



Procédé de Production, caractéristiques microbiologique, physicochimique et sensorielle du chakpalo, bière traditionnelle de maïs en Afrique de l'Ouest

Ayodélé Mariam EGOUNLETY¹, Générose VIERA-DALODE¹, Paul HOUSSOU², Joseph DOSSOU¹

¹ Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi (FSA/UAC)

² Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Reçu le 24 Février 2019 - Accepté le 13 Décembre 2019

Processing, Microbiological, physicochemical and sensory characteristics of Chakpalo, Traditional maize beer from West Africa

Abstract: Chakpalo is a traditional Benin beer made from sorghum cereals and / or maize. The objective of this study is to identify the production system, to characterize the chakpalo from the physico-chemical, microbiological and sensory and to stabilize the chakpalo based maize. A survey was carried out in the original production area (Dassa Zoumé) on the production and marketing of chakpalo made from maize. Samples of chakpalo produced were subjected to physicochemical, microbiological and sensory analysis. The results showed that the production of chakpalo is exclusively a female activity. Four types of chakpalo have been identified in relation to the raw material used for production: chakpalo from maize / sorghum mixture, chakpalo from sorghum, chakpalo from maize and chakpalo from rice. According to the producers, a good chakpalo is of brownish color, slightly acidic and slightly alcoholic. During the fermentation process, the content of proteins and soluble solids decreased significantly ($p < 0.05$), while the load of lactic bacteria and yeasts as well as the titratable acidity increased significantly ($p < 0.05$). The chakpalo based maize obtained is an acid product with a pH of 4.11, a titratable acidity of 0.09 g / 100g (lactic acid). It has a soluble dry extract (9.40 °brix) and an alcohol (3.36%). After pasteurization, the chakpalo based maize has a pH of 4.0, a soluble dry extract of 9.73 ° brix significantly ($p < 0.05$) different from that of unpasteurized chakpalo. The dominant microbial flora consists of lactic acid bacteria and yeasts and molds. The consumption test showed that the pasteurization of chakpalo has an influence on its sensory attributes which are very different according to the different groups of consumers.

Keywords: Chakpalo, maize, consumption, pasteurization, fermentation, quality.

Résumé : Le chakpalo est une bière traditionnelle du Bénin à base des céréales de sorgho et/ou du maïs. L'objectif de cette étude est d'identifier le système de production, de caractériser le chakpalo du point de vue physico-chimique, microbiologique et sensorielle et de stabiliser le chakpalo à base de maïs. Une enquête a été réalisée dans la zone originelle de production (Dassa Zoumé) sur la production et la commercialisation du chakpalo à base de maïs. Des échantillons de chakpalo produits ont été soumis aux analyses physicochimique, microbiologique et sensorielle. Les résultats ont montré que la production de chakpalo est une activité exclusivement féminine. Quatre types de chakpalo ont été identifiés en relation avec la matière première utilisée pour la production : chakpalo d'un mélange maïs/sorgho, chakpalo de sorgho, chakpalo de maïs et chakpalo du riz. Selon les productrices, un bon chakpalo est de couleur brunâtre, peu acide et légèrement alcoolisé. Au cours du processus de fermentation, la teneur en protéines et en extraits secs solubles ont significativement ($p < 0,05$) diminué, tandis que la charge en bactéries lactiques et levures ainsi que l'acidité titrable ont significativement ($p < 0,05$) augmenté. Le chakpalo à base de maïs obtenu est un produit acide ayant un pH de 4,11, une acidité titrable de 0,09 g/100g (d'acide lactique). Il a une teneur en extrait sec soluble de 9,40°brix et taux d'alcool de 3,36%. Après pasteurisation, le chakpalo à base de maïs a un pH

de 4,0, un extrait sec soluble de 9,73 °brix significativement ($p < 0,05$) différentes de celles du chakpalo non pasteurisé. La flore microbienne dominante est constituée de bactéries lactiques et de levures et moisissures. Le test de consommation a montré que la pasteurisation du chakpalo a une influence sur ses attributs sensoriels qui sont bien distincts selon les différents groupes de consommateurs.

Mots clés: Chakpalo, maïs, consommation, pasteurisation, fermentation, qualité.

1. Introduction

Le maïs (*Zea mays* L.), le sorgho (*Sorghum bicolor*, *Sorghum vulgare*, *Sorghum guineense*) et le mil (*Pennisetum glaucum*) sont les principales céréales utilisées comme matières premières au cours de la production de boissons traditionnelles fermentées en Afrique (Dossou et al. 2014 ; N'Guessan et al. 2016). En Afrique ces boissons sont principalement des bières (Nout, 1980 ; Iwuoha et Eke, 1996). La bière de sorgho et celle du maïs sont connues sous diverses appellations telles que *pito* ou *burukutu* au Ghana et au Nigéria, *otika* au Nigéria, *dolo* au Burkina Faso, *busaa* au Kenya *tchoukoutou* au Bénin et *chakpalo* en Côte d'Ivoire et au Bénin, *doro* du Zimbabwe, *Bili-bili* au Tchad et *Ikagage* au Rwanda, *Malawa maize beer* au Malawi et *Zambie* (Kayodé et al. 2007 ; Sawadogo-Lingan et al., 2007 ; Kutyaauripo et al. 2009 ; Yao 2009 ; Mbajiuka et al. 2010 ; Osseyi et al. 2011 ; Desobgo et al. 2013 ; Lyumugabe et al. 2013 ; Dossou et al. 2014 ; N'Guessan et al. 2016).

Le chakpalo est une bière, faiblement alcoolisée qui se consomme frais. Elle est préparée selon un procédé traditionnel qui comporte principalement une étape de fermentation spontanée d'un moût obtenu à partir du maïs germé, du sorgho germé ou même du mélange de ces deux céréales germées avec une grande quantité d'eau (Dossou et al. 2014). La préparation du chakpalo remonte très loin dans le temps. Le chakpalo semble avoir été introduit au Bénin à partir du Nigéria où l'on connaissait depuis fort longtemps la technologie de production du *burukutu* à partir du mil existe depuis fort longtemps (Nago, 1989). La production du chakpalo a d'abord pris place dans la région centrale du Bénin (Dassa, Savè, Savalou, Pira) avant de se répandre progressivement dans le reste du pays grâce aux flux migratoires des populations et aux échanges commerciaux (Nago, 1989, Dossou et al. 2015). Selon la tradition orale, en langue locale *Idaatcha*, le mot « *tchakparo* » dériverait de l'expression « *itchakpa iro* » ; qui signifierait « la bouillie du génie de la forêt » et par extension « la boisson du génie », car la technologie du chakpalo

aurait été livrée aux hommes par un génie de la forêt (Dossou et al. 2014).

De plus, selon Dossou et al. (2006) la production de chakpalo comporte de nombreuses contraintes technologiques qui affectent la qualité et la compétitivité du produit fini. De nos jours, le maltage, le brassage et la fermentation spontanée du moût sont généralement les trois étapes de la production du *tchakpalo* (Dossoumoun, 1981 ; Okoumansoun, 1984 ; Ategbó, 1985 ; Nago, 1989 ; Adjadi et al. 2015). Le maltage, vieille technique utilisée pour la production de nombreuses autres boissons traditionnelles au Bénin, (Kayodé et al. 2005, Dossou et al. 2011), consiste en un mécanisme de transformation biochimique des grains et de synthèse des enzymes et permet de réduire à des valeurs insignifiantes les proportions de composés toxiques et de facteurs antinutritionnels tels que les tannins et les glucosides cyanogéniques que l'on retrouve dans les grains de sorgho (FAO, 1995). Malgré les avancées technologiques réalisées par le monde dans le domaine de la brasserie industrielle, la qualité de cette bière traditionnelle est demeurée variable due au changement du goût et son aspect au cours du temps. Les conditions de production et de distribution du chakpalo ne permettent pas sa conservation sur une longue durée. Des essais de stabilisation du chakpalo ont été réalisés avec divers agents de conservation tels que le froid, la chaleur et divers additifs chimiques comme le saccharose, l'acide citrique et l'acide ascorbique (Ategbó, 1985 ; Nago, 1989 ; Nago et al. 1998). Cependant, la durée de conservation du chakpalo reste toujours limitée. En effet pour stimuler la promotion de cet important produit fini, la maîtrise de la fermentation et de la stabilité du chakpalo doit être considérée comme une importante question de la recherche. L'ensemble de ces contraintes justifie la présente étude, qui vise la production, la caractérisation et la stabilisation du chakpalo à base de maïs par un traitement thermique (pasteurisation) après la fermentation. Plus spécifiquement, il est question d'identifier les différents procédés traditionnels de production, de caractériser les paramètres physico-chimiques, microbiologiques du chakpalo à base de maïs et d'en évaluer la qualité sensorielle.

* Auteur Correspondant : m.egounlety@yahoo.com

Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

2. Matériel et méthodes

2.1. Choix de la zone d'enquête et échantillonnage des acteurs

L'enquête a été conduite auprès des productrices de chakpalo de maïs ou de maïs /sorgho du 25 Mars au 5 Avril 2016 dans la commune de Dassa-Zoumé située entre 1°90' et 2°40' longitude Est puis 7°20' et 8°10' latitude Nord (Figure 1). Cette zone est située dans le département des Collines, dans la région centrale du Bénin. Le choix de cette zone est justifié par le fait que le chakpalo est une boisson fermentée des groupes socio-culturels Idaatcha et Nago.

Des entretiens structurés ont été réalisés avec les productrices à l'aide d'un questionnaire. L'enquête a permis de collecter des données plus spécifiques sur les caractéristiques socioculturelles (âge, niveau d'éducation, groupes socio-culturels, etc.), la technologie de production de chakpalo, les équipements utilisés, les problèmes liés à la fabrication et la conservation.

La taille de l'échantillon a été déterminée selon la méthode de boule de neige (Hongbété et Kindossi, 2017). Un échantillonnage de trente-huit (38) productrices du chakpalo a été effectué dans la zone d'enquête où l'activité de production du chakpalo de maïs et/ou du mélange maïs sorgho est plus importante.

