

Etude technique de la «garification» de la pulpe de manioc et caractérisation physico-mécanique du gari obtenu au Bénin

[Technical study of the "garification" of cassava pulp and physico-mechanical characterization of gari obtained in Benin]

Roger H. Ahouansou^{1,2}, Guy C. Sèmassou¹, Chakirou A. Toukourou¹, Florel Ahohuendo², and Emile A. Sanya¹

¹Université d'Abomey - Calavi (UAC), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC),
Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée (LEMA), 01 BP 2009 Cotonou, Benin

²Programme Technologie Agricole Alimentaire (PTAA), Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), 01 BP
121 Porto-Novo, Benin

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Gari is a flour obtained by frying cassava pulp. This operation is not mechanized today in Benin. Gari processors are working under difficult conditions that exposed them to smoke and heat resulting in serious health hazard. Manual gari frying process and physico-mechanical characteristics of the obtained gari from three different localities were evaluated. The achieved results showed that, cassava greater throughput is of 390 kg/h whereas that of frying of 18 kg/h. The yield of gari production is of 26.9% and cassava pulp moisture decreases from 42.27% to 5.9% during the dry-frying step when temperature increases from 27 °C to 90 °C. The values for moisture, bulk density, coefficient of uniformity of obtained respective gari are for Savalou 6.28%, 602.02 kg/m³, 2.12, Comé 6.12%, 596.08 kg/m³, 2.40 and Ikpinlè 8.11%, 609.78 kg/m³, 2.21. Their coefficients of friction are respectively for Savalou 0.68, Comé 0.65 and Ikpinlè 0.62, on the black iron sheet surface. Those results give us a useful data basis for the design of a performing frying gari machine.

KEYWORDS: Frying, gari, granulometry, coefficient of friction, pulp.

RÉSUMÉ: Le gari est obtenu par cuisson de la pulpe de manioc. Cette cuisson n'a pas connu de mécanisation, soumettant les transformatrices à la pénibilité, la chaleur avec un impact négatif sur leur santé. Cet article est une contribution pour pallier au problème. Il porte sur l'étude du processus de production du gari et l'évaluation des propriétés physico-mécaniques des variantes de gari produites au Bénin. Les résultats situent la capacité de râpage à 390 kg/h alors que celle de cuisson est de 18 kg/h. Le rendement en gari est de 26,9% pour une teneur en eau de la pulpe diminuant de 42,27% à 5,9% avec une température s'élevant de 27 °C à 90 °C. Les valeurs de la teneur en eau, masse volumique et coefficient d'uniformité des gari sont respectivement de 6,28%, 602,02 kg/m³ et 2,12 pour Savalou, de 6,12%, 596,08 kg/m³, 2,40 à Comé et de 8,11%, 609,78 kg/m³ et 2,21 à Ikpinlè. Les coefficients de frottement des gari varient entre 0,62-0,68 sur tôle noire. Les valeurs de l'angle statique au repos des gari étudiés varient entre 29,68°-30,65°. Ces résultats constituent une base de données de conception d'un cuiseur performant de gari.

MOTS-CLEFS: cuisson, gari, coefficient frottement, granulométrie, pulpe.

1 INTRODUCTION

Le manioc (*Manihot esculent*) est l'une des principales sources d'énergie du régime alimentaire des régions tropicales. L'Afrique apporte la plus grande contribution à la production mondiale avec une quantité estimée à 277 millions de tonnes par an, soit 54,4% de la production mondiale [1]. Au Bénin, la production annuelle moyenne de manioc s'élève à plus de 3 millions de tonnes avec 3,7 millions en 2013 [1]. Sa filière est retenue dans celles déclarées prioritaires dans le Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole [2] qui prévoit porter sa production à 8,5 tonnes/an. Le manioc est transformé en produits dérivés tels que l'attièkè [3], [4], [5], le foutou [6] et le gari, le plus consommé et le plus commercialisé des dérivés du manioc [7], [8].

