 ^a	2,10 ± 0,02 ^b
Protéines (g / 100 g)	2,39 ± 0,00 ^a	10,37 ± 0,00 ^b

4. Discussion

Les procédés traditionnels (Tchapalo ou pili-pili, Dolo) comme ceux industriels (bières), sont surtout marqués par les étapes successives de maltage, de brassage et de fermentation. Celles-ci atteignent ainsi des teneurs en alcool de l'ordre de 4,1 à 5,03 g/100 g pour le « Tchapalo » [7-9] et 2,3 pour le « Dolo » [10, 11] avant d'être consommées. Le but du brassage est de solubiliser les composés bioactifs et la production d'enzymes lytiques nécessaires pour la production de sucres fermentescibles [12] tandis que la fermentation s'opère après ajout de levain. Le procédé de fabrication de la boisson de mil dite « Boumkaye » est différent et présente des particularités qui sont l'absence de maltage, une étape de brassage sans séparation du drèche et l'usage d'extraits aqueux d'origine végétale. Les lianes de *A. pulchellus* subissent une macération dont le but est de les ramollir afin de faciliter l'étape de trituration. L'étape de trituration-trempage peut être considérée comme la phase d'extraction proprement dite des éléments actifs nécessaires à la fabrication du « Boumkaye ». L'empâtage est une phase d'hydrolyse de l'amidon contenu dans la farine de mil. Il est effectué à chaud pour permettre l'activation des différentes enzymes issues de l'extrait de *A. pulchellus*, responsables de la conversion de l'amidon en sucres simples fermentescibles. Ainsi le « Boumkaye » obtenu conserve tous les ingrédients (nutriments et fibres) du mil et constitue par conséquent un véritable aliment plus qu'une boisson.

Les taux de protéines le confirment bien (**Tableau 1**). Par ailleurs, la durée de cuisson est aussi réduite par rapport au procédé du « Tchapalo » et du « Dolo ». La fermentation intervient au cours de la conservation de la bouillie à température ambiante sans ajout de ferments. Il s'agit donc d'une phase de maturation où la boisson acquiert ses propriétés organoleptiques qui lui sont caractéristiques. Ces diverses biotransformations seraient probablement amorcées par des germes endogènes au mil. Ces derniers subissent une sélection sous l'action de l'extrait des lianes d'*Abrus pulchellus*. En effet, cet extrait semble avoir une action antifongique au cours de la fermentation. Dans le cas du « Tchapalo » et du « Dolo », il est utilisé les extraits de tiges de gombo *Hibiscus esculentus*. Il est alors tenté de déduire que l'étape de brassage est réalisée par l'extrait aqueux d'*A. pulchellus*. Ce qui supposerait la présence d'enzymes hydrolytiques à mettre en évidence. L'analyse biochimique du Boumkaye a montré son caractère acide avec un pH de 3, qui est la conséquence des réactions de fermentation. Le « Boumkaye » est fortement alcoolisé (6,34 g/100 g) et comparable aux valeurs obtenues avec le « Tchapalo » à base de sorgho de la Côte d'Ivoire (5,03 ± 0,77 g/100 g) [7, 8], contrairement au « Dolo » du Burkina Faso (2,3 ± 0,25 g/100 g) [9]. Les teneurs en alcool du « Boumkaye » sont d'autant plus remarquables que le process n'adjoint aucun ferment.

Il serait alors aussi probable qu'il s'y déroule une fermentation lactique en parallèle à celle alcoolique, telle que suggérée pour les procédés traditionnels [8, 9, 13]. Dans les conditions de stockage, aucune invasion de moisissures n'a été observée. En effet, les bactéries lactiques interviennent dans la fabrication de nombreux produits alimentaires notamment les laits fermentés et yaourt, les boissons fermentées alcoolisées. Elles participent à l'augmentation de la conservation des mets fermentés et à l'inhibition des germes pathogènes [14, 15]. Par ailleurs, les boissons traditionnelles préparées à partir du mil, du sorgho, du riz, et du maïs jouent un rôle parfois central dans les cultures des peuples. En effet, souvent attachées aux traditions d'hospitalité et de convivialité, elles servent à sceller des relations entre les individus [16]. Cependant le « Boumkaye » à l'origine est préparé et utilisé en thérapie contre les fièvres et les maux de ventre. En effet, des renseignements ethnobotaniques et ethno taxonomiques révèlent qu'étymologiquement le nom local de *A. pulchellus* est « Kaboune » et signifie « médicaments » en langue Diola. Progressivement son usage s'est étendu lors des célébrations festives telles que les fêtes de récolte et d'initiation. De nos jours, le « Boumkaye » fait l'objet d'une activité lucrative dans les grandes villes et est consommé en dehors des périodes festives.

5. CONCLUSION

Le Boumkaye est une boisson fermentée traditionnelle à base de mil et préparée en présence d'un extrait de lianes d'*Abrus pulchellus*, espèce réputée pour ses nombreuses vertus thérapeutiques. Cette boisson ainsi obtenue possède des caractéristiques intéressantes en termes de pH et de teneur en éthanol. Comparée à quelques bières locales africaines, le « Boumkaye » présente une similarité par sa teneur en alcool, mais son process est exempté de maltage et de brassage. Ce travail fournit en ce sens une meilleure connaissance de cette bière traditionnelle et ouvre le chemin pour d'éventuelles études sur le rôle biotechnologique de l'extrait d'*Abrus pulchellus* au cours du stockage tant au niveau physico-chimique que microbiologique.

Remerciements

Les auteurs remercient le Centre d'Etudes sur la Sécurité Alimentaire et les Molécules Fonctionnelles (CESAM) du Réseau des Etablissements des Sciences de l'Ingénieur des Pays Francophones (RESCIF) basé à l'Université CAD de Dakar, pour son appui technique.

Références

- [1] - I. LESTIENNE, M. BUISSON, V. LULLIEN-PELLERIN, C. PICQ, S. TREECHE, Losses of nutrients and anti-nutritional factors during abrasive decortication of two pearl millet cultivars (*Pennisetum glaucum*), *Food Chemistry*, 100 (2007) 1316 - 1323.
- [2] - A.A.FALL, M.LO, Etude de références sur les céréales: mil, sorgho, maïs et fonio au Sénégal, in "Etude de référence du programme sur la productivité agricole au Sénégal dans le cadre du projet WAAPP, Dakar, (2009) 138.
- [3] - J. B. M. LAMARCK, Illustrations méthodiques de l'Encyclopédie Méthodique, in "Encyclopédie Méthodique", Ed. Amarca, France, (1991) 394.
- [4] - R. H. M. J. LEMMENS, F. J. BRETELIER, *Abrus fruticosus* Wight & Arn, in "Medicinal and poisonous plants", Ed. Backhuys Publisher, *Plant Resources of South-East Asia*, 12(1)(1999) 76-77.

- [5] - S. MACHANA, N. WEERAPREEYAKUL, T. THITIMETHAROCH, B. SRIPANIDKULCHAI, Anticancer activity screening of Thai medicinal plants in human leukemic cell line MOLT-4, *EJC Supplements*, 8(5) (2010) 83-154.
- [6] - AFNOR, Produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits, in "Recueil de normes françaises", Ed. AFNOR, Paris, France, 1^{re} éd, (1982) 327.
- [7] - N.D.AMANE, Caractérisation physico-chimique d'une bière traditionnelle ouest africaine : le tchapalo, *Agronomie Africaine*, 17 (2) (2005) 143 - 152.
- [8] - S. AKA, N. T. DJENI, K. F. N'GUESSAN, K. C. YAO, K. M. DJE, Variabilité des propriétés physico-chimiques et dénombrement de la flore fermentaire du tchapalo, une bière traditionnelle de sorgho en Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 04 (2) (2008) 274 - 286.
- [9] - N. MAOURA, M. MBAIGUINAM, C. GAILLARDIN, J. POURQUIE, Suivi technique, analytique et microbiologique de la « bili bili », bière traditionnelle tchadienne. *Afrique SCIENCE*, 02(1) (2006) 69-82.
- [10] - J. P. HEBERT, La bière et le dolo au pays Dogon, J. P. HEBERT, D. GRIFFON, *Des bières et des hommes*, 25 juin 2003, Agropolis Museum, Montpellier, Editions Quae, France, (2012) 543 - 554.
- [11] - F. M. ABDOU-LATIF, I. H. N. BASSOLE, M. H. DICKO, Proximate composition of traditional local sorghum beer "dolo" manufactured in Ouagadougou, *African Journal of Biotechnology* 12 (13) (2013) 1517 - 1522.
- [12] - S. COLLIN, J. CROUZET, Polyphénols et procédés, Ed. Lavoisier, Paris, France, (2011) 336.
- [13] - R. VALYASEVI, R. S. ROLLE, An overview of small scale fermentation technologies in developing with special reference to Thailand : scope for their improvement, *International Journal of Food Microbiology*, 75 (3) (2002) 231 - 239.
- [14] - A. C. OUWEHAND, A. VON WRIGHT, Lactic Acid Bacteria : Microbiological and Functional Aspects, Ed. CRC Press, Boca Raton, USA, 4^e éd., (2011) 798.
- [15] - P. MENSAH, Fermentation - the key to food safety assurance in Africa? *Food Control*, 8 (5/6) (1997) 271 - 278.
- [16] - N. MAOURA, M. MBAIGUINAM, C. GAILLARDIN, Jacques POURQUIE, Suivi technique, analytique et microbiologique de la « bilibili », bière traditionnelle tchadienne. *Afrique SCIENCE*, 02(1) (2006) 69-82.

Process Diagnosis and Aging Effects on a Traditional Millet-Based Drink: *Boumkaye*

Oumar Ibn Khatab Cisse^{1,2}, Nicolas Cyrille Ayessou^{1,2*}, Papa Guedel Faye^{1,2}, Mady Cisse^{1,2}, Aida Coly Camara³, Aba Bodian⁴, Cheikh Ndiaye⁵, Mama Sakho^{1,2}, Codou Mar Diop^{1,2}

¹Ecole Supérieure Polytechnique, Cheikh Anta Diop University, Dakar, Sénégal

²Centre d'Etudes sur la Sécurité Alimentaire et les Molécules Fonctionnelles (CESAM), Dakar, Sénégal

³Entreprise AFBARD, Dakar, Sénégal

⁴Producteur de *Boumkaye* originaire de Baïla, Dakar, Sénégal

⁵Institut de technologie alimentaire (ITA) Dakar, Sénégal

Email: cisse87oumar@hotmail.com, *nayessou@yahoo.fr, guedougui@hotmail.com, mady.cisse@ucad.edu.sn, checknd@hotmail.com, mfsakho@yahoo.fr, cgmare@gmail.com

How to cite this paper: Cisse, O.I.K., Ayessou, N.C., Faye, P.G., Cisse, M., Camara, A.C., Bodian, A., Ndiaye, C., Sakho, and Diop, C.M. (2018) Process Diagnosis and Aging Effects on a Traditional Millet-Based Drink: *Boumkaye*. *Food and Nutrition Sciences*, 9, 464-473. <https://doi.org/10.4236/fns.2018.95036>

Received: March 12, 2018

Accepted: May 14, 2018

Published: May 17, 2018

Copyright © 2018 by authors and Scientific Research Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Boumkaye is a traditional fermented millet-based drink (*Pennisetum glaucum* L.) produced in Casamance (region in Senegal). Unknown and circumcised beverage, it has therapeutic properties due to aqueous creeper extracts from *Abrus pulchellus* plant and naturally present during the process. The objective of this work was to investigate the fabrication process of a millet-based beverage as an alternative source of nutrients. The diagnosis of beverage production by monitoring its physical and chemical parameters during two months of storage at room temperature was studied. The established manufacturing process, composed by a production of aqueous extracts after maceration of the *Abrus pulchellus* vines, a preparation of millet slurry, and a fermentation step to obtain the *Boumkaye*, has several features. The study of aging process showed probable lactic and alcoholic fermentations. Further, the finished *Boumkaye* was characterized by a high acidity (pH of 3), an alcohol content of 5 g/100g and contains an appreciable amount of polyphenols (54.46 mg/100g).