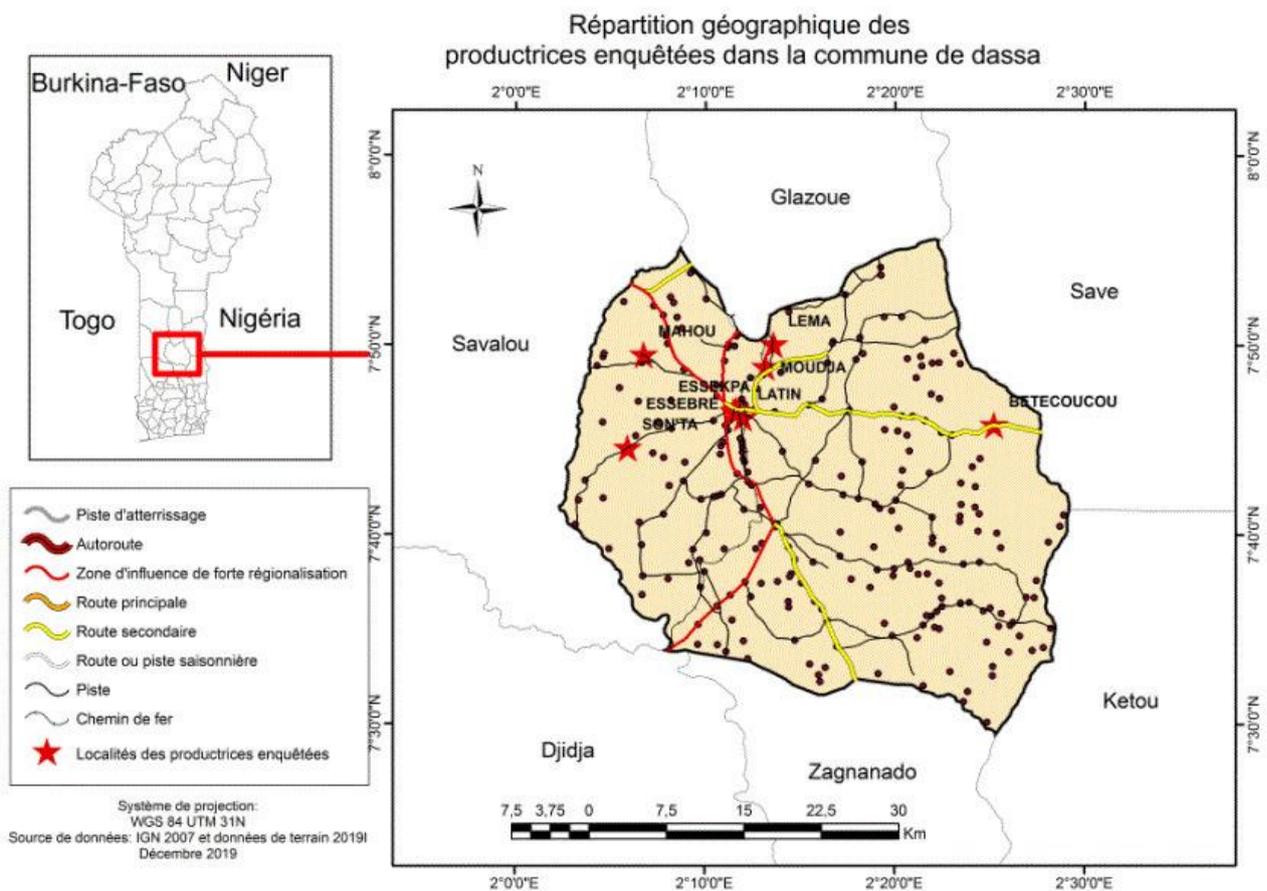


Figure 1: Carte de la commune de Dassa Zoumé

Figure 1. Dassa-Zoume municipality map

2.2. Méthodologie de suivi de production et de caractérisation

2.2.1. Matériel végétal

La matière première utilisée est le maïs de la variété *Moungangui* dite l'endurant acheté à l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). Il a été

choisie à cause de ses caractéristiques. Toutes les zones agro-écologique du pays sont recommandés pour sa production à cause de sa disponibilité, il a un cycle de 90 jours, le poids de mille grains est 320 grammes, le recouvrement de l'épi est très bon, le rendement est de 4 t/ha. Le maïs est de couleur blanche (INRAB/MAEP, 2010).

2.2.2. Expérimentation du trempage

Le trempage est une étape prépondérante du maltage, qui procure l'eau et l'oxygène à la graine pour une bonne germination. Trois répétitions ont été faites afin de connaître la durée maximale de trempage, 5 g de grains de maïs ont été répartis dans chaque pot et trempés dans 300 ml d'eau à la température ambiante selon Dossou et al. (2014). Après différentes durées retenues (10 min, 20 min, 2 h, 3 h...12 h), les grains de chaque pot ont été mis à l'étuve à 105°C pour la détermination de la teneur en eau (AACC, 1984).

2.2.3. Essai de production du chakpalo

La production du chakpalo a suivi les 3 grandes opérations que sont : le maltage, le brassage, et la fermentation. La préparation du chakpalo a été réalisée selon la méthode de Dossou et al (2014) décrite comme suit : Cinq kilogrammes de grains de maïs ont été trempés dans l'eau à la température ambiante durant 12 heures pour accroître la teneur en eau des grains afin de favoriser une bonne germination. A la fin du trempage, les grains trempés sont lavés et égouttés, maintenus dans un panier recouverts d'une toile mousseline pendant 20 h pour la pré-germination, sous étape très importante de la germination qui permet la levée des plantules. Ensuite les graines en cours de germination sont étalées sur des sacs de jute en fine couche pendant 72 h, recouvertes d'autres sacs de jutes et soumises à un arrosage quotidien toutes les 5 h, par aspersion d'eau pendant toute la durée de germination. Cet arrosage a pour but d'empêcher le dessèchement des graines et leur confère l'humidité relative nécessaire à une bonne germination. Le malt vert obtenu à la fin de la germination, est étalé sur des plateaux et séché à l'étuve à 60°C pendant 8 h pour permettre aux enzymes d'hydrolyser le résidu d'amidon contenu dans les graines et de libérer les sucres fermentescibles, indispensables au brassage de chakpalo. Le malt de maïs ainsi produit est grossièrement moulu dans un moulin à maïs, additionné avec d'eau et mélangé jusqu'à l'obtention d'une pâte moyennement consistante. Cette pâte est laissée pendant 4 heures environ avant qu'elle ne soit délayée dans l'eau dans une proportion d'environ un (01) kg de farine pour trois (03) L d'eau. Le mélange appelé (maiche) est remué, homogénéisé et laissé décanter pendant environ 2h à la température ambiante. A la fin de la décantation, deux phases sont obtenues, le décantât 1 (le dépôt 1) et le surnageant 1. Le décantât 1 est séparé du surnageant 1. Ensuite, le décantât 1 est porté à ébullition pendant 2 h 30 min environ. Le produit de cuisson est mélangé au surnageant 1. Le mélange est laissé au repos pendant 11 h. Le surnageant 2 est séparé du dépôt 2. Le dépôt 2 est recueilli et porté à ébullition pendant 2 à 3h avant d'être refroidi et filtré. Le filtrat est mélangé au surnageant 2 et porté à ébullition pendant 1 à 2h de temps pour donner le moût sucré qui est filtré et conditionné dans un

bidon de fermentation pendant 24-48 heures à la température ambiante. Le chakpalo obtenu après 48 h de fermentation est conditionné dans des bouteilles de 25 cl puis capsulé à l'aide d'un capsuleur et soumis à une pasteurisation à 60°C pendant 1 h dans un bain marie de marque NB301 (N-BIOTEK Co., Ltd, Korea), gradué de +5°C à 100 °C, avec une précision de $\pm 0,1^\circ\text{C}$, et d'une capacité volumétrique de 12 litres.

2.2.4. Collecte d'échantillons

Des échantillons de grains de maïs, du malt de maïs, du moût sucré et de chakpalo au cours des deux essais de production ont été prélevés pour des analyses microbiologiques et physicochimiques.

2.2.5. Analyses microbiologiques

Ces analyses microbiologiques visent à dénombrer les principaux germes microbiens susceptibles d'être retrouvés dans le moût sucré et le chakpalo. Ainsi, la flore aérobie mésophile totale (ISO 4833, 2003), les bactéries lactiques (ISO 15214, 1998), les levures et moisissures (NB ISO7954-2006) et les entérobactéries (ISO 21528-2, 2004) ont été dénombrées.

2.2.6. Analyses physicochimiques

La teneur en matière sèche est déterminée par séchage à l'étuve Heraeus T5042 à 105°C pendant 72 h, suivi de pesée différentielle suivant la méthode AACC 44-15A (AOAC, 1984). Le pH et l'acidité titrable sont déterminés suivant la méthode AACC 02-31.01 (AOAC, 1984). La teneur en protéines a été déterminée selon la méthode AOAC (1995). La détermination des extraits secs solubles des échantillons est réalisée à l'aide d'un réfractomètre (Sopelem 9596, France) et exprimé en degré Brix. Une goutte de moût ou du chakpalo a été déposée sur la lentille du réfractomètre et la lecture a été faite directement à la température ambiante après exposition à la lumière. Le taux d'alcool a été déterminé à l'aide d'un ébulliomètre par Mounir et al. (2016).

2.2.7. Analyse sensorielle

Un test axé sur le consommateur a été effectué sur le chakpalo non pasteurisé et celui pasteurisé. Ce test a visé à fournir des renseignements sur les caractéristiques organoleptiques du chakpalo et les préférences des consommateurs, ainsi que sur les caractéristiques pour l'acceptabilité du produit. Un test hédonique d'une échelle de 9 points allant de « Extrêmement désagréable » à « Extrêmement agréable » a permis aux consommateurs d'apprécier l'apparence, le goût (acide, sucré) et l'acceptabilité globale des deux échantillons. Ce test a été réalisé à l'Université d'Abomey Calavi avec un panel constitué de 30 dégustateurs rencontrés au hasard pour identifier les variations entre les différents produits et pour obtenir les informations sur leurs préférences.