L'amélioration et la modernisation des moyens de production agricole a permis de mécaniser plusieurs opérations de transformation du manioc tels que le râpage, le pressage, l'émottage [9]. Mais le procédé de la « garification » en lui-même, celui consistant à cuire la pulpe de manioc en gari, n'a pas encore été efficacement mécanisé. Or, c'est là l'étape spécifique où le produit passe des propriétés du manioc à celles du gari proprement dit. Cette opération a fait l'objet de nombreuses tentatives, mais n'a encore connu de résultats concluants. En manque d'une technologie appropriée et répandue jusqu'ici, la cuisson de la pulpe de manioc frais en gari continue de s'effectuer presque exclusivement au moyen de la méthode traditionnelle: manuelle [7], [10], bien qu'il constitue une importante source de revenu pour les acteurs de la filière gari que sont les femmes transformatrices [11].

Différentes tentatives de mécanisation de la cuisson du gari sont faites depuis quelques années [12]. Cependant, elle continue de se réaliser manuellement, y compris à l'échelle industrielle, soumettant ainsi les femmes à la chaleur et à la fumée [13]. Une réalisation concrète d'une solution mécanisée de cuisson du gari a été proposée par [14] où un cuiseur automatique a été présenté pour produire de grandes quantités de gari. Mais les indicateurs de performance de cette technologie n'ont pas été fournis et l'étude n'a pas mentionné l'usage de cette technologie à grande échelle. Le procédé de cuisson de la pulpe de manioc en gari (garification) souffre donc d'une grande lacune dans la définition claire d'une méthode systématique de cuisson. C'est la conclusion à laquelle ont également abouti [15] après la description et l'étude du garificateur amélioré de la société nigériane Fabrico. Enfin, les solutions mécanisées, élaborées et proposées par le passé, apporteraient au gari une altération de goût suffisante pour rebuter les consommateurs. Ce facteur serait une des causes de l'échec des essais d'industrialisation entrepris au Nigeria [16]. Ces différents échecs de mécanisation sont dus essentiellement à la méconnaissance des propriétés physique et mécanique du gari, et à l'absence de données fiables sur le processus de sa cuisson. Quelques propriétés physiques du gari enrichi au taro ont été évaluées [17], sans que ces auteurs aient abordé de façon approfondie les caractéristiques physique et mécanique du gari de base. La présente étude se propose d'évaluer les propriétés physique et mécanique du gari produit au Bénin et d'analyser les influences de la variation de la teneur en eau et de la température durant l'opération de séchage-cuisson, en vue de la conception d'un cuiseur de gari performant et répondant aux besoins des transformatrices du Bénin, voire de la sous-région.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

Le matériel de transformation du manioc en pulpe est constitué d'une râpeuse, d'une presse à une vis, d'un tamis en matériau végétal et de divers ustensiles. Le matériel de cuisson, quant à lui, est constitué d'une poêle en aluminium posée sur un foyer en terre de barre et d'une spatule en bois (Photo 1). La poêle est réalisée en une demi-calotte, de forme elliptique, évasée de 1 m de diamètre, 20 cm de profondeur et 7 mm d'épaisseur, fixée au foyer réalisé en terre de barre pour réduire les pertes de chaleur. La mécanique de la cuisson est, quant à elle, un tour de main réalisé par la femme formatrice, grâce à la spatule végétale lui permettant de touiller efficacement la pulpe de manioc. De forme triangulaire, cet outil permet, par son côté le plus large, de remuer la pulpe de manioc, tout en favorisant, par sa forme convexe, de désintégrer au fur et à mesure les grumeaux de pulpe de manioc se formant au cours de la gélatinisation de l'amidon. Le manioc de variété BEN 86052, localement appelé *Agbakosimi*, récolté entre 12 et 18 mois, a été utilisé pour la production du gari.