Keywords

Pennisetum glaucum L., *Abrus pulchellus*, Traditional Drinks, Fermentation, *Boumkaye*

1. Introduction

In Africa, many traditional beers are especially prepared from millet, sorghum,

rice and maize [1] [2]. These drinks are used in many cultural and social events showing hospitality and conviviality in lifestyle of most families. They are also used to strengthen relationships between individuals [3] [4]. Different reactions are initiated during the manufacture of traditional African beers, and usually continue until consumption according to empirical processes. In Casamance region (South of Senegal), a fermented drink called *Boumkaye* is considered to possess anthelmintic virtues related to aqueous extracts from the plant of *Abrus pulchellus*. *Abrus pulchellus* is a medicinal plant known for its many uses in traditional medicine for its pharmacological and anticancer properties, also to treat gastric problems [5] [6]. Despite its sociological importance in this southern zone of Senegal, the fabrication process of a traditional beer with *Abrus pulchellus* extracts has not previously been reported. In addition, ethnobotanical studies (Reference) revealed that many properties of *Boumkaye* drink were obtained during aging process. Therefore, the objective of this present study was to thoroughly investigate the manufacturing process of *Boumkaye* and its aging on physico- and biochemical changes that would explain traditional benefits previously mentioned. This would help to facilitate a large-scale production of this traditional fermented millet based beverage.

2. Materials and Methods

2.1. Diagnosis of Manufacturing Processes

Two production sites, AFBARD Company and traditional Baïla producers, were used in monitoring and diagnosing manufacturing of *Boumkaye* variability in the period of May to July.

Each operation unit was identified and described. Material flows and physical parameters were listed. In the sites, information was supplemented by observations, recordings (temperature, time), measurements (weight, volume), and interviews with different operators. The process description was performed twice in each production site. The same conditions were used in laboratory in order to similarly reproduce the fermented studied drink for the aging study.

2.2. Plant Material

The analyzed samples of *Boumkaye* drinks were obtained during the diagnoses. *Boumkaye* 1 was produced following AFBARD Company procedure; while *Boumkaye* 2 drinks was obtained as described in traditionally produced by Baïla producers. Two samples per site were analyzed. Analyses of each were performed in triplicate.

2.3. Analytical Methods

The pH, titratable acidity, dry matter, and the ethanol content were evaluated according to the AFNOR standard methods [7]. The reducing sugars and total

sugars were quantified by Luff Schoorl's method [7]. Total polyphenols were determined according to George method, in Gallic acid equivalent [8].

2.4. Statistical Analysis

The analysis of variance (ANOVA) tests on each factor were carried out with the STATISTICA 7.1 software. The objective was to compare significance of samples' analytical results for each parameter. Statistical differences with a probability value less than 0.05 ($P < 0.05$) were considered as significant.

2.5. Aging Study of The Fermented Drinks

The aging study was followed by monitoring and characterizing the evolution of parameters during the storage and/or manufacturing conditions. The crude *Boumkaye* obtained at the end of each diagnosis was kept at ambient temperature (25°C). A monitoring period of 7 days was carried out on each sample batch physicochemical and biochemical parameters during one month storage.

3. Results and Discussion

3.1. The Manufacturing Process

A production diagram was made following both studied sites. Thus, three different parts including the production of an aqueous extract by maceration of the creepers of *Abrus pulchellus* (Figure 1 and Figure 2); the preparation of the millet slurry and a final fermentation step to obtain the *Boumkaye* (Figure 3).

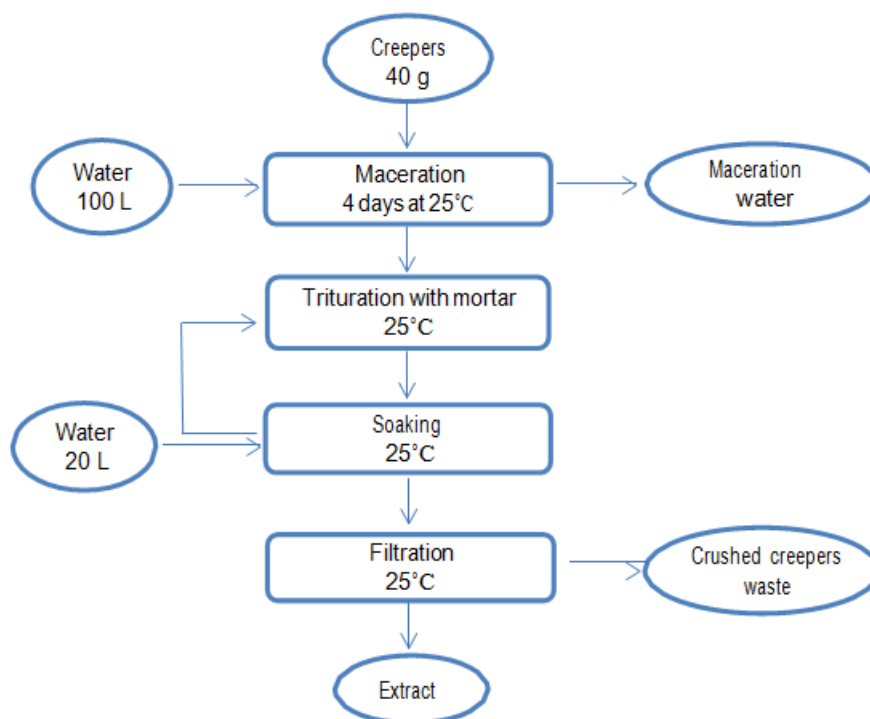


Figure 1. Diagram for obtaining the aqueous extract of the creepers of *Abrus pulchellus*.

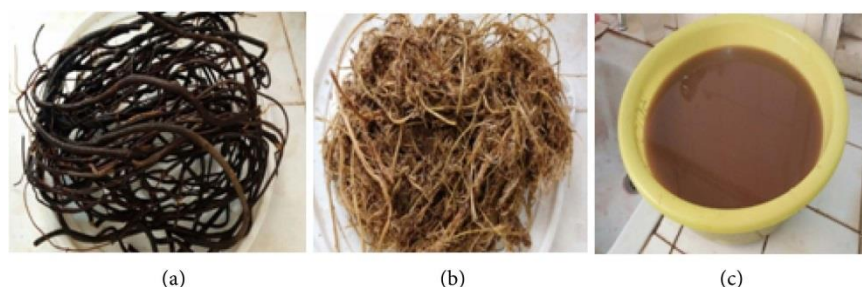


Figure 2. The creepers of *Abrus pulchellus* before (a) and after (b) trituration-soaking and aqueous extract (c).

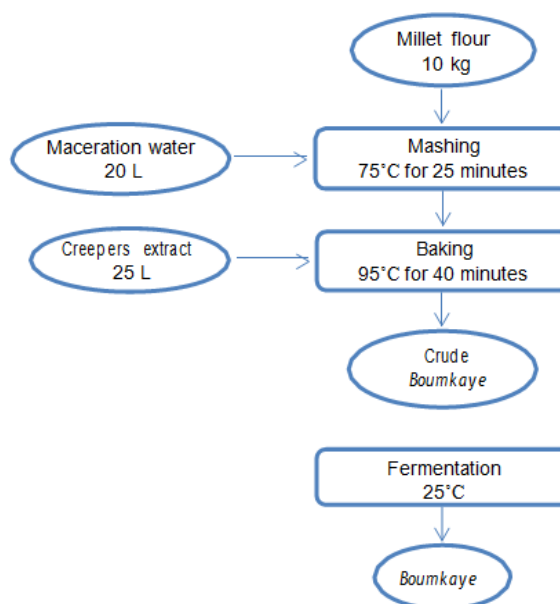


Figure 3. *Boumkaye*'s production diagram.

3.1.1. The Aqueous Extract of *Abrus pulchellus*

Three to four days of maceration in water of *Abrus pulchellus* creepers (**Figure 2(a)**) was done in order to soften and facilitate active ingredients' extraction. The softened lianas were then triturated with mortar in a controlled manner and then soaked in a basin of water. This operation was repeated several times in order to remove sufficiently the bark (**Figure 2(b)**). The extract was then filtered and the slurry was used in the next step of fermentation (**Figure 2(c)**).

3.1.2. Preparation of the Mixture and Fermentation Steps for *Boumkaye* Obtention

The millet flour was mixed with water from macerated *Abrus pulchellus* creepers in a ratio of 10 kg/20L (w:v) during a first cooking phase which lasts 25 to 30 minutes. In this period, a paste was formed and the dough was brought to a maximum temperature of 75°C. A second cooking phase was initiated after adding 25 liters of extract of the *Abrus pulchellus* creepers. The cooking was

carried out at 95°C for 40 minutes to obtain a crude *Boumkaye* which can be consumed. Furthermore, this intermediate product was stored at room temperature (.....°C) for (....) days, which allowed a fermentation step for the final *Boumkaye*.

Stages of malting, brewing and fermentation are the main components used in traditional (*Tchapalo*, *Dolo*) and industrial processes. The purpose of mixing was to solubilize the bioactive compounds and to produce lytic enzymes necessary for the production of fermentable sugars [9], while the fermentation takes place after adding leaven.

The manufacturing process for producing *Boumkaye* beverage is different and presents particular features different to malting, a brewing step without separation of the grains and the use of aqueous extracts of vegetable origin. The creepers of *A. pulchellus* underwent a maceration step which help softening and facilitating the trituration step. The trituration-soaking step could represent the actual extraction phase of the active compounds required during the production of *Boumkaye*. The paste formation was involved in the hydrolysis phase of the starch contained in the millet flour. It was carried out hot for enabling the activation of various enzymes, responsible of the starch conversion into simple fermentable sugars. Thus, *Boumkaye* could maintain most ingredients (nutrients and fibers) of the millet flours, and therefore constitute a real food rather than a drink. The cooking time was also reduced compared to the *Tchapalo* and *Dolo* process [10] [11]. A natural fermentation of the slurry at room temperature without adding ferments was performed. Therefore, a phase of aging was necessary where the drink acquired most of its characteristic organoleptic properties. These various biotransformations would probably be initiated by germs either endogenous to millet or derived from the extract of the creepers of *Abrus pulchellus*. In the case of *Tchapalo* and *Dolo*, extracts of okra stems *Hibiscus esculentus* are used [12]. It was tempted to deduce that the stirring step was carried out by the aqueous extract of *A. pulchellus*. This would imply the presence of hydrolytic enzymes in this extract.

3.2. Physico-Chemical Characteristics of The Raw *Boumkaye*

The *Boumkaye* drinks obtained during the diagnoses were subjected to physico-chemical, biochemical and nutritional characterizations. Results are presented in **Table 1**. Products pH was around 4 in the extracts millet based and titratable acidities were ranged from 1.62 to 3.4 mEq/100g. These results proved that the beverages were relatively non-acidic, and very favorable to the different fermentation reactions. The two production trials on *Boumkaye* revealed significant differences in the values with exception of polyphenols, dry matter and minerals.

3.3. Study of The Aging

The samples collected after the diagnosis were stored at room temperature (30°C).

Table 1. Physico-chemical and biochemical characteristics of the raw *Boumkaye*.