2.2.8. Analyses statistiques

Les données ont été analysées en se servant de la statistique descriptive. Ainsi, les moyennes, les écarts types ont été calculés au moyen de l'Excel du Microsoft 2007. Les données de l'enquête collectées auprès des productrices et celles des tests de consommation ont été saisies et traitées à l'aide du logiciel Sphinx survey plus² version 5.1. Le logiciel XLSTAT version 2015 a été utilisé pour analyser les résultats de tests de dégustation par une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Ensuite le logiciel STATISTICA version 7.1 a été utilisé pour faire une ANOVA sur les variables physico-chimiques et microbiologiques.

La significativité de la différence entre les échantillons a été déterminée au seuil de 5%.

Les relations entre les variables physico-chimiques et microbiologiques ont été déterminées à travers une corrélation de Pearson.

3. Résultats et discussion

3.1. Profil socio culturel des productrices

La production ou la commercialisation du chakpalo de maïs est une activité exclusivement réalisée par les femmes (100%) dont 95% sont mariées. Environ 97,5% des productrices sont âgées de 26 à 65 ans et les autres ont un âge compris entre 18-25 ans. Les productrices de chakpalo interviewées appartiennent strictement au groupe socioculturel *Idaatcha*. La majorité des productrices sont des chrétiennes (87,5%). Les animistes et musulmanes représentent 12,5%. En général, elles ont un faible niveau d'instruction dont la plupart d'entre elles (55% des enquêtées) sont analphabètes, 27,5% ont le niveau primaire et 17,5% sont alphabétisées en *Idaatcha*. La production de chakpalo de maïs et/ou du mélange maïs/ sorgho est une activité qui se transmet de génération en génération ; ceci a été confirmé par 90% des productrices interviewées. Par conséquent, une mère ; ou une tante productrice de chakpalo transmet la technologie à sa fille dès son adolescence afin de perpétuer cette activité au sein de la famille. La production de chakpalo est bien développée dans la commune de Dassa-Zoumè où elle constitue l'activité principale de 80% des productrices interviewées qui en tirent l'essentiel de leur revenu. Des études de caractéristiques socioéconomiques des acteurs des activités de production et de commercialisation des produits alimentaires de rue au Bénin sont fréquemment assurées par les femmes généralement peu instruites (Kindossi et al. 2012 ; Dossou et al. 2015 ; Hongbété et al. 2017 ; Hongbété et al. 2018). L'enquête a enregistré surtout des productrices/vendeuses et des productrices/grossistes qui livrent le produit fini à des revendeuses. Des productions domestiques sont également enregistrées pour l'autoconsommation, pour les cérémonies, les festivités et manifestations populaires. De même, Kayodé

et al. (2007) ont souligné que ces bières traditionnelles sont considérées comme des boissons spirituelles utilisées lors des festivités endogènes.

Quatre types de chakpalo sont connus: chakpalo produit à base de maïs, chakpalo produit à base de sorgho, chakpalo produit à base de riz et chakpalo produit à base du mélange maïs/sorgho. Soixante pourcent des productrices interviewées ont déclaré que la production de chakpalo dépend de la disponibilité et du prix d'achat de la matière première. Certaines productrices (37,5%) ont mentionné que le chakpalo est aussi connu sous l'appellation « *Otioka* ».

3.2. Production de chakpalo

3.2.1. Type et qualité de la Matière première utilisée

Toutes les productrices interviewées (100%) ont déclaré qu'elles n'utilisent que le maïs et le sorgho comme matières premières pour la production du chakpalo. La somme de certaines fréquences en pourcentage calculées est supérieure à 100%. Ce pourcentage est dû au fait que les productrices interviewées utilisent plusieurs matériels, plusieurs matières premières ou effectuent les mêmes opérations avec plusieurs matériels. Lors de la production du chakpalo, les productrices les utilisent seuls ou en combinaison. Ainsi, le mélange maïs et sorgho est utilisé par la plupart des productrices de chakpalo (92,50%), 57% d'entre elles utilisent le maïs seul tandis que 58,4% des productrices interviewées utilisent le sorgho seul. Le maïs et le sorgho sont généralement achetés au marché (90% des productrices interviewées) ou sont prélevés de leurs réserves de production agricole (10% des productrices interviewées). Pour Dossou et al. (2015), le sorgho est la seule et principale matière première utilisée dans la production de chakpalo dont les sources d'approvisionnement varient d'une productrice à une autre. Selon les productrices la combinaison des matières premières pour la production de chakpalo est très économique compte tenu du prix de sorgho qui est plus élevé que celui du maïs. Le Tableau 1 présente les critères de qualités définies par les productrices. Selon les productrices de chakpalo, le critère de qualité utilisé pour le choix de la matière première est la couleur (blanche pour le maïs (82,5% des productrices interviewées) et rouge pour le sorgho (47,3% des productrices interviewées). Kayodé et al. (2007) et Dossou et al. (2015) ont notifié que le chakpalo est issu d'un sorgho rouge ou marron. De plus, le grain doit être intact, c'est-à-dire dépourvu de charançon (57,5% pour le sorgho, 67,5% pour le maïs), bien sec (30% pour le sorgho, 60,0% pour le maïs), exempt de corps étrangers c'est-à-dire sans cailloux ou autres déchets organiques (30% des productrices interviewées). Ces qualités de la matière première sont continuellement recherchées pour un produit fini de qualité (Dossou et al. 2011, Hongbété et al. 2017) .

Cinquante pourcent (50%) des productrices interviewées ont signalé qu'elles introduisent des panicules de sorgho et/ou gaine foliaire de sorgho pour modifier la couleur blanchâtre de chakpalo de maïs en couleur brune très appréciée par les consommateurs.

Tableau 1 : Pourcentage des productrices ayant évoqué les critères de qualité de la matière première.

Table 1. Percentage of producers who mentioned the raw material quality criteria

Critère de qualité	Productrices interviewées (%)	
	Maïs	Sorgho
Couleur blanche	82,5	0
Couleur rouge	0	47,5
Absence de charançon	67,5	57,5
Bien sec	60	30
Absence de corps étrangers	30	30

3.2.2. Capacité de production

La quantité de matière première utilisée pour la production de chakpalo varie selon les productrices. Ainsi, elle varie de 10 à 80 kg par semaine pour la production de chakpalo chez 95% des productrices interviewées pour le chakpalo de maïs et 52,5% des productrices interviewées pour le chakpalo de sorgho.

La plupart des productrices interviewées (94,5%) ont déclaré qu'un (01) kilogramme de maïs transformé donne environ 3,95 litres de chakpalo alors qu'un (01) kilogramme de sorgho donne environ 2,75 L de chakpalo. Cette valeur est comparable à celle trouvée par Dossou et al. (2015) qui indique qu'un kilogramme de sorgho donne environ 2,5 litres de chakpalo. De même pour 95% des productrices, une bouteille de 1,5 litres de chakpalo coûte 300 F CFA (soit environ 50 centimes d'Euro). Ainsi, la quantité de chakpalo produit par semaine varie de 40 à 320 litres suivant le type de chakpalo et la catégorie de productrices (grossiste ou détaillante). La production du chakpalo augmente surtout pendant la saison sèche et les grandes cérémonies. En effet, 40 à 80 litres de chakpalo par semaine sont produits par seulement 7,5% de productrices interviewées de chakpalo de maïs et de 2,5% de productrices de chakpalo de sorgho-maïs. Ensuite 84 à 200 litres de chakpalo sont produit par 75% de productrices de chakpalo de maïs et 40% de productrices de chakpalo de maïs-sorgho. Enfin 204 à 320 litres sont produite par 22,5% de productrices de chakpalo de maïs et 10% de productrices de chakpalo de maïs-sorgho. La majorité des productrices interviewées (84%) ont déclaré qu'elles effectuent 1 à 2 fois la production de chakpalo par semaine.

3.2.3. Durée de conservation

Selon les productrices interviewées, le chakpalo peut être conservé à la température ambiante pendant environ 3 à 4 jours en fonction du type de chakpalo ; c'est ce que déclarent 88,5% des productrices de chakpalo de maïs et 80% des productrices de chakpalo de sorgho-maïs. Les productrices ont évoqué qu'au bout du 5^{ème} jour, il faut réchauffer le chakpalo afin de réduire le goût acide. Environ 8,5% des productrices de chakpalo de maïs et 10 % des productrices de chakpalo de sorgho-maïs pratiquent une durée de stockage variant entre 5 et 6 jours. Seulement 3% des productrices de chakpalo de maïs et 3,5 % des productrices de chakpalo de sorgho-maïs effectuent la conservation pendant une durée de 7 à 8 jours.

3.2.4. Transformation de maïs en chakpalo

La production de chakpalo est un procédé très laborieux et nécessite (100% de productrices interviewées). La production du chakpalo regroupe principalement trois (03) grands étapes : le maltage, le brassage et la fermentation (Figure 2). Le maltage débute par un nettoyage manuel et est constitué de trois principales opérations que sont le trempage, la germination et le séchage. Les grains de céréale sont vannés, et lavés dans une bassine (52% de productrices interviewées) plusieurs fois avec l'eau de pompe à motricité humaine pendant 0,5 à 1h pour éliminer les débris, cailloux et autres corps étrangers et les grains cassés pour éviter une mauvaise germination. Ensuite, les grains de céréale sont trempés dans une bassine (80% de productrices interviewées), un seau plastique (30% de productrices interviewées) ou une jarre (22% de productrices interviewées) à la température ambiante pendant 22 à 24 h (62% de productrices interviewées) pour augmenter la teneur en eau des grains jusqu'à un niveau favorable à la germination (82% de productrices interviewées). Après le trempage, les grains de céréale sont retirés, lavés et égouttés dans un panier (75,5% de productrices interviewées) ; puis maintenus dans le dispositif d'égouttage et recouverts pendant environ 11 à 13 h de pré-germination (60,5% de productrices interviewées) pour permettre un début de la levée de pousses. La germination proprement dite se réalise par étalement des grains en couche de quelques épaisseurs sur un sac de jute (65,5% de productrices interviewées), une bâche perforée (62,5% de productrices interviewées) ou une toile mousseline (50% de productrices interviewées) pendant 3 à 5 jours (84,5% de productrices interviewées) à l'abri des rayons solaires (80,5% de productrices interviewées). Des épaisseurs élevées entraînent une dégradation des grains due à l'absence d'aération.