Photos 1: Touillage de la pulpe de manioc à la spatule de bois durant sa cuisson sur la poêle

1-Poêle ; 2-Pulpe de manioc ; 3-Spatule ; 4-Foyer en terre de barre ; 5-Bois en combustion

MATÉRIEL DE LABORATOIRE

La teneur en eau des granules est déterminée, après une mouture au moulin RETCH et un séchage différentiel des granules moulues à température de 105°C, à l'aide de l'étuve HOH-EXPRESS HE50. La pesée est effectuée à l'aide de la balance de précision SARTHORIUS ; (plage de mesures : 0,1 à 120 g, précision 0,1 mg, division 0,1 g). Le volume spécifique du gari est évalué à l'aide d'une éprouvette graduée. La masse est mesurée à l'aide de la balance électronique de type Mettler Toledo SB1600 (plage de mesures : 50 à 16100 g, division : 1 g, précision : 1 mg). La granulométrie des différents types de gari est déterminée par tamisage. Les tamis sont ceux normalisés AFNOR, de diamètres progressifs de mailles 3,15 mm, 2 mm, 1,25 mm, 1 mm, 0,50 mm et 0,25 mm. Les dispositifs normalisés de détermination des angles maximal, statique et dynamique au repos ont été aussi utilisés. Les températures de la pulpe en cuisson et du gari cuit ont été mesurées à l'aide d'un thermomètre à sonde en tige, à affichage numérique et de type Baumer AT42.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 CARACTÉRISATION DU PROCÉDÉ DE TRANSFORMATION DU MANIOC EN GARI

Les observations faites ont permis de relever les données telles que : les variétés de manioc traitées, la quantité de matière avant et après chaque opération d'étape du procédé, la durée de l'opération, les matériels utilisés ainsi que le nombre de personnes intervenues. L'étape de la cuisson a fait l'objet d'une attention particulière où ont été relevées les données suivantes relatives à la quantité de pulpe fraîche de manioc par charge, les températures de la surface du plateau et de la pulpe en cuisson, ainsi que celle du gari cuit, l'évolution de la teneur en eau de la pulpe, la durée de la cuisson, la quantité de gari récupérée à la fin de la cuisson. Les paramètres calculés sont les capacités horaires et les rendements de production en gari.

2.2.2 CARACTÉRISATION DES GARIS PRODUITS DANS TROIS DIFFÉRENTES LOCALITÉS

Des échantillons de gari ont été collectés dans trois (3) localités du Bénin réputées pour la production de gari très prisé : Savalou, Comé, Ikpinlè. Le bilan d'un procédé de cuisson traditionnelle a ensuite été observé et analysé. Pour chaque quantité collectée, dans chacune de ces localités, trois échantillons ont été prélevés, puis analysés. Les données recueillies sur la caractérisation physique et mécanique des échantillons sont : la masse, la teneur en eau, la granulométrie, le volume spécifique, l'angle maximal au repos, l'angle statique au repos et l'angle dynamique au repos. La teneur en eau des variantes de gari a été déterminée par la méthode AOAC, version 2005.

Les échantillons des différentes variantes de gari ont été analysés, à travers la détermination des paramètres caractéristiques tels que : la masse volumique apparente, la granulométrie, le coefficient d'uniformité, le coefficient de frottement. La masse volumique apparente est évaluée par la méthode de [18]. L'évaluation de la granulométrie a été réalisée par tamisage à l'aide de la série de tamis normalisés de dimensions de mailles respectives 3,15 mm, 2 mm, 1,25 mm, 1 mm, 0,56 mm et 0,25 mm montés sur un tamiseur vibrant de type WS Tyler. Les proportions de grains passant et de reflux ont été pesées et rapportées à la masse totale des échantillons. Le coefficient d'uniformité ou de dispersion, qui montre comment

sont distribuées les tailles des granules ou particules constituant le gari, a été estimé selon la méthode de [19]. Il est calculé par la formule:

$$C_u = D_{60}/D_{10} \quad (1)$$

avec D_{60} et D_{10} , la taille des mailles qui laissent échapper respectivement 60% et 10% des granules du gari.