Analyzes	<i>Boumkaye</i> 1	<i>Boumkaye</i> 2
Dry matter (g/100g)	9.84 ± 0.07 ^a	11.47 ± 0.01 ^b
Ash (g/100g)	0.69 ± 0.19 ^a	0.88 ± 0.19 ^a
pH	4.62 ± 0.13 ^a	4.26 ± 0.00 ^b
Titrateable acidity (mEq/100g)	1.62 ± 0.17 ^a	3.40 ± 0.20 ^b
Polyphenols (mg galic acid/100g)	31.86 ± 0.01 ^a	54.46 ± 0.01 ^a
Reducing sugars (g/100g)	0.94 ± 0.00 ^a	1.90 ± 0.22 ^b
Total sugars (g/100g)	1.04 ± 0.00 ^a	2.10 ± 0.02 ^b
Protein (g/100g)	2.39 ± 0.00 ^a	10.37 ± 0.00 ^b

The analyzed parameters were related to fermentation reactions and the aging of *Boumkaye*. Thus, pH ([Figure 4](#)), titrateable acidity ([Figure 5](#)) and ethanol content ([Figure 6](#)) were followed in several batches of *Boumkaye* crude. The values obtained from studied products reflected a lower pH (how much?). This pH value could be explained by sugars consumption through the fermentation process. During the aging, increase of acid contents could be explained by a lactic fermentation, a conversion of reducing sugars into acids ([Figure 5](#)). At the same time, an alcoholic fermentation took place, explaining the increase of alcohol content (average of 5 g/100g) ([Figure 6](#)).

Many reactions occur during fermentation resulting of a decrease of reducing sugars. The consumption was reflected in decrease of pH during aging (maturation), due to combined effects of ethanol and organic acids. The pH firstly exerts a selective action on the microflora likely to develop in the medium. The increase of low pH protects the beverage from the development of any pathogenic flora without inhibiting the activity of the yeast. In addition, some authors stated that an important inhibition would occur at a very acidic pH (pH below 3) [[13](#)] [[14](#)]. Consequently, the decrease in pH by a production of fermented products (acid or alcohol) reduced the consumption rate of the carbonaceous substrate (reducing sugars) and consequently reduces productivity [[10](#)]. Therefore, ethanol becomes toxic to microorganisms beyond a certain value. This justifies the limiting pH of *Boumkaye* 3 found mostly in traditional African drinks [[11](#)] [[15](#)] [[16](#)] [[17](#)], unlike industrial beers which contain hops [[18](#)]. Two types of traditional beers were found according to composition and appearance during the sensory evaluation. These could be ranged from sweet, relatively light, non-acid with little material and acid beers, brown and opaque, resembling fluid porridge. The main difference between these two categories of beer was related to the duration of lactic fermentation [[19](#)]. Also, work on Rwandan *Ikigage* showed beneficial influence of the yeast from *Saccharomyces cerevisiae* species and lactic acid bacteria (*Lactobacillus fermentum*) on taste and aroma [[20](#)]. While in Ivorian *Tchapalo*, the production of bacteriocins by lactic acid bacteria inhibits the development and growth of many pathogenic germs of the genus

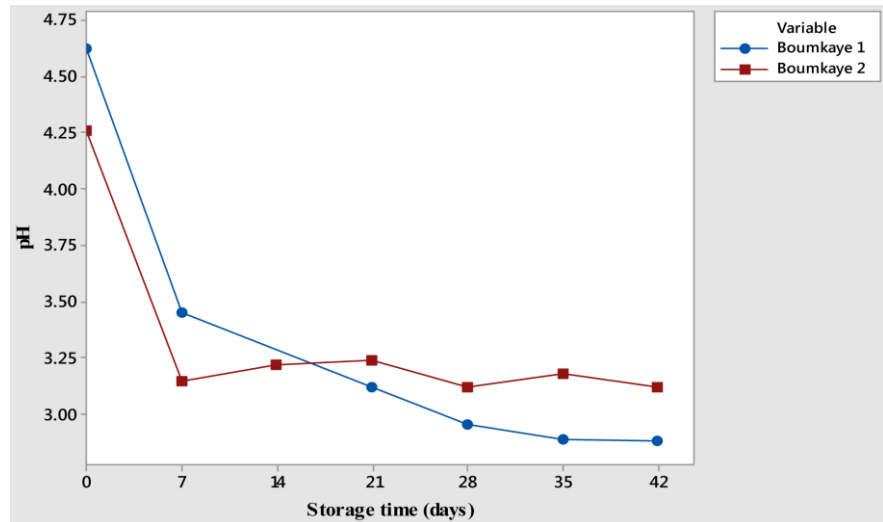


Figure 4. Evolution of the pH during the maturation of *Boumkaye*.

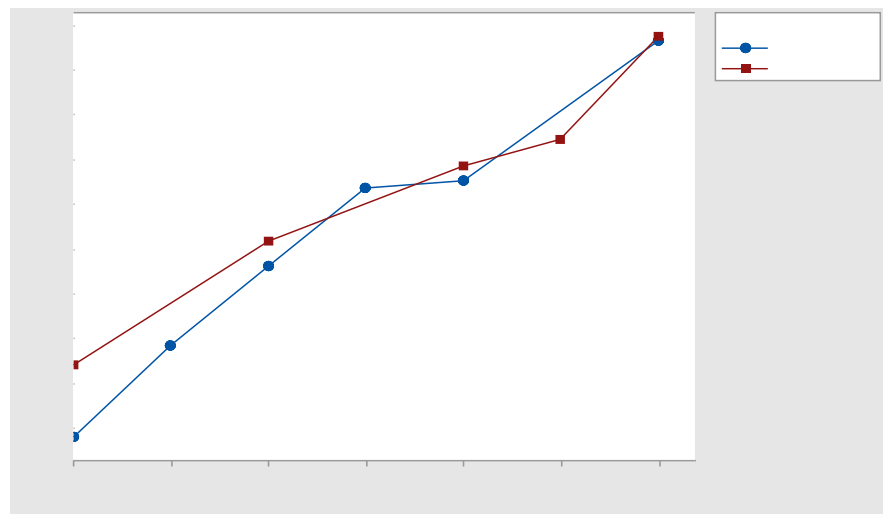


Figure 5. Evolution of the titratable acidity during maturation of *Boumkaye*.

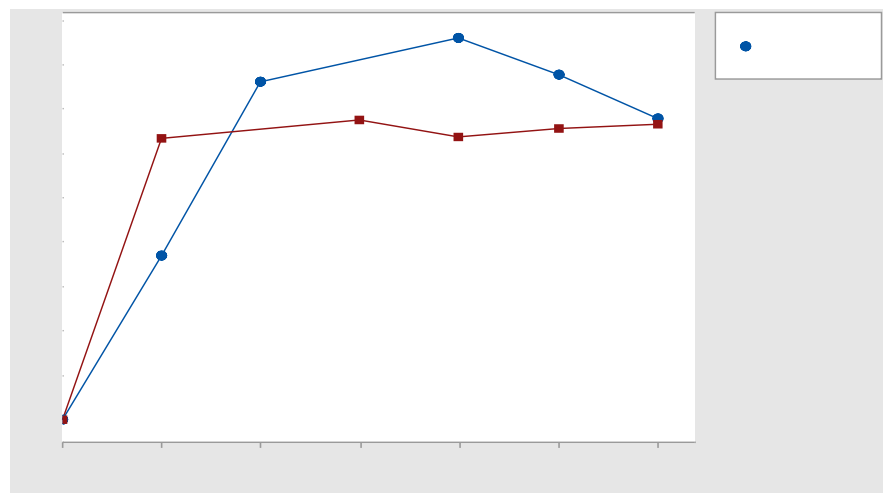


Figure 6. Evolution of the ethanol content during the maturation of *Boumkaye*.

Lactobacillus, *Listeria*, *Enterococcus*, *Streptococcus* [21]. The fermented *Boumkaye* was characterized by an ethanol content comparable to sorghum-based *Tchapalo* (5.03 ± 0.77 g/100g) [11][12], unlike *Dolo* (2.3 ± 0.25 g/100g) [22]. In short, the *Boumkaye* acquires its characteristic properties from a relatively long aging (42 days), corresponding to a double fermentation. The same conclusions have been drawn from many empirical processes for the manufacture of traditional fermented beverages [12][15][22].

4. Conclusion

Boumkaye is a traditional fermented millet-based drink associated with an extract of the creepers of *Abrus pulchellus*, known for its numerous therapeutic virtues. This beverage has a maturation cycle linked to a double fermentation: lactic and alcoholic. Compared to a few local African beers, the *Boumkaye* is similar in its alcohol content, but its process was free of malting and brewing. This work provides a better knowledge of this traditional beer and paves the way for possible studies on the biotechnological role of *Abrus pulchellus* extract during storage. The optimization of each step of the process is necessary in order to increase the productivity and to improve the technological aspects of *Boumkaye* for a better use by producers.

Acknowledgements

We thank the AFBARD Company through Mrs Aida Coly Camara and Mr. Aba Bodian who allowed us to realize the diagnosis of the manufacturing process.

References

- [1] Quin, P.J. (1959) Foods and Feeding Habits of the Pedi. Witwatersrand University Press, Johannesburg, 278.
- [2] Monjerezi, M., Vogt, R.D., Aagaard, P. and Saka, J.D.K. (2011) Hydro-Geochemical Processes in an Area with Saline Groundwater in Lower Shire River Valley, Malawi: An Integrated Application of Hierarchical Cluster and Principal Component Analyses. *Applied Geochemistry*, **26**, 1399-1413.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.05.013>
- [3] Dahouenon-Ahoussi, E., Degnon, R.G., Adjou, E.S. and Sohounhloue, D.C. (2012) Stabilisation de la bière produite à partir de matières amylacées locales (*Sorghum bicolor* et *Musa acuminata*) par adjonction de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*. *Journal Applied Biosciences*, **51**, 3596-3607.
- [4] Santiago-Urbina, J.A. and Ruíz-Terán, F. (2014) Microbiology and Biochemistry of Traditional Palm Wine Produced around the World. *International Food Research Journal*, **21**, 1261-1269.
- [5] Lemmens, R.H.M.J. and Breteler, F.J. (1999) *Abrus fruticulosus* Wight & Arn, in Medicinal and Poisonous Plant. Backhuys Publisher, Kerkwerve, 76-77.
- [6] Machana, S., Weerapreeyakul, N., Thitimetharoch, T. and Sripanidkulchai, B. (2010) Anticancer Activity Screening of Thai Medicinal Plants in Human Leukemic Cell Line MOLT-4. *EJC Supplements*, **8**, 83-154.
[https://doi.org/10.1016/S1359-6349\(10\)71391-4](https://doi.org/10.1016/S1359-6349(10)71391-4)