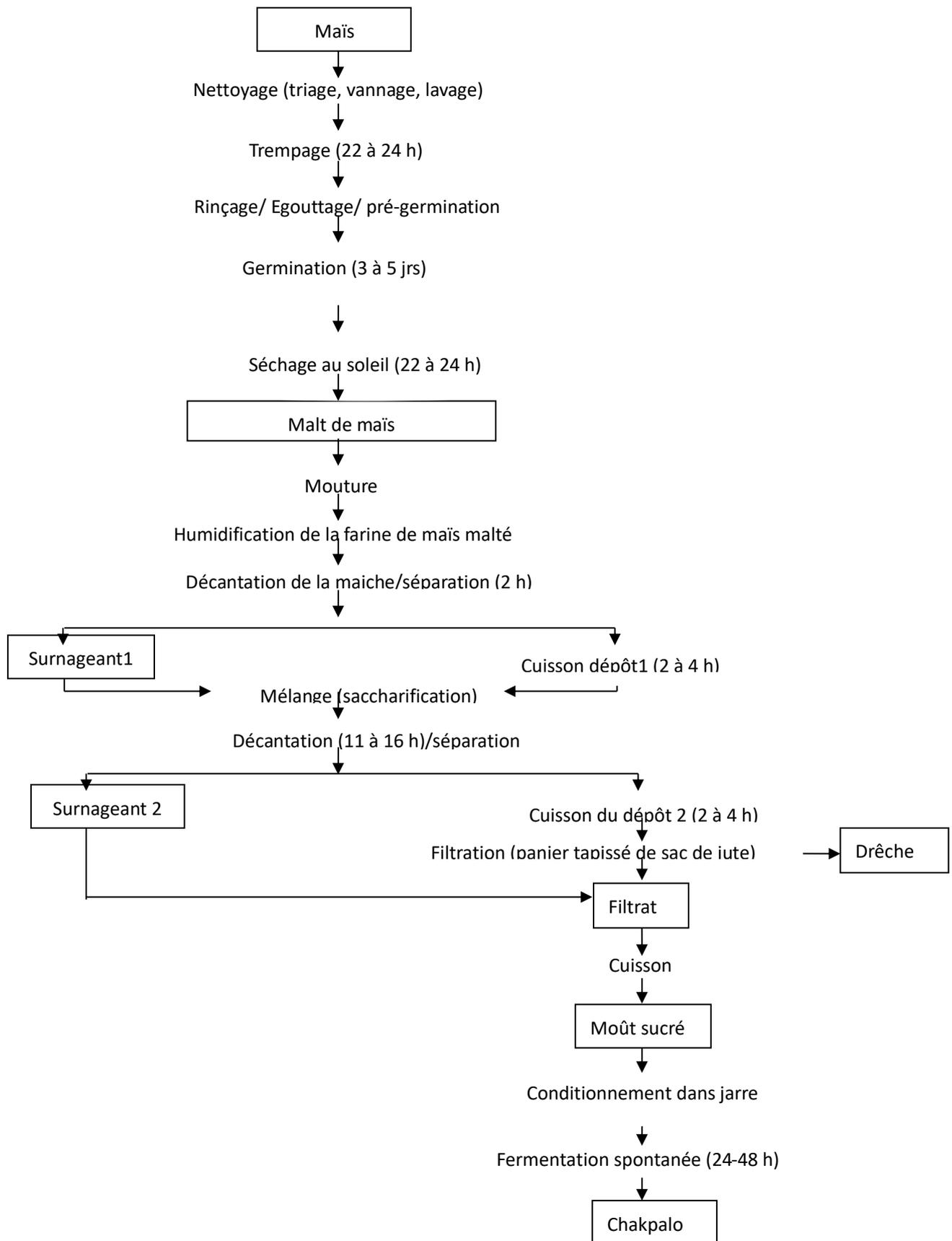


Figure 2 : Diagramme de fabrication de Chakpalo à base de maïs

Figure 2: Flow diagram of Maize Chakpalo processing

Les grains mis en germination sont ensuite recouverts d'un autre sac de jute (45% de productrices interviewées) et aspergés d'eau toutes les demi-journées (40% de productrices interviewées), pendant les 3 à 5 jours de germination pour éviter le dessèchement des grains et apporter l'humidité nécessaire. Après la germination, les grains germés sont étalés à l'air libre au soleil (80% de productrices interviewées) en couche mince sur une aire de séchage (40% de productrices interviewées), une bâche (67,5% de productrices interviewées) ou un sac de jute (45% de productrices interviewées) et laissés sécher pendant 22 à 24 h (62,5% de productrices interviewées) pour réduire la teneur en eau des grains germés (65% de productrices interviewées). Le grain de céréale trempé germé et séché est appelé malt. Le grain malté va subir le deuxième procédé qui est le brassage et comporte la mouture du malt, la préparation de la maiche, la saccharification et les différentes étapes de cuisson. Le malt est grossièrement moulu dans un moulin à maïs (100% de productrices interviewées) et recueilli dans une bassine (52% de productrices interviewées). La farine obtenue est délayée dans l'eau (100 % de productrices interviewées) dans une proportion d'environ un (01) kg de farine pour trois (03) L d'eau (54,5% de productrices interviewées). Le mélange obtenu est appelé maiche, et est remué, homogénéisé et laissé décanter pendant environ 4 à 5 h (65% de productrices interviewées) à la température ambiante. A la fin de la décantation, le surnageant 1 est habilement séparé du dépôt 1 par 55% de productrices interviewées. Ensuite, une première cuisson de la maiche est réalisée au cours de laquelle une petite quantité d'eau est ajoutée au dépôt, qui est chauffé dans une marmite pendant 2 à 4 h (56% de productrices interviewées). La marmite est retirée du feu et son contenu est ajouté au surnageant initialement recueilli (52% de productrices interviewées) pour permettre l'acidification. Ce mélange est laissé au repos pendant 11 à 16 h pour une bonne saccharification et une meilleure décantation donnant le surnageant 2 et le dépôt 2 (65% de productrices interviewées). Ensuite, le dépôt 2 est chauffé dans une marmite pendant 2 à 4 h (65 % de productrices interviewées). Cette cuisson est suivie d'une filtration (100% de productrices interviewées) pour séparer le drèche du filtrat. Le filtrat recueilli dans une jarre (62,5% de productrices interviewées) à travers une toile mousseline (47,5% de productrices interviewées) ou un panier tapissé de sac de jute (48,5% de productrices interviewées) est ajouté au surnageant 2 (45% de productrices interviewées) et le mélange subit une dernière cuisson dans une marmite (55% de productrices interviewées) pour donner le moût sucré du chakpalo. Le moût sucré obtenu après brassage est filtré, puis conditionné dans des gourdes (45% de productrices interviewées) fréquemment utilisées pour la fermentation spontanée du

chakpalo pendant 24-72 heures (55% de productrices interviewées) à la température ambiante.

3.2.5. Critère d'appréciation du chakpalo

La plupart des productrices ont apprécié le chakpalo comme étant une boisson peu alcoolisée (56% des productrices interviewées) et peu acide (45,5% des productrices interviewées). Un bon chakpalo est de couleur brunâtre, peu acide et légèrement alcoolisé. Pour certaines productrices (42%) un chakpalo très acide n'est pas de bonne qualité, aurait subi une longue fermentation ou mal produit. Pour Kayodé et al. (2007) et Dossou et al. (2015) le goût et le degré d'alcool ont été appropriés comme les critères essentiels de qualité utilisées par les consommateurs pour apprécier certaines bières traditionnelles (tchoukoutou, dolo et chakpalo).

3.3. Commercialisation de chakpalo

3.3.1. Facteur influençant le prix de vente de chakpalo

Le prix de vente du chakpalo dépend du prix d'achat de la matière première (97,5% des productrices interviewées) et de la période de forte demande surtout pendant la saison sèche et la période des événements particuliers (55% des productrices interviewées).

3.3.2. Niveau de demande et lieu de vente

Le niveau de demande du chakpalo est variable. En effet, 92,5% des productrices interviewées ont estimé que le niveau de la demande de la moyenne est de 162 litres par semaine alors que 2,5% d'entre elles ont révélé que la demande courante est faible.

Le chakpalo est une boisson rafraichissante qui se vend dans les rues (82,5 % productrices interviewées), au marché (70% productrices interviewées) et dans les maisons (37,5% productrices interviewées).

3.4. Système technologique de production et caractérisation physicochimiques et microbiologique

3.4.1. Evolution de la teneur en eau des grains de maïs au cours du trempage

Cette étude a été réalisée dans le but de déterminer la durée maximale de trempage des grains de maïs de la variété Mougngui. Selon Dossou et al. (2014), le trempage des grains de sorgho est l'une des étapes importantes du maltage puisqu'il apporte aux grains de maïs l'eau et l'oxygène nécessaire pour sa bonne germination. La Figure 3 présente le suivi de la teneur en eau des grains au cours du trempage montrant la vitesse d'absorption d'eau des grains de maïs réalisé à la température ambiante.