Angle maximal au repos et coefficient de frottement

L'angle statique au repos est celui, par rapport à l'horizontal, à partir duquel les granules sont en équilibre lorsqu'elles restent encore entassées. L'angle maximal au repos et le coefficient de frottement statique du gari ont été déterminés en utilisant la méthode de [20]. Il est déterminé à l'aide d'un cylindre en tôle inoxydable, de diamètre 15 cm et de hauteur 25 cm, ouvert par le haut et le bas, placé au centre d'une plaque de diamètre 35 cm. Une fois le cylindre rempli du gari, il est relevé lentement jusqu'à ce que les grains forment un cône sur la plaque circulaire. La hauteur du cône est mesurée, de même que son diamètre de base. L'angle statique au repos est alors calculé par la relation :

$$\theta_s = \tan^{-1}(2H/D) \quad (2)$$

avec H la hauteur du cône formé et D son diamètre de base.

Angle dynamique au repos

Pour déterminer l'angle dynamique au repos, une boîte cubique en tôle inoxydable de 20 cm d'arête a été utilisée. La boîte est ouverte à sa partie supérieure et l'une de ses faces est amovible. Placée sur son support horizontal, la boîte est remplie de gari et la face amovible est ouverte avec rapidité. Les grains se déversent alors, formant un lit naturel en plan incliné. L'angle dynamique θ_d est alors calculé par la formule :

$$\theta_d = \tan^{-1} \left[\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} \right] \quad (3)$$

dans laquelle h_1 et h_2 sont les hauteurs en deux (02) points du lit et $(x_2 - x_1)$ la distance séparant ces deux points [21].

Analyse statistique

Toutes les données sont collectées en trois (03) répétitions. Les valeurs acquises pour les différents paramètres mesurés ont été ensuite traitées, à travers les calculs des valeurs moyennes, d'écart types et de fréquences, avec les logiciels MINITAB14 et SPSS 12.0. Les données ne vérifiant pas les tests de normalité de Ryan-Joiner et d'homogénéité de variance de Levene, sont soumises à ceux non paramétriques de Kruskal-Wallis. Celles vérifiant les tests de normalité et d'homogénéité sont soumises au test de Student-Newman-Keuls. Les différentes courbes découlant sont réalisées sous le logiciel MS EXCEL 2007 également utilisé pour indiquer les équations et les coefficients de corrélation des modèles mathématiques [22], [23].

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTÉRISATION DU PROCÉDÉ TRADITIONNEL DE TRANSFORMATION DU MANIOC EN GARI

Le tableau 1 présente le bilan de l'évaluation de la transformation du manioc en gari auprès d'un groupement de femmes bien suivies dénommé « *IFELEGBE* », comme il en existe plusieurs au Bénin. De ce bilan, il ressort que le temps total de transformation de 100 kg de manioc en gari est égal à 1686 min, soit environ 30 Hommes-Heures (HH).

Tableau 1. Bilan technologique global pour 100 kg de racines de manioc transformées par le groupement modèle IFELEGBE

Opérations	Quantité matière (kg)	Durée (min)	Capacité horaire (kg/h)	Rendements partiels (%)	Rendement total (%)	Matériels utilisés	Nombre de personnes
Réception	100						
Epluchage	78	65	46,2	78	78	Deux (2) couteaux	2
Lavage	78	17	275,3	100	78	Une(1) bassine	2
Râpage	77	12	390	98,71	77	Râpeuse à moteur diesel	2
Pressage	48,5	1440	3,2	62,98	48,5	Presse à une vis + sac de polyéthylène	1
Emottage	48	5	576	98,96	48	Râpeuse à moteur diesel	2
Tamassage	47,9	15	192	99,79	47,9	Tamis manuel	1
Cuisson	31	100	18,6	64,71	31	Poêle + spatule	1
Tamassage	27	20	93	87,10	27	Tamis manuel	1
Mouture	3,8	1	228	95	3,8	Moulin à meule	1
Conditionnement	26,9	10	161,4	99,62	26,9	Sac en polyéthylène + polystyrène	2