- [7] Association Française Normalisation (1982) Produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits, in Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits légumes, jus de fruits. 1th Edition, AFNOR, Paris, 327.
- [8] Georgé, S., Brat, P., Alter, P. and Amiot, M.J. (2005) Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal Agriculture Food Chemistry*, **53**, 1370-1373. <https://doi.org/10.1021/jf048396b>
- [9] Collin, S. and Crouzet, J. (2011) Polyphénols et procédés. Lavoisier, Paris, 326.
- [10] Sawadogo-Lingani, H., Lei, V., Diawara, B., Nielsen, D.S., Moller, P.L., Traoré, A.S. and Jakobsen, M. (2007) The Biodiversity of Predominant Lactic Acid Bacteria in Dolo and Pito Wort, for Production of Sorghum Beer. *Journal Applied Microbiology*, **103**, 765-777. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03306.x>
- [11] Amane, N.D., Assidjo, N.E., Gbongue, M.A., Bohoussou, K. and Cardot, P. (2005) Caractérisation physico-chimique d'une bière traditionnelle ouest africaine: le Tchapalo. *Agronomie Africaine*, **17**, 143-152.
- [12] Aka, S., Djeni, N.T., N'guessan, K.F., Yao, K. C. and Dje, K. (2008) Variabilité des propriétés physico-chimiques et dénombrement de la flore fermentaire du tchapalo, une bière traditionnelle de sorgho en Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, **4**, 274-286.
- [13] Thomas, K.C., Hynes, S.H. and Ingledew, W.M. (2002) Influence of Medium Buffering Capacity on Inhibition of *Saccharomyces cerevisiae* Growth by Acetic and Lactic Acids. *Applied and Environmental Microbiology*, **68**, 1616-1623. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.4.1616-1623.2002>
- [14] Torija, M.J., Beltran, G., Novo, M., Poblet, M., Rozes, N., Mas, A. and Guillamoä, J.M. (2003) Effect of Organic Acids and Nitrogen Source on Alcoholic Fermentation: Study of Their Buffering Capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 916-922. <https://doi.org/10.1021/jf020094r>
- [15] Valyasevi, R. and Rolle, R.S. (2002) An Overview of Small-Scale Food Fermentation Technologies in Developing Countries with Special Reference to Thailand: Scope for Their Improvement. *International Journal Food Microbiology*, **75**, 231-239. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00711-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00711-5)
- [16] Parawira, W., Kudita, I., Nyandoroh, M.G. and Zvauya, R. (2005) A Study of Industrial Anaerobic Treatment of Opaque Beer Brewery Wastewater in a Tropical Climate using a Full-Scale UASB Reactor Seeded with Activated Sludge. *Process Biochemistry*, **40**, 593-599. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.01.036>
- [17] Kayodé, A., Hounhouigana, J.D. and Nout, M.J.R. (2007) Impact of Brewing Process Operations on Phyta, Phenolic Compounds and *in Vitro* Solubility of Iron and Zinc in Opaque Sorghum Beer. *LWT Food Science and Technology*, **40**, 834-841. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.04.001>
- [18] Blandino, A., Al-Aseeri, M.E., Pandiella, S.S., Cantero, D. and Webb, C. (2003) Cereal-Based Fermented Foods and Beverages. *Food Research International*, **36**, 527-543. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(03\)00009-7](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(03)00009-7)
- [19] Lestienne, I. (2004) Contribution à l'étude de la biodisponibilité du fer et du zinc dans le grain de mil et conditions d'amélioration dans les aliments de complément. PhD Dissertation, Université Montpellier II, Montpellier, 229.
- [20] Lyumugabe, F., Uyisenga, J.P., Songa, E.B. and Thonart, P. (2014) Production of Traditional Sorghum Beer "Ikigagae" using *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus fermentum* and *Issatckenkia orientalis* as Starter Cultures. *Food Nutrition Sciences*, **5**, 507-515. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.56060>
- [21] Aka-Gbezo, S., N'Guessan, F.K., Djeni, T.N., Djè, M.K. and Bonfoh, B. (2014) Partial Characterization of Bacteriocins from Two *Pediococcus acidilactici* Strains Iso-

lated during Traditional Sorghum Beer Processing in Côte d'Ivoire. *Advances in Microbiology*, **4**, 1250-1259. <https://doi.org/10.4236/aim.2014.416135>

- [22] Maoura, N., Mbaiguinam, M., Gaillardin, C. and Pourquoi, J. (2006) Suivi technique, analytique et microbiologique de la bili bili, bière traditionnelle tchadienne. *Afrique Science*, **2**, 69-82.

Traditional Mead “Bessoudioury” from Senegal: Process and Characterization

Oumar Ibn Khatab CISSE^{1,2*}, Bou NDIAYE^{1,2}, Papa Guedel FAYE^{1,2}, Nicolas Cyrille AYEISSOU^{1,2}, Mathieu GUEYE³, Mady CISSE^{1,2}, Codou Mar DIOP^{1,2}

¹Ecole Supérieure Polytechnique, Cheikh Anta Diop University, Dakar, Sénégal

²Centre d'Etudes sur la Sécurité Alimentaire et les Molécules Fonctionnelles (CESAM), Dakar, Sénégal

³Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN), Cheikh Anta Diop University, Dakar, Sénégal

Email: *oumar.cisse@esp.sn, cheikbou20@yahoo.fr, guedougui@hotmail.com, nayessou@yahoo.fr, mathieu.gueye@ucad.edu.sn, mady.cisse@ucad.edu.sn, cgmare@gmail.com

How to cite this paper: Cisse, O.I.K., Ndiaye, B., Faye, P.G., Ayessou, N.C., Gueye, M., Cisse, M. and Diop, C.M. (2018) Traditional Mead “Bessoudioury” from Senegal: Process and Characterization. *Food and Nutrition Sciences*, 9, 1424-1433. <https://doi.org/10.4236/fns.2018.912103>

Received: November 13, 2018

Accepted: December 25, 2018

Published: December 28, 2018

Copyright © 2018 by authors and Scientific Research Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Mead is a beverage obtained by alcoholic fermentation of honey, with an ethanol content of 8% to 18% by volume. In Africa, mead manufacturing methods rely on heating honey and adding extracts of fruits, herbs or spices. “Bessoudioury” mead is then prepared according to the traditional process of the *Bassari* and *Bedick* peoples of Kedougou (Senegal). This work on “Bessoudioury” aims to describe and characterize the manufacturing processes. It was also to evaluate the chemical and microbiological characteristics. The study focused on three Kedougou production sites. The manufacturing process of “Bessoudioury” includes a honey heating, a formulation step by adding wine of either *Borassus aethiopicum* Mart. or *Elaeis guineensis*. This step is followed by a fermentation's one during two days. Wine is considered as the essential sources of yeasts for the production of alcohol. “Bessoudioury” has an ethanol content of 8% (v/v). Moulds and *Streptococcus* were not detected in this mead. According to its polyphenols content, this mead has a nutritional interest, but the process deserves to be reviewed to preserve nutrients.

Keywords

Honey, Mead, Fermentation, Bessoudioury

1. Introduction

Meads are beverages obtained by alcoholic fermentation of honey, with an ethanol content of 8% to 18% by volume [1] [2]. In Africa, bibliography indicates

that mead would even be anterior to fermented cereal beverages. The mead was then used as a holiday drink [3] [4] [5]. In Senegal, mead is known under the name of “Bessoudioury”. “Bessoudioury” (*Bessou* = drink, *dioury* = honey) is prepared according to the ancestral process of *Bassari* and *Bedick* peoples of the Kedougou’s region (Senegal).

African mead-making processes typically rely on heating honey [6] and adding fruit, herb or spice extracts [7]. These methods of preparation depend on local traditions [2]. “Kuri” of Cameroon and “Ogol” of Ethiopia are prepared from artisanal starters according to ancestral practices [8] [9]. “Bessoudioury” of Kedougou (Senegal) presents a particularity that this work proposes to describe for the first time from the point of view of diagnosis as biochemical and microbiological composition.

2. Materials and Methods

2.1. Diagnosis of Manufacturing Processes

The manufacturing processes of “Bessoudioury” mead were monitored and studied at three production sites in Kedougou’s region in December 2017. The process description was carried out twice at each production site. Each unit operation is identified and described. On the transformation sites, the information is then enriched by observations, records (temperature, duration), measurements (weight, volume), and interviews with operators.

2.2. Samples of Bessoudioury Mead

The products to be analyzed consisted of two types of meads formulated either with *Borassus* palm wine or palm wine. They were sent to the laboratory for biochemical and microbiological analyzes.

2.3. Physicochemical and Biochemical Analyzes

PH, titratable acidity, soluble solids content, reducing and total sugars, and ethanol content were evaluated according to standard AFNOR methods [10]. The volatile acidity of “Bessoudioury” was determined according to Mathieu’s method, by distillation and titration of volatile acids [11]. The total polyphenols were characterized by UV/Visible spectrophotometry (Analytik Jena, Specord 200 plus, Germany) according to the method of Geogé [12]. The color indices (browning index and yellow index) were determined by the L*a*b system [13] using a Konika Minolta laboratory colorimeter (Chroma Meter C5, Japan). Antioxidant activity was determined according to the percentage inhibition of honey-based extracts on the DPPH radical [14].

2.4. Microbiological Methods

The microbial floras sought for the characterization are total flora, yeasts, moulds and *Streptococcus*. Germs were counted according to French standards [15].

2.5. Statistical Analyzes

The analysis of variance compares the significance of the difference observed between the samples analyzed according to the probability threshold of 0.05. Principal Component Analysis (PCA) aims to define, by a geometric approach, the correlations between fermented honey extracts and physicochemical parameters. Data processing was done with Minitab software version 17.

3. Results and Discussion

3.1. Traditional Bessoudioury Manufacturing Process

The diagnosis of “Bessoudioury” process allows establishing the manufacturing diagram below (**Figure 1**). The method of preparation of “Bessoudioury” consists of heating the honey, a formulation step by adding *Borassus* palm wine or palm wine followed by fermentation.

The production of the Bassari mead begins with a 1/1 (v/v) dilution of the honey with water. The mixture then undergoes cooking for 1 h 30 mn at a maximum temperature of 100°C. Then, this intermediate product is cooled to 30°C (room temperature), ideal for the incorporation of *Borassus* palm wine or palm wine. Finally, this extract is stored at room temperature (30°C) for a fermentation and maturation stage of 2 days (**Figure 2**).

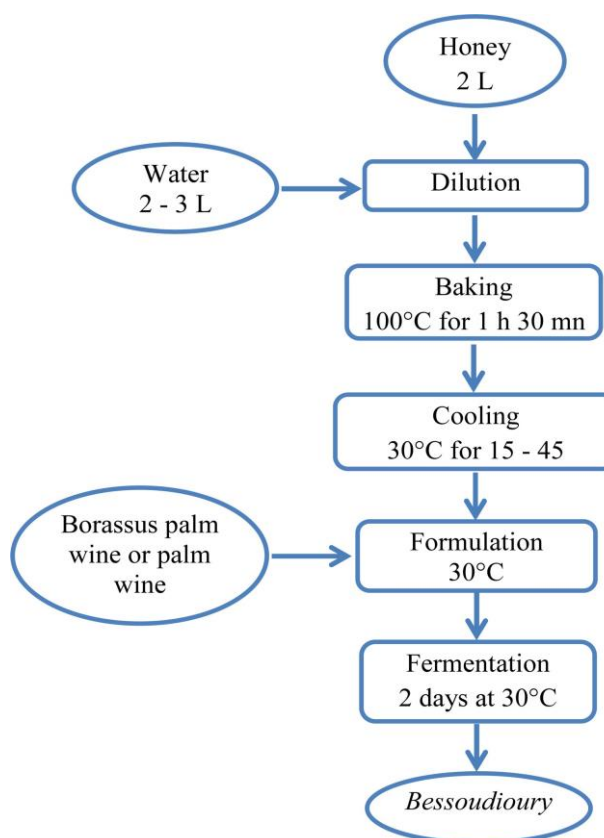


Figure 1. Production diagram of “Bessoudioury” mead.



Figure 2. Bessoudioury.

African artisanal methods are essentially a dilution of honey in water, followed by a fermentation step and a clarification step [8] [16]. The dilution reduces the osmotic pressure in the honey and then favors the fermentation step by yeasts. This step is important because osmotic pressure of honey inhibits the activity of the yeasts [6]. This ratio of honey/water varies from 1/1 for “Bessoudioury”, 2/5 for the Ethiopian mead “Tej” [17] and 1/3 for the Ethiopian mead “Ogol” [9]. The aim of the cooking step is to eliminate the bitterness compounds, and the autochthonous flora of honey. These flora is such us bacteria (*Bacillus*, *Micrococcus*), yeast (*Saccharomyces* spp.) and fungal (*Aspergillus*) [6]. This step certainly reduces the risk of spontaneous fermentations. Nevertheless, it may occures the degradation of the thermosensitive compounds such as the phenolic acids and the flavonoids of the honey [18]. Also, there is formation of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) which is an intermediate product of Maillard reactions due to high temperatures [19], [20]. The duration of cooking (1 h 30 mn) then justifies the low antioxidant activities compared to the Polish meads where the rate of inhibition of DPPH varies from 30% to 70% [21]. Inperspective of the work, it would be necessary to optimize the cooking time of “Bessoudioury”.

The water/honey mixture is inoculated with traditional leaven for 1 to 3 day fermentation at room temperature [8] [9] [17] followed by a maturation stage of 15 to 20 days for “Tej” [17] and 7 to 14 days for “Kuri” [8]. For the “Bessoudioury” production, this step of additional ferments is replaced by adding wine. In fact, yeasts are present in *Borassus* palm and palm wines [22] [23] [24] The presence of yeasts and lactic acid bacteria is well confirmed by our results at values of 2.4×10^5 at 5.8×10^6 CFU/mL for yeasts and 3.2×10^4 at 44×10^5 CFU/mL for lactic acid bacteria (**Table 1**). Any mould nor *Streptococcus* were found in “Bessoudioury”. The lactic acid bacteria and yeasts counted in the

Table 1. Microorganisms counted in fermented extracts (CFU/mL).