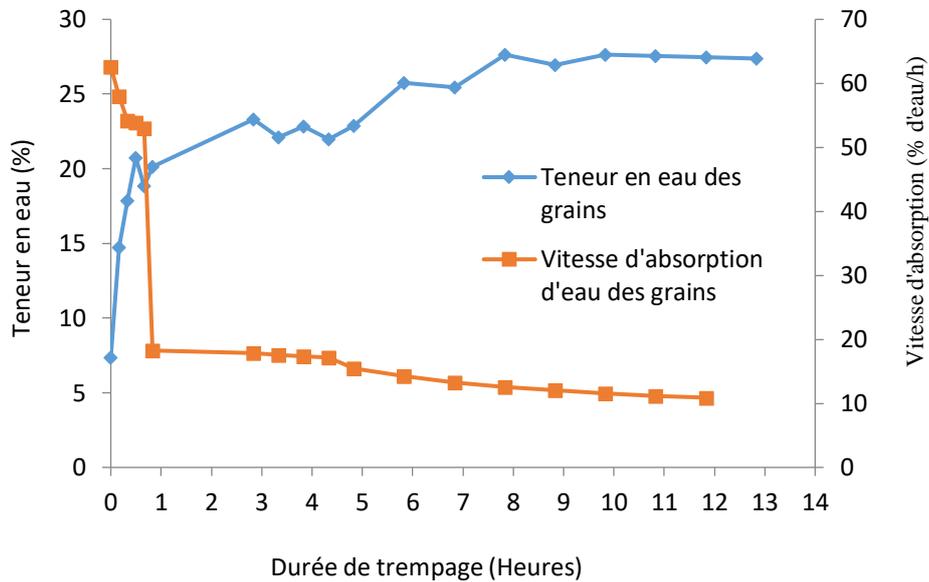


Figure 3: Evolution de la teneur en eau et la vitesse d’absorption d’eau au cours du trempage du maïs

Figure 3: Evolution of water content and speed of water absorption during the soaking of maize

L’absorption d’eau par les grains, présente trois phases dont une phase d’absorption rapide de l’eau suivie d’une phase d’absorption lente et d’une phase d’absorption constante. La teneur en eau initiale des grains de maïs est passée rapidement de 7,36 à 20,12 % après 50 minutes de trempage et à 27,4 % en fin de trempage, 12 heures. Le grain de maïs absorbe près de 44,15 % d’eau au cours des 50 premières minutes de trempage. L’élévation de l’eau dans le grain (52,99 % d’eau/h) est très élevée en début de trempage à 50 minutes à cause de la vitesse d’absorption rapide du grain de maïs et devient faible en fin de trempage (11,20 % d’eau/h) au cours des 11 dernières heures ce qui est dû à une diminution de l’absorption de l’eau. Cette observation d’accélération de la vitesse d’absorption d’eau au début du trempage est conforme à celle obtenue par Dossou *et al.* (2014) au cours du suivi de la teneur en eau des grains de sorgho pendant le trempage. D’autres part ces auteurs ont observé qu’après 8 heures de trempage, les grains de sorgho n’absorbent quasiment plus d’eau. L’absorption d’eau est demeurée particulièrement lente voire presque constante au cours des dix dernières heures de trempage à 25 °C.

3.4.2. Profil physique des grains de maïs et caractéristiques physicochimiques du malt de maïs

Le Tableau 2 présente les teneurs en matière sèche et en protéine du malt de maïs utilisés pour la production de chakpalo.

La matière sèche du malt de maïs est de $91,81 \pm 0,02$ g/100 g ; donc la teneur en eau est d’environ 8%. Le séchage à 60°C pendant 8 h à l’étuve permet d’obtenir

un produit suffisamment sec. Ce malt obtenu est donc prédisposé à une bonne conservation. Il reste que des tests de conservation soient effectués pour le confirmer.

La teneur en protéine du malt de maïs est de $9,08 \pm 0,01$ g/100 g. Cette teneur en protéine est très avantageuse pour l’amélioration de la valeur nutritionnelle du chakpalo.

Tableau 2 : Teneurs en matière sèche et en protéine du malt de maïs

Table 2. Dry matter and protein contents of maize malt

Paramètres	Moyenne ± Ecart type
Teneur en matière sèche du malt de maïs (g/100g)	$91,81 \pm 0,02$
Teneur en protéine de malt de maïs (g/100g. MS)	$9,08 \pm 0,01$

3.5. Changements microbiologiques et physico-chimiques du moût sucré du chakpalo de maïs au cours de la fermentation

3.5.1. Evolution microbienne du moût sucré au cours de la fermentation

Le Tableau 3 présente l'évolution de la flore microbienne du moût sucré pendant 48 h de fermentation. La charge de la flore aérobie mésophile totale a augmenté de 7,4 Log (ufc/ml) à 9,5 Log (ufc/ml) de 0 à 48 h de fermentation. La charge des bactéries lactiques a augmenté de 7,8 Log (ufc/ml) à $9,45 \pm 0,46$ Log (ufc/ml) de 0 à 48 h de fermentation. La charge des levures et moisissures a augmenté 7,5 Log (ufc/ml) à 9,5 Log (ufc/ml) de 0 à 48 h de fermentation.

L'analyse de variance a révélé que la durée de fermentation a une influence significative sur la charge des bactéries lactiques et des levures et moisissures. Ainsi, au cours du processus de fermentation, les charges en bactérie lactiques et levure ont significativement ($p < 0,05$) augmenté de 24 h que leurs charges initiales. Toutefois, aucune différence significative ($p > 0,05$) des charges en bactéries lactiques et en levures et moisissures n'est observée entre 24h et 48 h de fermentation.

L'évolution au niveau des différentes flores citées témoigne de l'activité et de l'aptitude de flore aérobie mésophile totale, bactéries lactiques et levures et moisissures à se développer dans le moût sucré. L'augmentation progressive de la charge des bactéries lactiques et des levures et moisissures enregistrée au cours du processus de fermentation est en accord avec les résultats des études antérieures sur mawè (Hounhouigan et al. 1993) et sur le gowé (Vieira-Dalode, 2008). Louembe et al. (1996) ont enregistré également une augmentation significative de la charge de bactéries lactiques et de levures et moisissures pendant 15 h de fermentation du poto-poto, une bouillie fermentée à base de maïs.

Tableau 3 : Changement microbiologique du moût sucré au cours de la fermentation

Table 3. Microbiological change of sweet wort during fermentation

Durée de fermentation (heure)	Flore aérobie mésophile totale (Log cfu/ml)	Bactérie lactique (Log cfu/ml)	Levure et moisissure (Log cfu/ml)	Entérobactérie (Log cfu/ml)
0	7,42 ± 0,41a	7,82 ± 0,10a	7,52 ± 0,57a	<1
24	8,62 ± 0,68a	9,02 ± 0,07b	8,23 ± 0,35ab	<1
48	9,56 ± 0,27b	9,45 ± 0,46b	8,81 ± 0,02b	<1

a,b : les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différents ($p > 0,05$)

La charge des entérobactéries énumérées est <1 Log (ufc/ml). Alors que ces microorganismes sont des indicateurs de contamination. Ce niveau de charge obtenue peut s'expliquer par les bonnes pratiques d'hygiène observées lors des manipulations. De plus, l'absence des entérobactéries peut s'expliquer par l'action des différents métabolites produits par les bactéries lactiques, métabolites ayant contribué à inhiber leur développement.

3.5.2. Evolution des caractéristiques physico-chimiques du moût au cours de la fermentation

Le Tableau 4 présente l'évolution des caractéristiques physicochimiques du moût sucré pendant 48 h de fermentation. La teneur en matière sèche ainsi que celle en extraits secs solubles et en protéines montrent une diminution progressive de $8,12 \pm 0,05$ à $7,72 \pm 0,21$ g/100g de moût sucré, $10,1 \pm 0,07$ à $9,40 \pm 0,00$ °brix, et $9,47 \pm 0,67$ à $2,50 \pm 2,21$ g/100g respectivement. La diminution de la teneur en matière sèche n'est pas significative ($p > 0,05$) au cours des 48 h de fermentation alors que celle des extraits secs solubles est significative ($p < 0,05$) à partir de 24 heures de fermentation. Cette réduction des extraits secs solubles est probablement le résultat de l'activité microbienne, montrant qu'au cours de la fermentation les bactéries lactiques et levures et moisissures utilisent la matière puis produisent de l'eau au cours des réactions métaboliques (Hounhouigan et al. 1993). Pour la même dynamique de fermentation, Nanadoum et al. (2006) et Djê et al. (2008) ont observé également une diminution progressive mais non significative ($p > 0,05$) des extraits secs solubles pendant 8 h de fermentation du tchapalo de la côte d'ivoire et du bili bili, une bière traditionnelle du Tchad respectivement. Ils ont aussi attribué cette diminution à l'utilisation de ces matières par les microorganismes impliqués dans les produits.

La diminution du pH est très lente durant l'évolution de fermentation. En effet, le pH décroît de $4,19 \pm 0,01$ à $4,11 \pm 0,01$ à la fin de la fermentation. Ensuite, sa diminution est statistiquement significative ($p < 0,05$) durant tout le processus de fermentation. La diminution du pH au cours des processus de fermentation serait le résultat de la production d'acides organiques. Par contre, l'acidité titrable a augmenté au cours du processus de fermentation de 0,03 à 0,09 g d'acide lactique pour 1 litre de chakpalo. Cette augmentation de l'acidité titrable n'est pas statistiquement significative ($p > 0,05$) durant les 48 h de fermentation. Cet accroissement de l'acidité titrable serait attribuable à l'activité des bactéries lactiques qui dégradent les matières sèches et extraits secs solubles pour produire d'autres métabolites dont les plus importants sont l'acide lactique, l'acide acétique, l'acide citrique, l'acide oxalique (Djê et al. 2008). Aussi, a-t-il été rapporté qu'une faible diminution du pH après 12 h de fermentation des farines de mil non malté (Abdalla et al. 1998) serait due à l'utilisation

des acides organiques par les levures. Selon Akinrele (1970) ce phénomène serait lié à l'utilisation de l'acide lactique par les levures. Toutefois, l'acide produit abaisse le pH et la plupart des microorganismes notamment les pathogènes sont incapables de se développer dans un tel milieu garantissant ainsi la qualité sanitaire du produit (Aka et al. 2008). Cependant ce produit acide est favorable au développement des levures qui assurent la fermentation alcoolique sans modifier le pH, l'acidité titrable, les minéraux et les protéines. La légère augmentation de 2,5% de la teneur en protéines dans le chakpalo n'est pas négligeable sur le plan nutritionnel. Aussi, Nanadoum et al. (2006) ont également observé que le pH n'évolue pas significativement au cours du processus de fermentation alcoolique de bili bili, bière traditionnelle tchadienne. La grande différence entre le moût sucré et le chakpalo se situe au niveau de la teneur en sucres qui varie significativement au cours de la fermentation alcoolique. En effet, durant cette fermentation, les levures utilisent les sucres fermentescibles qu'elles transforment en alcool et en

dioxyde de carbone (Djê et al. 2008 ; Aka et al. 2008. N'guessan et al. 2011).