Ce temps de travail est jugé raisonnable, quand on considère que la durée de pressage est variable et fonction du degré de fermentation (variable) à assurer au gari [10]. En effet, sur une durée de 24 h de pressage, les opératrices - transformatrices ne consacrent en réalité que 30 à 60 min (1 h maximum) pour le chargement et de déchargement de la pupe du manioc. La durée effective de la fermentation peut aller jusqu'à 4 ou 5 jours, suivant les régions de production du gari [11].

En rapportant la masse de gari finalement récupérée au temps total et au nombre de personnes, on obtient ainsi la productivité, estimée ici à 0,9 kg/HH. Des observations, faites à Savalou au Bénin [10], ont permis de déterminer la productivité moyenne du procédé traditionnel de cuisson du gari: l'étude relate que treize (13) femmes productrices livrent en moyenne 300 kg de gari au terme d'un cycle de production de trois (3) jours.

La capacité horaire de la râpeuse de manioc est de 390 kg/h, valeur proche de celles des râpeuses portatives très utilisées dans la zone d'*Ikpinlè*. Cette performance est faible, en rapport avec celle des râpeuses stationnaires qui affichent une capacité proche de 1000 kg/h [24]. Quant à la cuisson, il a été rapporté la cuisson de 4 kg de pulpe de manioc en une durée de 35-40 min au Nigeria [25], soit une capacité horaire de 6 à 6,8 kg/h. La capacité de cuisson de 18,6 kg/h obtenue dans cette étude est jugée très bonne, en comparaison avec les résultats rapportés par [25]. L'utilisation de foyer en terre de barre, de la poêle en aluminium et le niveau de professionnalisme des transformatrices pourraient expliquer ce faible niveau de résultat. Le rendement en gari, évalué à 26,9%, est supérieur à la valeur moyenne estimée à 20-22% [10]. Ceci peut s'expliquer par le fait que les femmes transformatrices mettent surtout l'accent sur l'âge du plant de manioc qui doit avoir de 12 à 18 mois, pour livrer un bon rendement. Ce rendement relativement élevé peut être dû à la variété de manioc utilisée (BEN 86052) et à la période de récolte jugée convenable car celle-ci a été effectuée en juillet, un mois de sécheresse par excellence. Les opérations d'épluchage des racines de manioc, de pressage de la pulpe obtenue et de cuisson induisent les plus grands impacts sur la baisse du rendement en gari avec des chutes partielles estimées à 23%, 35,73% et 35,07% respectivement.

Les résultats du tableau 1 montrent un niveau de mécanisation des opérations de transformation évalué à 40%, confirmant ceux obtenus par [11] au Nigeria. Des efforts plus accentués doivent être encore fournis, à travers la recherche et la conception - fabrication, afin de mettre à la disposition des femmes transformatrices, des équipements performants destinés respectivement à l'épluchage [26], la cuisson et le tamassage [9]. Cela contribuera, à réduire la pénibilité du travail au profit des femmes transformatrices d'une part, et à augmenter la productivité d'autre part, afin de répondre aux besoins du marché [13], [15].

3.2 PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES DE LA CUISSON

Les données enregistrées, quant aux évolutions respectives de la température et de la teneur en eau de la pulpe de manioc durant l'opération de cuisson, sont transcrites sur la Figure 1.