	<i>Borassus</i> palm wine	Palm wine	MB	MP
Total flora	1×10^6	1×10^5	3.2×10^5	1.6×10^5
Lactic acid bacteria	44×10^5	3.2×10^4	2.5×10^5	1.8×10^4
Yeasts	58×10^5	2.4×10^5	3.3×10^5	1.4×10^5
Moulds	0	0	0	0
<i>Streptococcus</i>	0	0	0	0

CFU: colony forming unit. MB: mead “Bessoudioury” prepared with added wine *Borassus* palm. MP: mead “Bessoudioury” prepared with added wine palm.

wines are directly involved in the process of spontaneous fermentation of the extracts of *Borassus* palm and palm [24] [25] [26]. Those two types of wine are obtained by extraction and fermentation of the sap of the tree. Their ethanol concentration varies between 5.5 and 8% (v/v) [24] [26]. Lactic acid bacteria are also involved in reducing the acidity of a wine by malolactic fermentation. Malolactic erosion accentuates the sensory profile of wine in terms of taste and aroma [27].

3.2. Physicochemical Characteristics of The Extracts of The Manufacturing Process

3.2.1. Main Components of Honey

Analysis of honey components (Table 2) confirmed its very high content of reducing sugars (80 g/100g), which is quite similar to the values found in samples of various origins: 78.9 - 81.2 g/100g for Romanian honey [20]; 70 - 73 g/100g for Brazilian honey [19]. The honey pH value of 4.06 is within the standard limit (pH 3.40 - 6.10) proposed by *Codex Alimentarius* [16]. The browning index and the brightness L determined by the L*a*b system are 16.2 and 20.82. The comparison with the results obtained by Kus (25.05) shows a higher level of browning. The fundamental difference lies in the brightness L with a value of 79.9 [18]. However, the yellow index of 18.02 is much lower compared to the Oroian data on honeys harvested in different plant species (37.6 - 57.0) [28].

The polyphenol content of the honey used for “Bessoudioury” production expressed in gallic acid equivalent is 75 mg/100 g). This concentration varies from 26 to 100 mg/100 g in Brazilian honeys [29]; from 32.17 to 119.42 mg/100 g for honeys from Tunisia [30]; and 54.30 mg/100 g for Cuba samples [31].

3.2.2. Physicochemical Characteristics of Bessoudioury

“Bessoudioury” end-product with *Borassus* palm wine (MB1 and MB2), and one with palm wine (MP1 and MP2) were evaluated at the, biochemical levels (Table 3). All *Bessoudioury* samples have an acid pH (3.56 - 3.79) comparable to the values found in the traditional African meads “Kuri” (pH 3.0) [8], “Ogol” (pH 3.8) [9], “Tej” (pH 3.02 - 4.90) [17]. There are no significant differences in terms of titratable acidity between palm and palm wines, and formulated fermented

Table 2. Physicochemical and biochemical characteristics of honey.

Analyzes	Honey
pH	4.06±0.01
Soluble dry matter (g/100 g)	81.8 ± 0.00
Titrateable acidity (g tartaric acid/100 g)	1.57 ± 0.21
Browning index	16.46 ± 0.36
Yellow index	18.02 ± 1.02
Total sugars (g/100 g)	90.71 ± 0.00
Reducing sugars (g/100 g)	81.58 ± 1.97
Polyphenols (mg gallic acid/100 g)	75.75 ± 8.89

Table 3. Characteristics of *Borassus* palm wine, palm wine and meads “Bessoudioury”.

Analyzes	<i>Borassus</i> palm wine	Palm wine	MB1	MB2	MP1	MP2
pH	3.96 ± 0.01 ^a	3.81 ± 0.01 ^b	3.79 ± 0.00 ^c	3.69 ± 0.00 ^d	3.57 ± 0.01 ^e	3.56 ± 0.0 ^f
Soluble dry matter (g/100 mL)	3.15 ± 0.07 ^a	3.1 ± 0.00 ^a	14.85 ± 0.07 ^b	19.55 ± 0.07 ^c	9.5 ± 0.00 ^d	9.5 ± 0.00 ^d
Titrateable acidity (g tartaric acid/100 mL)	1.05 ± 0.14 ^a	1.07 ± 0.14 ^a	1.41 ± 0.78 ^a	1.42 ± 0.00 ^a	1.56 ± 0.14 ^a	1.58 ± 0.49 ^a
Volatile acidity (g H ₂ SO ₄ /100 mL)	0.18 ± 0.02 ^a	0.16 ± 0.02 ^a	0.08 ± 0.02 ^b	0.03 ± 0.01 ^b	0.18 ± 0.01 ^a	0.19 ± 0.01 ^a
Ethanol (mL/100 mL)	2.41 ± 0.12 ^a	1.49 ± 0.11 ^b	8.88 ± 0.17 ^c	8.18 ± 0.05 ^c	8.83 ± 0.05 ^c	8.80 ± 0.20 ^c
Browning index	14.25 ± 0.02 ^a	12.23 ± 0.02 ^b	48.07 ± 0.03 ^c	51.36 ± 0.02 ^d	65.87 ± 0.45 ^e	59.65 ± 0.03 ^f
Yellow index	16.82 ± 0.01 ^a	14.59 ± 0.01 ^b	46.94 ± 0.01 ^c	49.03 ± 0.01 ^d	56.6 ± 0.54 ^e	54.87 ± 0.07 ^f
Reducing sugars (g/100 mL)	1.34 ± 0.00 ^a	1.44 ± 0.00 ^a	8.08 ± 0.22 ^b	13.31 ± 0.15 ^c	1.58 ± 0.20 ^a	1.15 ± 0.54 ^a
Antioxidant activity (% inhibition)	17.99 ± 1.07 ^a	31.23 ± 2.17 ^b	36.44 ± 0.35 ^c	43.76 ± 0.76 ^d	41.68 ± 1.09 ^d	29.98 ± 1.61 ^b
Polyphenols (mg gallic acid/100 mL)	38.08 ± 0.75 ^a	46.67 ± 15.29 ^{a,b}	76.60 ± 7.48 ^c	65.24 ± 0.88 ^{b,c}	103.71 ± 8.23 ^d	76.41 ± 0.84 ^c

MB1: mead “Bessoudioury” prepared with added wine *Borassus* palm, first production. MB2: mead “Bessoudioury” prepared with added wine *Borassus* palm, second production. MP1: mead “Bessoudioury” prepared with added wine palm, first production. MP2: mead “Bessoudioury” prepared with added wine palm, second production. ^{a,b,c}: values in columns labeled with different letters are significantly different (p < 0.05).

Bessoudioury. However, meads with the addition of *Borassus* palm wine (MB1 and MB2) have volatile acidity (0.03 - 0.08), much lower than those formulated with palm wine (0.18 - 0.19). “Bessoudioury” has an ethanol content of 8% (v/v), lower than that found in the traditional “Kuri” meads of Cameroon (15.4% according to [8]; Ethiopia (16.5% - 17.5% for “Ogol” [9]; 6.98% - 10.9% for “Tej” according to [17] and of South Africa (11.92 - 12.03 for “iQhilika” according to [2]).

Traditionally fruits and herbal extracts are used to impart particular flavors and tastes, but in the case of mead it seems not masking the flavor of honey [6]. The incorporation of *Borassus* palm and palm wines is therefore essential for the sensory qualities sought in “Bessoudioury”. In addition, researches on mead had already established different strains of *Saccharomyces cerevisiae* tested for their

resistance to high concentrations of ethanol and the osmotic stress of honey [32] [33]. These strains, quite similar to those used in oenology, are responsible for the biotransformation of glucose and fructose, in ethanol and carbon dioxide [6]. The volatile acidities established in *Bessoudioury* beverages, lower than acceptable limits in oenology [32], corroborate the hypothesis of a single alcoholic fermentation. This further confirms its sanitary and organoleptic quality. The acid pH (pH = 3) of both wines and finished mead is incompatible with the growth of most microorganisms. To this is added the bactericidal and antifungal effect of ethanol.

The polyphenol concentrations of “Bessoudioury” (65.24 - 103.71 mg/100 g) prove their best nutritional benefits compared to wines (38.08 - 46.67 mg/100 g). The high antioxidant activities confirm it well (29.98% - 43.76%). Antioxidant capacity is the main physiological role attributed to polyphenols. The antioxidant action of a phenolic compound can result from a combination of chemical events, including enzymatic inhibition, metal chelation, hydrogen donation and oxidation to a stable radical. In the body, free radicals are at the root of much oxidative degradation of macromolecules such as DNA and lipids. Polyphenols can act as antioxidants in different ways. By inhibiting the potential for cell and lipid degradation generated by free radicals, polyphenols would play a role in the protection against degenerative diseases, certain cancers and cardiovascular diseases [34] [35] [36].

The factorial design of the principal component analysis confirmed the three classes of products studied (*Borassus* palm and palm wines, MB1/MB2, MP1/MP2). Positive correlations were established between “Bessoudioury” and polyphenols, antioxidant activity and color indices. However, the correlation is stronger for drinks made by adding palm wine. The meads MP1 and MP2 also have a closer dependence on the volatile acidity along the second dimension of the factorial plane (Figure 3).

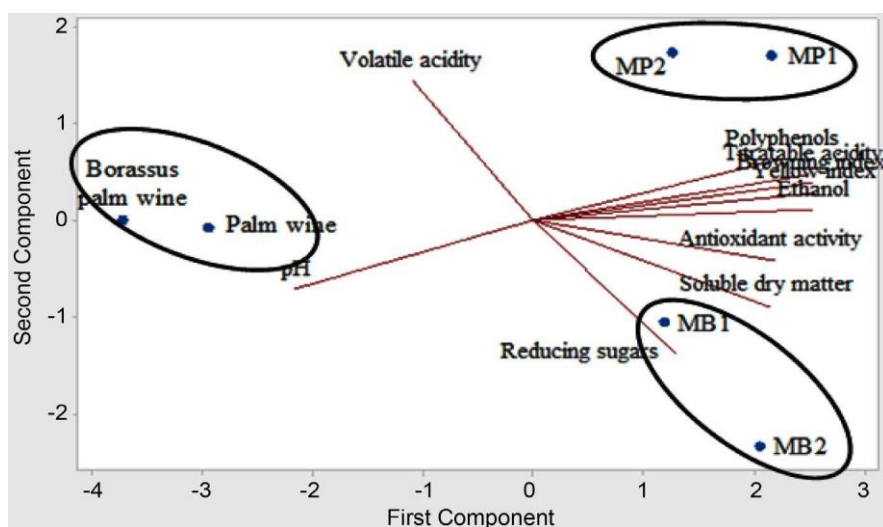


Figure 3. Correlation between the physicochemical parameters and the extracts analyzed according to the first two dimensions of the principal components analysis.

The two formulations of the *Bassari* mead of Kedougou (Senegal) follow the availability of raw materials (*Borassus* palm or palm wines). “Bessoudioury” was originally the main drink shared during religious ceremonies and rites of passage. Today, the production of this mead has become an income-generating activity for many local households. The information gathered from producers and consumers, however, indicates a preference for “Bessoudioury” prepared with *Borassus* palm wine.