3.5.3. Corrélation entre les paramètres physicochimiques et la population microbienne

Le Tableau 5 présente l'existence d'une corrélation significative entre l'augmentation de la population microbienne et les paramètres physicochimiques. Les bactéries lactiques sont significativement ($p < 0,05$) et positivement corrélées avec les levures et moisissures ($r = 0,80$). Cette corrélation indique que l'évolution des bactéries lactiques semble s'accompagner d'un développement des levures. Selon Steinkraus (2002), cette corrélation serait le résultat d'une association symbiotique entre les levures et les bactéries lactiques et que les bactéries lactiques créent un environnement acide favorable à la prolifération des levures qui produisent à tour des vitamines et d'autres composés.

Tableau 4 : Changement physicochimique du moût sucré au cours de la fermentation

Table 4. Physicochemical change of sweet wort during fermentation

Durée de fermentation (heure)	Matière sèche (g/100 g)	Extrait sec soluble (°brix)	Protéine (g/100g)	pH	Acidité titrable (g/l d'acide lactique)	Alcool (%)
0	8,12 ± 0,05a	10,1 ± 0,07a	9,47 ± 0,67a	4,19 ± 0,01a	0,03 ± 0,00a	0a
24	7,91 ± 0,06a	9,55 ± 0,07b	5,00 ± 3,53b	4,13 ± 0,00b	0,04 ± 0,04a	1,35 ± 0,18b
48	7,72 ± 0,21a	9,40 ± 0,00b	2,50 ± 2,21c	4,11 ± 0,01c	0,09 ± 0,01a	3,36 ± 0,48c

a,b,c : les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différents ($p > 0,05$)

Tableau 5 : Coefficients de corrélation entre les paramètres physicochimiques et la population microbienne impliquée dans le processus de fermentation de moût sucré en chakpalo

Table 5. Correlation coefficients between physicochemical parameters and microbial population involved in the fermentation process of sweet wort into Chakpalo

Variables	Flore aérobie mésophile totale	Bactéries lactiques	levure et moisissure	Matière sèche	Protéine	pH	Acidité titrable	Extrait sec soluble	Alcool
Flore aérobie mésophile totale	1								
Bactéries lactiques	0,903	1							
levure et moisissure	0,935	0,801	1						
Matière sèche	-0,675	-0,692	-0,763	1					
Protéine	-0,886	-0,933	-0,876	0,855	1				
pH	-0,661	-0,671	-0,794	0,967	0,876	1			
Acidité titrable	0,876	0,916	0,894	-0,914	-0,977	-0,902	1		
Extrait sec soluble	-0,857	-0,951	-0,863	0,799	0,950	0,807	-0,965	1	
Alcool	0,931	0,918	0,878	-0,794	-0,977	-0,808	0,932	-0,884	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $p = 0,05$

La flore aérobie mésophile totale, la charge de bactéries lactiques et levures et moisissures sont significativement ($p < 0,05$) et négativement corrélées avec la teneur en protéine ($r = -0,88$; $r = -0,93$ et $r = -0,87$ respectivement) avec les extraits secs solubles ($r = -0,86$; $r = -0,95$ et $r = -0,86$ respectivement) et significativement ($p < 0,05$) et positivement corrélées avec l'acidité titrable ($r = 0,86$; $r = 0,96$ et $r = 0,86$ respectivement) avec la teneur en alcool ($r = 0,93$; $r = 0,92$ et $r = 0,88$ respectivement). Ces corrélations montrent que la population microbienne utilise la matière pour leur métabolisme et produisent de l'acide lactique et de l'alcool au cours du processus de fermentation.

3.5.4. Caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du chakpalo témoin et du chakpalo pasteurisé

Les Tableaux 6 et 7 présentent les caractéristiques microbiologiques et physicochimiques du chakpalo témoin et de celui pasteurisé.

Les charges de flore aérobie mésophile totale, de bactéries lactiques et de levures et moisissures du chakpalo pasteurisé sont significativement ($p < 0,05$) inférieure à celles du chakpalo témoin (témoin). Cette réduction de signification est due à la pasteurisation effectuée à 60°C pendant une 1 h. Les deux chakpalo sont exempts de microorganismes pathogènes (Tableau 6). L'absence des microorganismes pathogènes est due d'une part au respect des conditions d'hygiène au cours de la production et d'autre part au pH acide du chakpalo qui n'est pas favorable à leur prolifération.

Au plan physicochimique (Tableau 7), le pH ($4,0 \pm 0,0$) et l'acidité titrable ($0,08 \pm 0,00$ g/100 g d'acide lactique) du chakpalo pasteurisé sont significativement ($p < 0,05$) inférieure au pH ($4,11 \pm 0,01$) et l'acidité titrable ($0,09 \pm 0,01$ g/100 g d'acide lactique) du chakpalo témoin. Alors que les teneurs en matière sèche et en extraits secs solubles de chakpalo pasteurisé sont significativement ($p < 0,05$) supérieure à celles du chakpalo témoin. Cette variation est due à l'effet de la pasteurisation qui a permis la concentration de la matière.

Tableau 6 : Qualité microbiologique de chakpalo pasteurisé

Table 6. Microbiological quality pasteurized chakpalo

Chakpalo	Flore aérobie mésophile totale (Log ufc/ml)	Bactérie lactique (Log ufc /ml)	Levure et moisissure (Log ufc /ml)	Entérobactéries (Log ufc /ml)
Témoin	$9,56 \pm 0,27a$	$9,45 \pm 0,46a$	$8,81 \pm 0,02a$	<1
Pasteurisé	$6,03 \pm 0,27b$	$6,84 \pm 0,02b$	$6,72 \pm 0,30b$	<1

a,b : les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différents ($p > 0,05$)

Tableau 7 : Qualité physicochimiques du chakpalo pasteurisé

Table 7. Physicochemical quality of pasteurized chakpalo

Chakpalo	Matière sèche (g/100g)	Extrait sec soluble ($^{\circ}$ brix)	Protéine (g/100g)	pH	Acidité titrable (mg/100g d'acide lactique)	Alcool (% v/v)
Témoin	$7,72 \pm 0,21a$	$9,40 \pm 0,00a$	$2,50 \pm 2,21a$	$4,11 \pm 0,01a$	$0,09 \pm 0,01a$	$3,36 \pm 0,48a$
Pasteurisé	$8,90 \pm 0,55b$	$9,73 \pm 0,04b$	$3,60 \pm 3,53a$	$4,0 \pm 0,0b$	$0,08 \pm 0,00a$	$3,88 \pm 0,16a$

a,b : les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différents ($p > 0,05$)

3.6. Evaluation sensorielle du chakpalo

Les deux échantillons de chakpalo témoin et de celui pasteurisé sont soumis à l'évaluation de 30 consommateurs suivant les critères : apparence, goût et l'acceptabilité globale. Ces consommateurs sont ensuite regroupés en classe selon la similitude d'appréciation des deux produits.

3.6.1. Evaluation de l'apparence du chakpalo de maïs perçu par les consommateurs

Les consommateurs ont évalué l'apparence du chakpalo pasteurisé et du chakpalo non pasteurisé (Figure 4). Environ 40 % et 26,70 % des consommateurs ont estimé que l'apparence des produits est un peu agréable,

33,30 % et 26,70 % des consommateurs l'ont trouvé agréable, 13,30 % et 10 % des consommateurs extrêmement agréable pour les chakpalo pasteurisé et non pasteurisé respectivement. Seulement 16,70 % des consommateurs ont jugé que le chakpalo non pasteurisé a une apparence ni agréable ni désagréable.

Les consommateurs ont trouvé que le chakpalo pasteurisé est de couleur blanchâtre (80 % des consommateurs), visqueux (20 % des consommateurs) alors que celui non pasteurisé est de couleur cendre (30 % des consommateurs), moins visqueux (33,30 % des consommateurs).

3.6.2. Goût du chakpalo de maïs perçu par les consommateurs

La Figure 5 présente l'évaluation du goût de chakpalo selon la perception des consommateurs. Environ 20 % et 33,33 % de consommateurs ont attribué une note de 6 (un peu agréable), 36,70 % et 23,30% des consommateurs une note de 7 (agréable), 23,3 % et 20% des consommateurs une note de 8 (très agréable) ensuite 10 % et 6,7% des consommateurs une note de 9

(extrêmement agréable) au goût de chakpalo pasteurisé et à celui non pasteurisé respectivement. Seulement 10% de consommateurs ont jugé que le chakpalo non pasteurisé a un goût ni agréable ni désagréable.

La majorité de consommateurs (63,30 %) ont préféré le goût légèrement sucré et légèrement acide du chakpalo pasteurisé contre le goût moins sucré et très acide du chakpalo non pasteurisé.