4. Conclusion

This traditional drink has an alcohol content of 8% (v/v) and a high concentration of polyphenols (65 - 103 mg/100 mL). The manufacturing process of “Bessoudioury” has some differences compared to other African meads. The *Borassus* palm wine and palm wines added during fermentation bring particular flavors to the end product. This work has provided a better understanding of this honey-based drink and advice to investigate genomic aspect of its microbial flora.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

References

- [1] Mendes-Ferreira, A., Cosme, F., Barbosa, C., Falco, V., Inês, A. and Mendes-Faia, A. (2010) Optimization of Honey-Must Preparation and Alcoholic Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* for Mead Production. *International Journal of Food Microbiology*, **144**, 193-198. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.09.016>
- [2] Šmogrovičová, D., Nádaský, P., Tandlich, R., Wilhelmi, B.S. and Cambray, G. (2012) Analytical and Aroma Profiles of Slovak and South African Meads. *Czech Journal of Food Sciences*, **30**, 241-246. <https://doi.org/10.17221/113/2011-CJFS>
- [3] Chrétien, J.-P. and Mworoha, E. (1970) Tombs of the Bami of Burundi: An Aspect of the Sacred Monarchy in East Africa. *Cahiers d'études Africaines*, **10**, 40- 79.
- [4] Huetz de Lempis, A. (2001) Beverages and Civilizations in Africa. University Presses of Bordeaux. University of Bordeaux 3, France, 665.
- [5] Saitoti, E.O. (1980) The Masai. Du Chêne, Paris, France, 276.
- [6] Ramalhosa, E., Gomes, T., Pereira, A.P., Dias, T. and Estevinho, L.M. (2011) Mead Production. *Advances in Food and Nutrition Research*, **63**, 101-118. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384927-4.00004-X>
- [7] McConnell, D.S. and Schramm, K.D. (1995) Mead Success: Ingredients, Processes and Techniques. *Zymurgy Spring*, **4**, 33-39.
- [8] Roger, D.D., Daoudou, B., James, B. and Etoa, F. (2014) Artisanal Production of “Kuri” an Honey Made Alcoholic Beverage from Adamaoua Cameroon. *Global Journal of Scientific Researches*, **2**, 65-70.
- [9] Teramoto, Y., Sato, R. and Ueda, S. (2005) Characteristics of Fermentation Yeast Isolated from Traditional Ethiopian Honey Wine, Ogol. *African Journal of Biotechnology*, **4**, 160-163.
- [10] French Association of Normalization (AFNOR) (1982) Products Derived from Fruit

and Vegetable Juices. 1st Edition, AFNOR, Paris, France, 327.

- [11] Ribereau-Gayon, J. and Peynaud, E. (1958) Analysis and Control of Wines. Polytechnic Beranger. Paris, France, 756.
- [12] Georgé, S., Brat, P., Alter, P. and Amiot, M.J. (2005) Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**, 1370-1373. <https://doi.org/10.1021/jf048396b>
- [13] French Association of Normalization (AFNOR) (2011) Colorimetry Part 4: Chromatic Space L*a*b CIE 1976. 1st Edition, AFNOR, Paris, France, 8.
- [14] Ozgen, M., Reese, R.N., Tulio, A.Z., Scheerens, J.C. and Miller, A.R. (2006) Modified 2,2-Azino-Bis-3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid (Abts) Method to Measure Antioxidant Capacity of Selected Small Fruits and Comparison to Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) and 2,2'-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (DPPH) Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **54**, 1151-1157. <https://doi.org/10.1021/jf051960d>
- [15] French Association of Normalization (AFNOR) (2013) Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs: Horizontal Method for the Enumeration of Micro-Organisms. 1st Edition, AFNOR, Paris, France, 9.
- [16] Codex Alimentarius (2001) Draft Revised Standard for Standard for Honey (at Step 10 of the Codex Procedure). *Alinorm*, **1**, 19-26.
- [17] Bahiru, B., Mehari, T. and Ashenafi, M. (2001) Chemical and Nutritional Properties of tej, an Indigenous Ethiopian Honey Wine: Variations within and between Production Units. *Journal of Food Technology in Africa*, **6**, 104-108.
- [18] Kuš, P.M., Jerković, I., Marijanović, Z., Kranjac, M. and Tuberoso, C.I.G. (2018) Unlocking *Phacelia tanacetifolia* Benth. Honey Characterization through Melissopalynological Analysis, Color Determination and Volatiles Chemical Profiling. *Food Research International*, **106**, 243-253. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.065>
- [19] do Nascimento, K.S., Gasparotto Sattler, J., Lauer Macedo, L., Serna González, C. and Pereira de Melo, I. (2018) Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Physicochemical Properties of Brazilian *Apis mellifera* Honeys. *LWT*, **91**, 85-94.
- [20] Oroian, M. and Ropciuc, S. (2017) Honey Authentication Based on Physicochemical Parameters and Phenolic Compounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, **138**, 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.020>
- [21] de Almeida, A.M.M., Oliveira, M.B.S., da Costa, J.G., Valentim, I.B. and Goulart, M.O.F. (2016) Antioxidant Capacity, Physicochemical and Floral Characterization of Honeys from the Northeast of Brazil. *Revista Virtual de Química*, **8**, 57-77.
- [22] Amoa-Awua, W.K., Sampson, E. and Tano-Debrah, K. (2007) Growth of Yeasts, Lactic and Acetic Acid Bacteria in Palm Wine during Tapping and Fermentation from Felled Oil Palm (*Elaeis guineensis*) in Ghana. *Journal of Applied Microbiology*, **102**, 599-606. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.03074.x>
- [23] Bassir, O. (1962) Observations on the Fermentation of Palm Wine. *West African Journal of Biological Chemistry*, **6**, 20-25.
- [24] Tapsoba, F., Savadogo, A., Somda, K.M., Zongo, C. and Barro, N. (2011) Microbial Biodiversity and Physicochemical Parameters of Some *borassus* Wines (*Borassus akeassii*) Traditionally Produced in Burkina Faso. *Revue de Microbiologie Industrielle, Sanitaire, et Environnementale*, **5**, 1-22.
- [25] Nwachukwu, I., Ekaiko, M.U. and Stephen, C. (2016) Microbiological Quality of Palm Wine (*Elaeis guineensis* and *Raphia hookeri*) Sold within Aba Metropolis, Abia State, South Eastern Nigeria. *European Journal of Biotechnology and Genetic*

Engineering, **3**, 38-44.

- [26] Santiago-Urbina, J.A. and Ruíz-Terán, F. (2014) Microbiology and Biochemistry of Traditional Palm Wine Produced around the World. *International Food Research Journal*, **21**, 1261-1269.
- [27] Alexandre, H., Grandvalet, C., Guilloux-Benatier, M., Remize-Barnavon, F. and Tourdot-Maréchal, R. (2008) Lactic Bacteria in Oenology. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 172.
- [28] Rao, P.V., Krishnan, K.T., Salleh, N. and Gan, S.H. (2016) Biological and Therapeutic Effects of Honey Produced by Honey Bees and Stingless Bees: A Comparative Review. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, **26**, 657-664. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2016.01.012>
- [29] Boussaid, A., Chouaibi, M., Rezig, L., Hellal, R., Donsi, F., Ferrari, G. and Hamdi, S. (2018) Physicochemical and Bioactive Properties of Six Honey Samples from Various Floral Origins from Tunisia. *Arabian Journal of Chemistry*, **11**, 265-274. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.08.011>
- [30] Tosi, E., Ciappini, M., Ré, E. and Lucero, H. (2002) Honey Thermal Treatment Effects on Hydroxymethylfurfural Content. *Food Chemistry*, **77**, 71-74. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00325-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00325-9)
- [31] da Silva, P.M., Gauche, C., Gonzaga, L.V., Costa, A.C.O. and Fett, R. (2016) Honey: Chemical Composition, Stability and Authenticity. *Food Chemistry*, **196**, 309-323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>
- [32] International Organization of Vine and Wine (OIV) (2015) Maximum Acceptable Limits. In: *Collection of International Methods of Analysis of Wines and Musts*, OIV, Paris, 6.
- [33] Pereira, A.P., Dias, T., Andrade, J., Ramalhosa, E. and Estevinho, L.M. (2009) Mead Production: Selection and Characterization Assays of *Saccharomyces cerevisiae* Strains. *Food and Chemical Toxicology*, **47**, 2057-2063. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.05.028>
- [34] Hennebelle, T., Sahpaz, S. and Bailleul, F. (2004) Plant Polyphenols, Sources, Uses and Potential in the Fight against Oxidative Stress. *Phytotherapie*, **2**, 3-6. <https://doi.org/10.1007/s10298-004-0003-8>
- [35] Mukhtar, H. and Ahmad, N. (2000) Tea Polyphenols: Prevention of Cancer and Optimizing Health. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **71**, 1698S-1702S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1698S>
- [36] Scalbert, A., Johnson, I.T. and Saltmarsh, M. (2005) Polyphenols: Antioxidants and Beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **81**, 215S-217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>

Stabilization of *Boumkaye*'s Drink for an Accessibility in the Markets

Oumar Ibn Khatab Cisse, (PhD student)

Nicolas Cyrille Ayessou, (Lecturer)

Bou Ndiaye, (PhD student)

Mady Cisse, (Professor)

Mama Sakho, (Lecturer)

Codou Mar Diop, (Professor)

Ecole Supérieure Polytechnique, Cheikh Anta Diop University, Dakar,
Sénégal, Centre d'Etudes sur la Sécurité Alimentaire et les Molécules
Fonctionnelles (CESAM), Dakar, Sénégal

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n36p82 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p82](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p82)

Abstract

Boumkaye is a fermented drink made from millet, and prepared according to a traditional process from Casamance's region in Senegal. Still consumed for its anthelmintic properties, *Boumkaye* is obtained after maturation marked by two stages of fermentation (lactic and alcoholic). The main limits of this drink are the spontaneous nature of the fermentation and its instability. The objectives of this study is to stabilize this drink after fermentation step. For this purpose, an autoclave heat treatment at 120°C/15 minutes scale has been proposed. Two types of sterilized *Boumkaye* (crude and fermented) were kept at two temperatures (4 and 25°C) for one year follow-up. The sterilization tests on crude *Boumkaye* and fermented *Boumkaye* provided excellent microbiological and nutritional quality. No germ was detected during the entire storage period. In addition, *Boumkaye* beverages can be stored at 25°C (room temperature) for a minimum of one year while preserving all its organoleptic and therapeutic properties. This is a considerable asset for future industrial exploitation.

Keywords: Traditional drinks, Fermentation, Stabilization, *Boumkaye*

Introduction

Africa has real potential in terms of fermented cereal drinks. There is a great diversity of these local beers both in the cereals used (millet, maize, sorghum, rice) (Quin, 1959, Monjerezi et al., 2011) and in manufacturing

processes (Kayodé et al., 2005, Maoura et al., 2005, Dicko et al., 2006, Lyumugabe et al., 2012). In Senegal, a fermented millet drink called *Boumkaye* is prepared by incorporating aqueous extracts of a medicinal plant, *Abrus pulchellus*. *Boumkaye* is known for its antihelminthic properties (Cisse et al., 2018).

Major limitations of African conventional beers are at the fermentation stage and stabilization processes that can guarantee sanitary quality. Indeed, the must is inoculated with a traditional starter and the fermentation time varies between 10 and 24 hours at room temperature (Kayodé et al., 2005, Lyumugabe et al., 2010). During storage, sorghum- based beers are consumed while still in fermentation (Mwesigye and Okurut, 1995). In the case of *Boumkaye*, a maturation stage characterized by a double fermentation (lactic and alcoholic), without addition of leaven, has been established (Cisse et al., 2018).

Thus, a stabilization of *Boumkaye* drink by autoclave heat treatment will be proposed to ensure its hygienic and sanitary quality; while preserving at best its nutritional and therapeutic characteristics.

Material and methods

Production of Boumkaye Drink

Boumkaye was prepared in the laboratory according to the manufacturing chart prepared by Cisse et al., (2018). This process comprises three major and distinct parts: the production of an aqueous extract by maceration of the vines of *Abrus pulchellus*; the preparation of the millet porridge and a final fermentation and maturation phase.

Samples consisted of two types of *Boumkaye*. A crude *Boumkaye* that is not fermented; and a fermented *Boumkaye*, obtained after a maturation stage of two months. The drinks were packaged in 300 ml jars (Figure 1). Analyses of each were performed in triplicate.