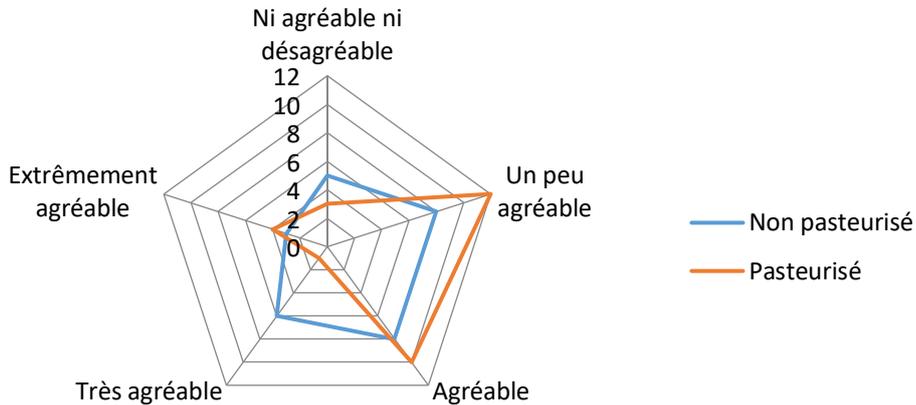


Figure 4 : Evaluation de l'apparence de chakpalo selon les consommateurs

Figure 4. Appearance Assessment of chakpalo according to consumers

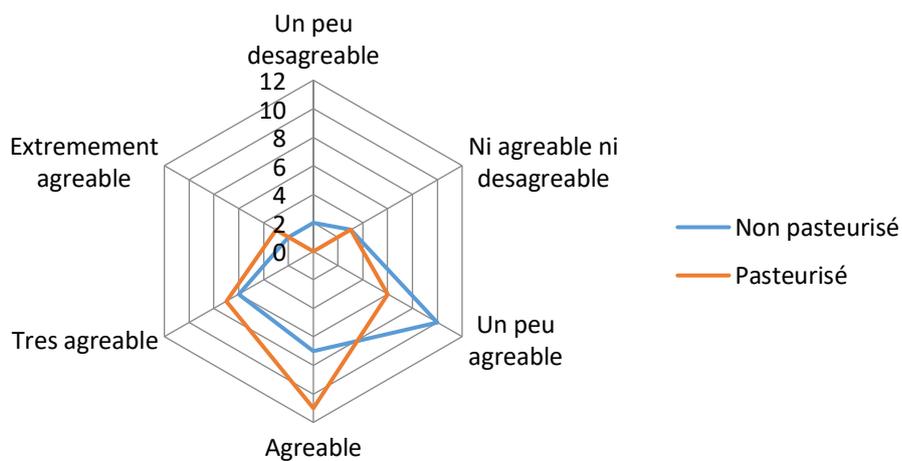


Figure 5: Evaluation du goût de chakpalo selon les consommateurs

Figure 5. Taste Assessment of chakpalo according to consumers

3.6.3. Acceptabilité du chakpalo

Tous les deux produits ont été appréciés pour l'apparence (scores de 6,8 sur 9 et 6,67 sur 9 pour le chakpalo non pasteurisé et le Chakpalo pasteurisé respectivement) et le goût (scores de 6,6 et 7,03 pour le chakpalo non pasteurisé et le Chakpalo pasteurisé respectivement) (Tableau 8). Pour l'appréciation globale, un score d'acceptabilité supérieur à 6 « un peu agréable » a été attribué avec une moyenne de 6,43 pour le chakpalo non pasteurisé et de 7,03 pour celui pasteurisé, soit « agréable » (Tableau 8).

Aucune différence significative ($p > 0,05$) n'est observée pour l'appréciation des deux produits. Ces résultats révèlent une acceptation de tous les attributs sensoriels de base qui caractérisent le chakpalo.

Tableau 8 : Score d'acceptabilité globale du chakpalo selon les consommateurs

Table 8. Overall acceptability score of chakpalo according to consumers

Chakpalo	Apparence	Goût	Acceptabilité globale
Non pasteurisé	6,80 ± 1,24a	6,60 ± 1,30a	6,43 ± 1,17a
Pasteurisé	6,67 ± 1,21a	7,03 ± 1,13a	7,03 ± 1,43a

a, pas de différence significative ($p > 0,05$)

3.6.4. Classification des consommateurs

L'analyse de classification ascendante hiérarchique a été réalisée pour grouper les consommateurs interviewés selon le dendrogramme (Figure 6). La classification a donné une variation d'acceptabilité des deux produits suivant le comportement des consommateurs. Ainsi, selon la méthode de Ward, le trait en pointillé présente le niveau de similarité de trois groupes de consommateurs suffisamment distincts les uns des autres. Il s'agit de groupe C1 (aiment plus chakpalo pasteurisé) constitué de 56,67% de consommateurs, groupe C2 (aiment bien chakpalo) de 30% de consommateurs et de groupe C3 (aiment chakpalo non pasteurisé) de 13,33% de consommateurs.

3.6.5. Appréciation des consommateurs

La Figure 7 présente l'appréciation des trois groupes de consommateurs de chakpalo issu du dendrogramme. Nous avons utilisé le point 5 « ni agréable, ni désagréable » comme un indicateur « limite d'appréciation minimum du produit ». Le produit en dessous de 5 a été considéré comme « non aimé » et au-dessus de 5 est considéré comme « aimé ». Ainsi, pour les trois groupes, les consommateurs ont été classés : « aiment plus le chakpalo pasteurisé » (56,67 % de consommateurs), « aiment bien le chakpalo » (30 % de consommateurs) et « n'aiment pas le chakpalo non pasteurisé » (13,33 % de consommateurs).

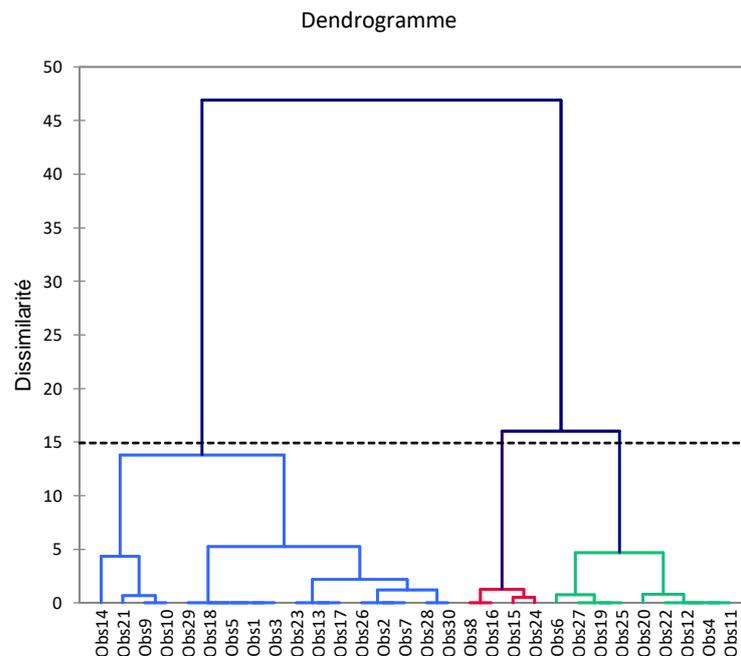


Figure 6 : Classification ascendante hiérarchique de dendrogramme des consommateurs en différents groupes suivant leur perception d'acceptabilité du chakpalo (Le trait en pointillé présente le niveau de similarité de chaque groupe de consommateurs)

Figure 6. Hierarchical clusters analysis dendrogram for segmenting consumers into group of similar acceptability perception of chakpalo (The dashed line denotes the level of dissimilarity along which each consumer group was selected)

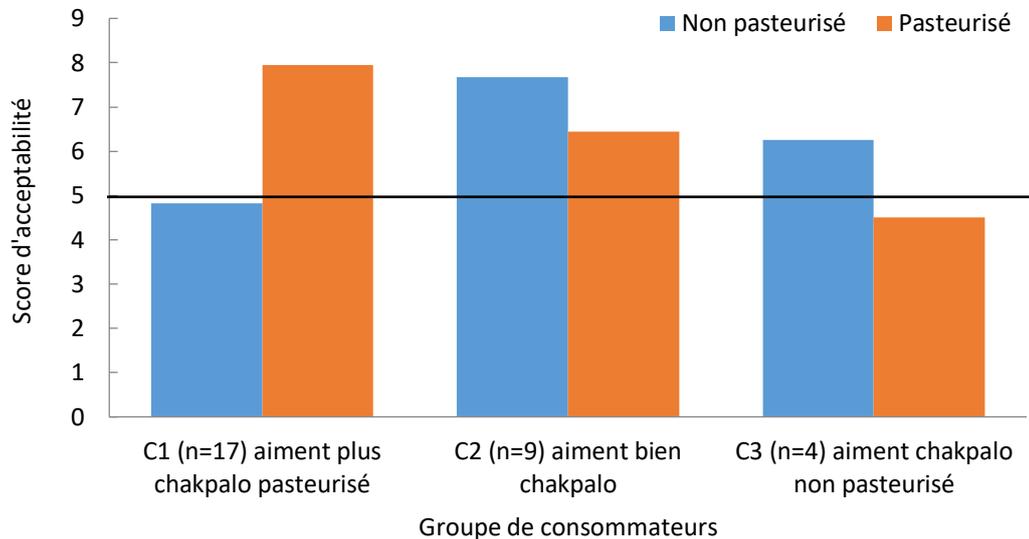


Figure 7 : Appréciation des groupes de consommateurs de chakpalo. La ligne horizontale passant par l'ordonnée 5 et correspondant à « ni agréable, ni désagréable » est un indicateur « limite d'appréciation minimum du produit »

Figure 7. Appreciation of chakpalo consumers' groups. The horizontal line passing through ordinate 5 and corresponding to "neither pleasant nor unpleasant" is an indicator "limit of minimum appreciation of the product"

4. Conclusion

L'étude a permis de décrire la technologie de production du chakpalo telle que pratiquée dans sa région d'origine. La technologie de production de chakpalo comprend trois grandes opérations prépondérantes que sont le maltage, le brassage et la fermentation. Le chakpalo est produit par un nombre important de femmes engagées dans sa production et sa commercialisation. Le chakpalo obtenu a un produit acide (pH= 4,11) et une teneur en alcool variant de 3.36 à 3.88% riche en levures et bactéries lactiques exempt de bactéries pathogènes. Le test de consommation a montré que la pasteurisation du chakpalo a une influence sur ses attributs sensoriels qui sont bien distincts selon les différents groupes de consommateurs obtenus. Il serait donc important d'identifier les levures et les bactéries lactiques impliquées dans la production afin de sélectionner celles qui produiront du chakpalo désirable suivant l'exigence des consommateurs.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- AACC. 1984. Approved methods of the American Association of Cereals Chemists. 8th ed. St Paul. MN. USA.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington: AOAC.
- Abdalla, A. A., Eltinay, A. H, Mahamed, B. E. and Adalla, A. H.. 1998. Effect of traditional processes on phytate and mineral content of pearl millet. *Food Chemistry*, 63:79 – 87
- Aka, S., Djeni, N. D. T., N'Guessan, K. F., Yao, K. C., & Dje, K. M. 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(2): 274 - 286.
- Akinrele, I. A. 1970. Fermentation studies on maize during preparation of a traditional African Starch cake food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 21: 619- 625.

- Akissoe H.N, Sacca C, Declémy A-L, Bechoff A, Anihouvi V, Dalode G, Pallet D, Fliedel G, Mestres C, Hounhouigan D.J, Tomlins K.I. 2014. Cross-Cultural Acceptance Of A Traditional Yoghurt-Like Product Made From Fermented Cereal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(9):1876–84.
- Ballogou, V. Y., Dossou, J. C. A. de Souza, 2011. Controlled Drying Effect on the Quality of Sorghum Malts Used for the Chakpalo Production in Benin. *Food. Nutri. Sci.* 2: 156-161.
- Chamunorwa, A.T., Feresu, S.B., Mutukumira, A.N. 2002. Identification of lactic acid bacteria isolated from opaque beer (Chibuku) for potential use as a starter culture. *The Journal of Food Technology in Africa*. 7, 93-97.
- Chevassus-Agnes, S., Favier J.C., Joseph, A.. 1979. Traditional technology and nutritive value of Cameroon sorghum beers. *Cah. Onarest.* ; 83- 112.
- Desobgo, Z.S.C., Naponni, F. Y., Nso, J. E. 2013. Caractérisation des moûts et bières du sorgho Safrari houblonnés avec *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 2 : 83-91.
- Djè M.K, N’Guessan K.F, Djeni T.N.D, Dadié T.A. 2008. Biochemical Changes during Alcoholic Fermentation in the Production of “Tchapalo”, a Traditional Sorghum Beer. *International Journal of Food Engineering*. 4(7):1-15.
- Dossou J, Ballogou V.Y, Amoussou Fagla B, Akissoé N, Daïnou O, de Souza C. 2014. Improving of traditional sorghum (*Sorghum bicolor*) malting process for chakpalo production in Benin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*. 76:30-40.
- Dossou J, Ballogou VY, Dabadé DS, Dakpo M. 2015. Analyse économique de la production artisanale du chakpalo au Bénin : aspects sociaux et facteurs déterminants de la rentabilité financière de l’activité. *Journal of Applied Biosciences*. 87:8065- 75.
- Dossou, J., V. Ballogou, C. de Souza. 2011. Étude comparative de la dynamique microbienne et de la qualité du chakpalo fermenté à levure commerciale (*Saccharomyces cerevisiae*) et au ferment traditionnel et stabilisé par pasteurisation; *J. Rech. Sci. Univ. Lomé, Série A*, 13(1): 39-51.
- Glover RLK, Abaidoo RC, Jakobsen M, Jespersen L. 2005. Biodiversity of *Saccharomyces cerevisiae* isolated from a survey of pito production sites in various parts of Ghana. *Systematic and Applied Microbiology*; 28:755-61.
- Hongbété F, Kindossi JM. 2017. Diversity and Traditional Consumption of Edible Insects in North Benin. *Journal of Scientific Research and Reports*, 14(1):1- 11.
- Hongbété F, Kindossi JM, Hounhouigan JD, Nago MC. 2018. Production et qualité nutritionnelle des épis de maïs frais bouillis consommés au Bénin. *Int J Biol Chem Sci*. 11(5):2378.
- Hongbété F, Tidjani A-K, Kindossi JM. 2017. Traditional Production Technology, Consumption And Quality Attributes Of Toubani: A Ready-To-Eat Legume Food From West Africa. *African Journal of Biotechnology*, 16(19): 1123-1130.
- Hounhouigan, D. J., Nout, M. J. R., Nago, C. M., Houben, J. H., and Rombouts F. M. 1993. characterization and frequency distribution of species of lactic bacteria involved in the processing of mawè, a fermented maize dough from Benin. *International Journal of Food Microbiology*.; 18: 279 – 287
- INRAB/MAEP. 2010. Répertoire des variétés de maïs vulgarisées au Bénin, document technique d’information et de vulgarisation, 3 décembre 2010, Bénin;11 p
- ISO-4833. 2003. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the enumeration of microorganisms – Colony count technique at 30°C (ISO 4833). In: *ISO-Microbiology*, editor. 3rd ed.; p1-9.
- ISO-7954. 1988. General guidance for enumeration of yeast and moulds- colony count technique at 25°C (ISO 7954). In: *ISO Microbiology*, editor.; pp. 1-4.

- ISO-15214. 1998. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the enumeration of mesophilic lactic acid bacteria– Colony-count technique at 30 °C In: ISO-Microbiology, editor. first ed.; pp1-7.
- ISO-21528. 2004. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal methods for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae – Part 2:Colony-count method (ISO 21528-2). In: ISO-Microbiology, editor. 1st ed.; pp. 1-10.
- Iwuoha C. I. and O. S. Eke, 1996. Nigerian indigenous fermented foods, their traditional process operation, inherent problems, improvements and current status. *Food Research International*. 29(5-6): 527-540
- Kayodé APP, Hounhouigan DJ, Nout MJR, Niehof A., 2007. Household production of sorghum beer in Benin: Technological and socio-economical aspects. *International Journal of Consumer Studies*. 31: 258-264.
- Kutyauripo, J., Parawira, W., Tinofa, S., Kudita, I., Ndengu, C.. 2009. Investigation of shelf-life extension of sorghum beer (Chibuku) by removing the second conversion of malt. *International Journal of Food Microbiology*.; 129, 271-276.
- Louembe, D., Brauman, A., Tchicaya, F. et Kobawiba, S. C. 1996. Etude microbiologique et biochimique de la bouillie de maïs, "Poto-Poto". *Microbiologie. Aliments – Nutrition*. 14 : 245 - 253.
- Lyumugabe, F., Bajyana, S.E, Wathel, J. P., Thonar, P.. 2013. Volatile compounds of the traditional sorghum beers "ikigage" brewed with *Vernonia amygdalina* "umubirizi" *Cerevisia*.; 37: 89-96.
- Maoura, N., Mbaiguinam, M., Nguyen, H.V., Gaillardin, C., Pourquie, J. 2005. Identification and typing of the yeast strains isolated from bili bili, a traditional sorghum beer of Chad. *African Journal of Biotechnology*. 4: 646-656.
- Mbajiuka, C., Omeh, Y., Ezeja, M. 2010. Fermentation of sorghum using yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as a starter culture for burukutu production. *Continental Journal Biological Sciences* 3: 63-74.
- Mounir M., Belgrire M., Lahnaoui S., Hamouda A., Thonart P., Delvigne, F. Ismaili Alaoui M. (2016). Maîtrise de la fermentation alcoolique sous stress éthanolique, thermique et osmotique de la souche *Saccharomyces cerevisiae* YSDN1 en vue de la préparation du vinaigre de fruits. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 4 (2):86-95
- N'Guessan F.K, Coulibaly H.W, Alloue-Boraud M.W.A, Cot M, Djè K.M. 2016. Production of freeze-dried yeast culture for the brewing of traditional sorghum beer, tchapalo. *Food Science & Nutrition*.; 4 (1):34-41.
- N'guessan, K. F., Brou, K., Jacques, N. m., Casaregola, S., & Dje, K. M. 2011. Identification of yeasts during alcoholic fermentation of tchapalo, a traditional sorghum beer from Côte d'Ivoire. *Antonie van Leeuwenhoek*.; 99 : 855-864.
- Nago C.M. 1989. Technologies traditionnelles et alimentation au Bénin : aspects techniques, biochimiques et nutritionnelle. Cotonou, Bénin, Université Nationale du Bénin, 222 p.
- Nanadoum Maoura, Mbaiguinam, M., Gaillardin, C. & Pourquie, J. 2006. Suivi technologique, analytique et microbiologique de la "bili bili", bière traditionnelle tchadienne. *Afrique Science*.; 2 : 69-82.
- Nout, M.J.R. 1980. Microbiological aspects of the traditional busaa, a Kenyan opaque beer. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm*.; 6:137–142.
- Orji, M.U., Mbata, T.I., Aniche, G.N., Ahonkhai, I. 2003. The use of starter cultures to produce 'Pito', a Nigerian fermented alcoholic beverage. *World Journal Microbiology and Biotechnology*.; 19: 733-736.
- Osseyi, T.E., Karou, S., Ketevi, A., Lamboni, R. 2011. Stabilization of the Traditional Sorghum Beer, "Tchoukoutou" using Rustic Wine-Making Method. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 3: 254-258.
- Sawadogo-Lingani H., Lei V., Diawara B., Nielsen D.S., Møller P.L., Traoré A.S., Jakobsen M. 2007. The biodiversity of predominant lactic acid bacteria in dolo and pito wort for the production of sorghum beer. *J. Appl. Microbiol.* 103: 765-777.

- Steinkraus KH.. 2002 Fermentations in World Food Processing. Comprehensive reviews in food science and food safety. 1(1):23-32.
- Traore, T., Mouquet, C., Icard-Verniere, C., Traore, A.S., Treche, S. 2004. Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and α -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). Food Chemistry. 88:105–114.
- Viéira-Dalodé A. G., 2008. Etude de la fermentation de la farine de sorgho pour la production du gowé au Bénin : Aspect physicochimiques et microbiologiques. Doctorat de l'université d'Abomey-Calavi. ; 70 p
- Yao A.A, Egounlety M, Kouame L.P, Thonart P., 2009. Les bactéries lactiques dans les aliments ou boissons amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest : leur utilisation actuelle. Ann. Méd. Vét.; 153:54-65.