Figure 1. Millet-based beverages: (a) crude Boumkaye; b) fermented *Boumkaye*

Autoclave heat treatment

Autoclave heat treatment was intended to eliminate all germs that could develop in *Boumkaye*. The sterilization was carried out using a laboratory autoclave of the type Lequeux (calculation pressure 2.5 bar, internal volume 270 liters, temperature 139°C, year 1994) at the scale of 120°C/15 minutes at the pressure of 1 bar.

Physicochemical methods

pH, titratable acidity, dry matter, reducing and total sugars, and ethanol content were evaluated according to standard AFNOR methods (AFNOR, 1982). The total polyphenols were evaluated by spectrophotometric test with Folin-Ciocalteu reagent in a basic medium at 760 nm. The concentration of polyphenols is expressed in gallic acid equivalent (Georgé et al., 2005). The color indices (browning index and yellow index) were determined by the L*a*b system (AFNOR, 2011) using a laboratory colorimeter (Konika Minolta, CR C5).

Microbiological methods

Microbiological flora analyzed was related to the different fermentation reactions of *Boumkaye* beverage and the efficacy of sterilization. Germs were counted according to French standards (AFNOR, 2013).

Statistical Analyses

The variance analysis tests (ANOVA) were performed with the STATISTICA 7.1 software. Statistical differences with a probability value less than 0.05 are considered significant.

Study of the stability of sterilized beverages

Millet-based beverages (crude *Boumkaye* and fermented *Boumkaye*) were sterilized and stored at two temperatures (4 and 25°C) for a 12-month follow-up. The idea was to study the stability of the samples according to a monthly evaluation of physico-chemical and biochemical parameters (pH, acidity, ethanol, color); and microbiological ones (total flora, lactic acid bacteria, yeasts and moulds).

Results

Physico-chemical characteristics of Boumkaye beverages

The initial characterization focused on millet-based beverages in order to define the impact of heat treatment on nutritional and organoleptic quality (Table 1).

Sterilization had no significant impact on physico-chemical and biochemical parameters of the crude *Boumkaye* excepted yellow and browning

indices. For the fermented one any impact was notified for ashes, dry matter and browning index. Differences were especially noted in terms of polyphenols (251 mg/100g for unsterilized, to 326 mg/100g for sterilized) and color indices which increase significantly in fermented *Boumkaye*. Other value were increased after sterilization of fermented *Boumkaye*, such as pH and titratable acidity.

Table 1. Characteristics of crude *Boumkaye* and fermented *Boumkaye* before and after sterilization

Analyzes	Crude <i>Boumkaye</i>		Fermented <i>Boumkaye</i>	
	unsterilized	sterilized	unsterilized	sterilized
pH	6.31 ± 0.01 ^a	6.31 ± 0.01 ^a	3.52 ± 0.02 ^b	3.63 ± 0.04 ^c
Dry matter (g/100g)	10.41 ± 0.24 ^a	10.64 ± 0.52 ^a	15.44 ± 0.51 ^b	14.94 ± 0.10 ^b
Titratable acidity (mEq/100g)	1.24 ± 0.00 ^a	1.09 ± 0.12 ^a	8.94 ± 0.00 ^b	7.97 ± 0.24 ^c
Ash (g/100g)	0.29 ± 0.11 ^a	0.14 ± 0.01 ^a	0.24 ± 0.03 ^a	0.24 ± 0.03 ^a
Total sugars (g/100g)	0.33 ± 0.03 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	0.14 ± 0.00 ^b	0.16 ± 0.00 ^c
Reducing sugars (g/100g)	0.30 ± 0.01 ^a	0.37 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.02 ^b	0.13 ± 0.02 ^c
Polyphenols (mg gallic acid/100g)	82.95 ± 7.54 ^a	86.79 ± 8.69 ^a	251.61 ± 5.87 ^b	326.01 ± 3.17 ^c
Ethanol (g/100g)	-	-	3.04 ± 0.07 ^a	3.59 ± 0.17 ^b
Yellow index	31.71 ± 0.17 ^a	36.14 ± 0.02 ^b	42.35 ± 0.04 ^c	41.69 ± 0.00 ^d
Browning index	31.46 ± 0.25 ^a	39.08 ± 0.00 ^b	46.36 ± 0.07 ^c	46.74 ± 0.00 ^c

Efficacy of heat treatment

The efficacy of the heat treatment is evaluated by the microbiological quality of the product after autoclaving. Different germs were sought and the results obtained are recorded in Table 2.

Table 2. Microbiological evaluation of *Boumkaye* beverages before and after sterilization in CFU/g

Germs	Crude <i>Boumkaye</i>		Fermented <i>Boumkaye</i>	
	Unsterilized	sterilized	Unsterilized	Sterilized
Total flora	40000	< 10	360.10 ⁶	< 10
Lactobacilli	3300	< 10	6.10 ⁶	< 10
Moulds	< 10	< 10	< 10	< 10
Yeasts	20000	< 10	19.10 ⁶	< 10

Microbiological characterization shows a preponderance of lactobacilli and yeasts in unsterilized beverages at the expense of moulds. None germs was found after heat treatment. This proves indeed, the effectiveness of the method of stabilization with the autoclave.

Study of the stability of sterilized beverages

Stability study was designed to define the optimal temperature/duration conditions for the preservation of millet-based beverages. This results in a stability of crude and fermented *Boumkaye* throughout the duration of the monitoring, and regardless of the temperature for both physicochemical and microbiological parameters. Indeed, there were

no significant differences between the results obtained during the aging study. The temperature 4°C has the same levels of preservation as the temperature 25°C (Figure 2, 3, 4, 5 and 6). Crude and fermented *Boumkaye* were exempted from germs during the stability study.

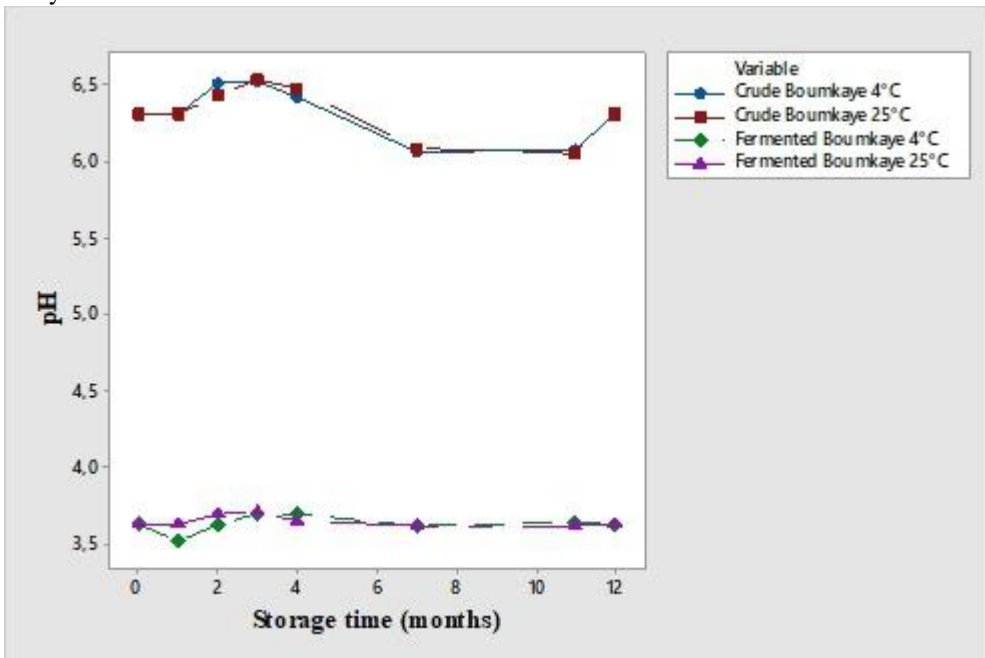


Figure 1. Evolution of the pH according to the storage period of *Boumkaye*

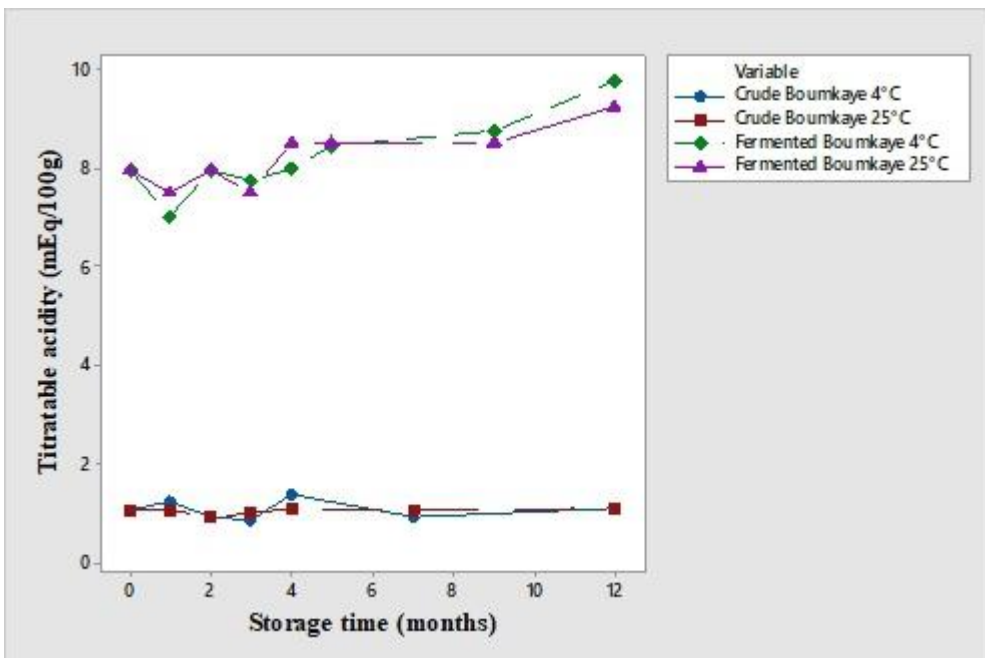


Figure 2. Evolution of the titratable acidity according to the storage period of *Boumkaye*

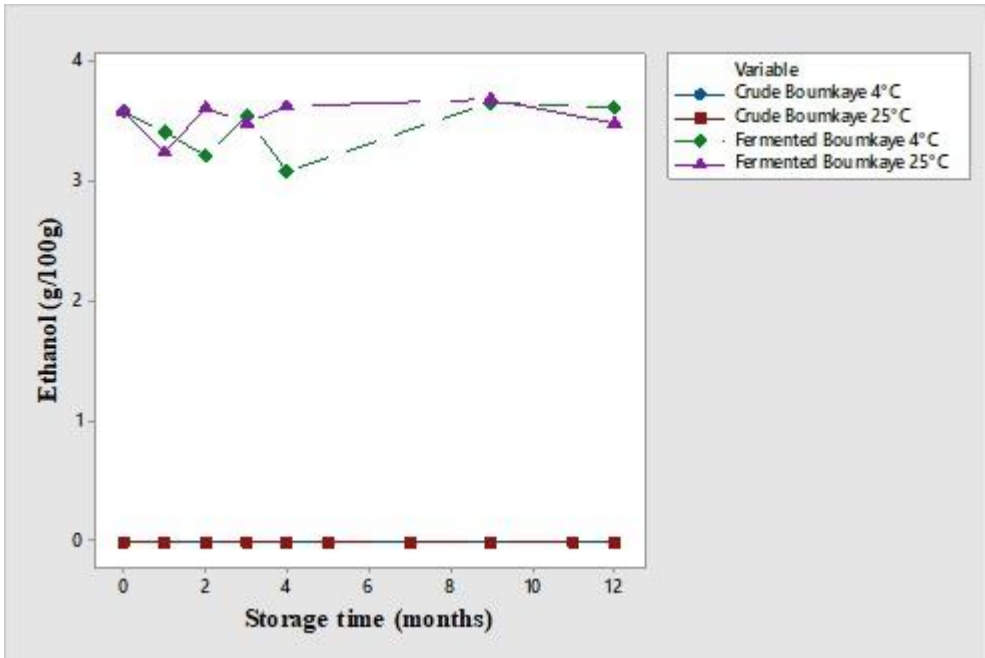


Figure 3. Evolution of the ethanol content according to the storage period of *Boumkaye*

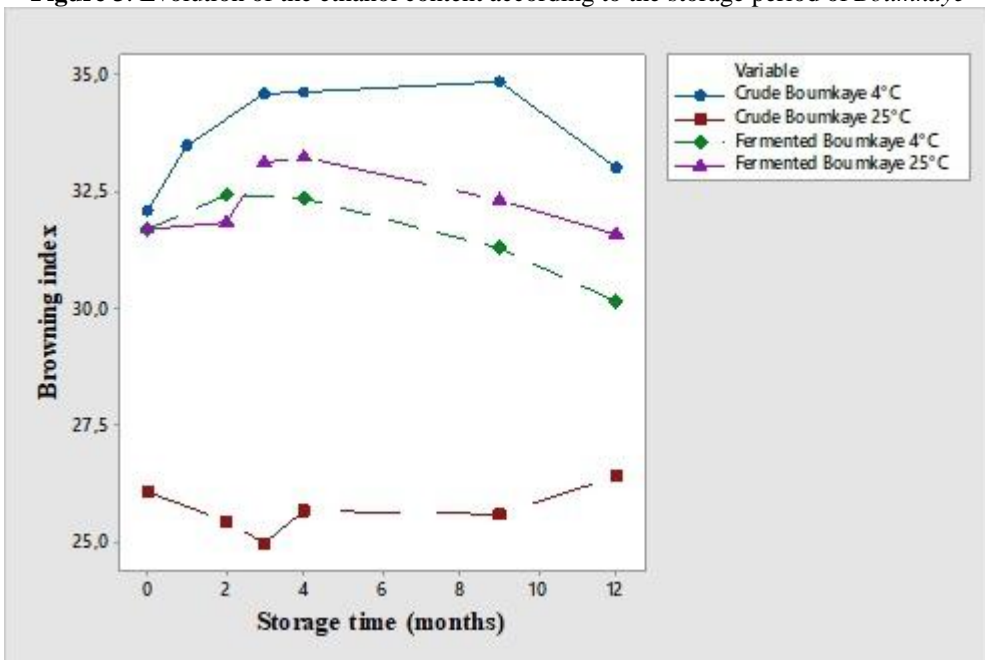


Figure 4. Evolution of the browning index according to the storage period of *Boumkaye*

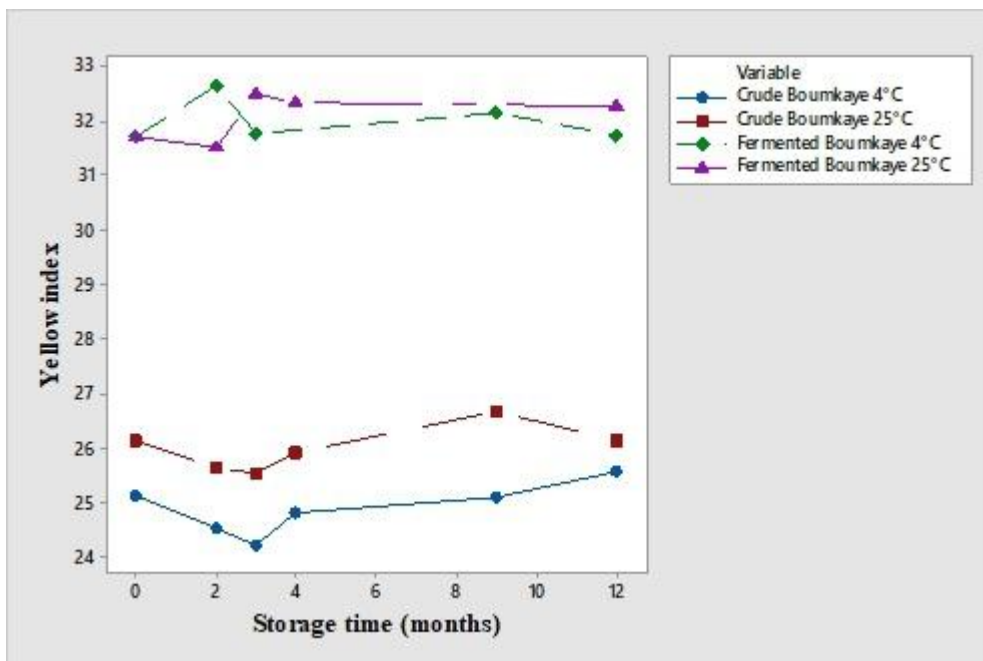


Figure 5. Evolution of the yellow index according to the storage period of *Boumkaye*

Discussion

The characteristics of the autoclaved *Boumkaye* beverages reflect the effectiveness of the sterilization which certainly must ensure a sanitary quality but while preserving the nutritional properties. In fact, the heat treatments lead essentially to physicochemical and biochemical changes that are more or less significant depending on the parameter considered. The differences noted between crude and fermented beverages are related to maturation in fermented *Boumkaye*. A maturation stage marked by a double fermentation (lactic and alcoholic) was detected, responsible for its high acidity and alcohol content (Cisse et al., 2018). Crude *Boumkaye* is considered as an intermediate product but may contain the same therapeutic properties (antihelminthic, antioxidant) as fermented *Boumkaye*. Crude *Boumkaye* drink is non-alcoholic which is an asset against cultural barriers.

In addition, from its primary use as an alcoholic beverage, fermented *Boumkaye* has more nutritional properties because of its much higher polyphenol content. Previous cereal research has indicated that a significant portion of the phenolic compounds is present in conjugated, soluble or bound form, insoluble. The heat treatment induces the hydrolysis of the conjugated phenolic compounds, resulting in the release of the free phenolic acids and thus increases the amount of bio-available phenolic compounds (Dewanto et al., 2002, Randhir et al., 2008, Ranilla et al., 2009). Chromatic indices noted and correlated with the yellow color, would significantly increase its sensory

acceptance. Hop industrial beers offer a wide range of colors from pale gold to black. Color is much more than a classification criterion but of quality in terms of aromas and taste.

Most traditional African beers pose many health risks due to the spontaneous nature of fermentation (Kayodé et al., 2005, Lyumugabe et al., 2010). The musts are mostly inoculated with a traditional leaven (Maoura et al., 2005, Kayodé et al., 2005, Hounhouigan and Nout, 2007, Lyumugabe et al., 2010). The resulting beer has a dubious health quality due to the lack of control of the present germs. The manufacture of the drink *Boumkaye* has the particularity of incorporating a medicinal species *Abrus pulchellus*, which has positive effects on the stability and selection of *Boumkaye* flora (Cisse et al., 2018).

African autochthonous beers are characterized by infection and proliferation of yeasts and multilevel bacteria (F. Lyumugabe et al., 2012). These undesirable microorganisms (*Acetobacter*) produce acetic acid, volatile aromas, fruity scents and dandruff that make the taste, odor and texture unacceptable to consumers (Walt, 1956). Also, there are no differentiated stabilization methods for these local beers resulting in continued fermentation to consumption (Mwesigye and Okurut, 1995). In the case of the sorghum- based *Tchapalo*, an alcoholic fermentation takes place, accompanied by a natural lactic fermentation. The beers thus obtained can only be kept cool in order to reduce microbial growth (Dahouenon-Ahoussi et al., 2012). The autoclaved *Boumkaye* is free of germs until the end of monitoring and the drink can be stored at 25°C (room temperature) for at least 1 year. This is a considerable advantage for future industrial exploitation, especially since Pils- type industrial beers must be kept refrigerated (4°C) for a maximum of 6 months.

Conclusion

Results show an effectiveness of heat treatment (120°C/15mn) which has preserved all the nutritional and therapeutic properties of *Boumkaye*. Also, no germ was detected during the follow-up. The stability study showed that crude *Boumkaye* (unfermented) and alcoholic fermented *Boumkaye* can be stored at 25°C for at least one year.

References:

1. Association Française de Normalisation (AFNOR). (1982). *Produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits* (pp. 328). Paris. France.
2. Association Française de Normalisation (AFNOR). (2011). *Colorimétrie - Partie 4 : espace chromatique L*a*b* CIE 1976* (1^{re} éd.) (pp. 8). Paris. France.

3. Association Française de Normalisation (AFNOR). (2013). *Microbiologie des aliments - Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes* (1ère) (pp. 8). Paris. France.
4. Cisse O. I. K., Ayessou. N. C., Faye P. G., Cisse M., Camara. A. C., Bodian A., Ndiaye C., Sakho M. & Diop C. M. (2018). Process Diagnosis and Aging Effects on a Traditional Millet-Based Drink: *Boumkaye*. *Food and Nutrition Sciences*, 09 (05): 464-473.
5. Dahouenon-Ahoussi E., Degnon R. G., Adjou E. S. & Sohounhloue D. C. (2012). Stabilisation de la bière produite à partir de matières amylacées locales (*Sorghum bicolor* et *Musa acuminata*) par adjonction de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*. *J. Appl. Biosci.*, 51: 3596–3607.
6. Dewanto V., Wu X., Adom K. K. & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10): 3010-3014.
7. Dicko M. H., Gruppen H., Traoré A. S., Voragen A. G. J. & Van Berkel W. J. H. (2006). Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *Afri. J. Biotechnol.*, 5: 384- 395.
8. Georgé S., Brat P., Alter P. & Amiot M. J. (2005). Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5): 1370- 1373.
9. Kayodé A., Aégbid. A., Linnemenn A. R., Nout M. J. R. & Hounhouigana J. D. (2005). Quality of farmer's varieties of sorghum and derived foods as perceived by consumers in Benin. *Ecol. Food Nutr.*, 44: 271-294.
10. Kayodé A. P. P., Hounhouigan J. D. & Nout M. J. R. (2007). Impact of brewing process operations on phytate, phenolic compounds and in vitro solubility of iron and zinc in opaque sorghum beer. *LWT - Food Science and Technology*, 40(5): 834-841.
11. Lyumugabe F., Gros J., Nzungize J., Bajyana E. & Thonart P. (2012). Characteristics of African traditional beers brewed with sorghum malt – a review. *Biotechnologie. Agronomie. Société et Environnement*. 16 (4). 509-530.
12. Lyumugabe L., Kamaliza G., Bajyana E. & Thonart P. (2010). Microbiological and physico-chemical characteristic of Rwandese traditional beer "Ikigage". *Afr. J. Biotechnol.*, 9: 4241-4246.
13. Maoura N., Mbaiguinam M., Nguyen H., Gaillardin C. & Pourquie J. (2005). Identification and typing of the yeast strains isolated from bili bili. a traditional sorghum beer of chad. *Afr. J. Biotechnol.*, 4: 646-656.

14. Monjerezi M., Vogt R. D., Aagaard P. & Saka J. D. K. (2011). Hydro- geochemical processes in an area with saline groundwater in lower Shire River valley. Malawi: An integrated application of hierarchical cluster and principal component analyses. *Applied Geochemistry*, 26(8): 1399-1413.
15. Mwesigye P. K. & Okurut T. O. (1995). A Survey of the Production and Consumption of Traditional Alcoholic Beverages in Uganda. *Process Biochemistry*, 30(6): 497-501.
16. Quin P. J. (1959). *Foods and Feeding Habits of the Pedi* (Witwatersrand University Press) (pp. 278). Johannesburg. South Africa.
17. Randhir R., Kwon Y. I. & Shetty K. (2008). Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health - relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9: 355-364.
18. Ranilla L. G., Genovese M. I. & Lajolo F. M. (2009). Effect of different cooking conditions on phenolic compounds and antioxidant capacity of some selected Brazilian bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(13): 5734-5742.
19. Aucamp M. C., Grieff J. T., Novellie L., Papendick B., Schwartz H. M. & Steer A. G. (1956). Kaffircorn malting and brewing studies. II.- Studies on the microbiology of Kaffir beer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 7(2): 105-113.