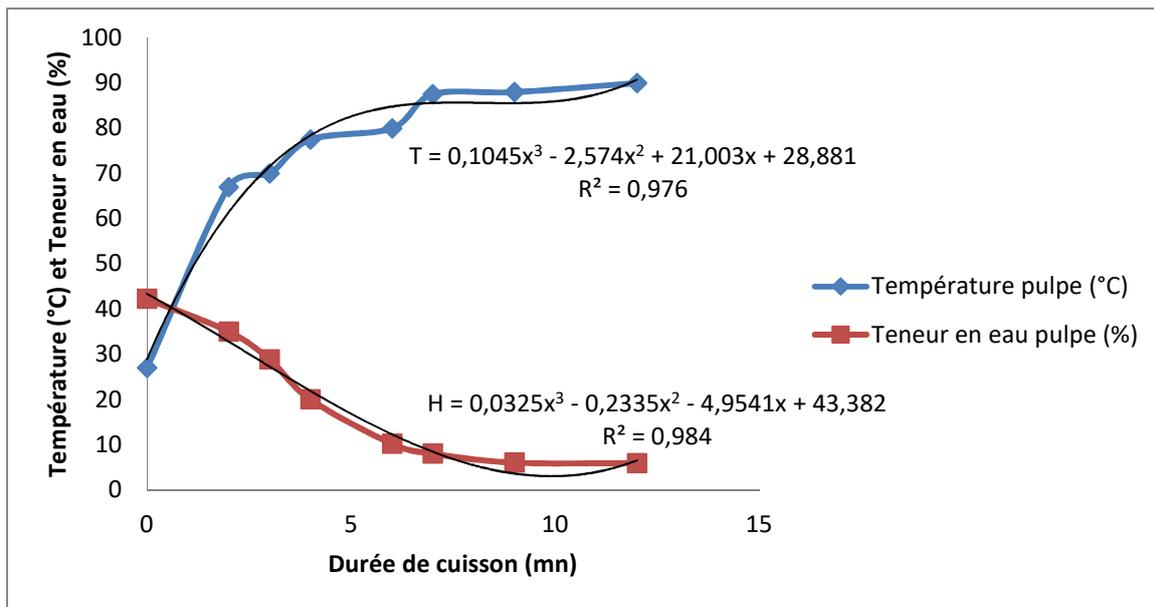


Fig. 1. Evolutions de la teneur en eau et la température de la pulpe de manioc en cuisson

La grande surface de cuisson offerte par la poêle permet un bon étalage de la pulpe fraîche de manioc pour sa cuisson ; cela explique la rapide variation de la température de la pulpe au début de la cuisson. La teneur en eau connaît une variation équivalente, en s'abaissant d'environ 3/4 de sa valeur pendant la première moitié du temps de la cuisson. Cela montre que la pulpe de manioc a subi un séchage-cuisson rapide, résultant en fait d'un choc thermique entre la pulpe initialement à environ 30 °C entrant en contact d'une surface de la poêle à plus de 150 °C. La conjonction des deux paramètres (température, teneur en eau) permet de ramener la température du mélange se stabiliser aux environs des valeurs de 70 °C - 90 °C enregistrées et affichées sur la Figure 1. Il est commode de reconnaître que cette plage de températures correspond parfaitement à celle favorisant une gélatinisation aisée de l'amidon, constituant majeur de la pulpe fraîche de manioc soumise à la cuisson - séchage. Le procédé de cuisson - séchage ainsi observé s'est révélé être celui qualifiable d'une cuisson rapide par une gélatinisation de l'amidon suivie de la vaporisation vive de l'eau utilisée à cette fin. Dans le déroulement de cette cuisson-séchage, la pulpe de manioc est vigoureusement touillée de long en large sur l'aire de la poêle offerte à l'opération. Les spatules utilisées pour remuer ou touiller la pulpe en cuisson ont également une forme arrondie, chose utile pour écraser les agglomérats de pulpe dès leur formation constatée par la transformatrice. De temps à autres cependant, la pulpe est amassée à dessein sur un côté de l'aire de cuisson non soumis à l'action directe de la chaleur produite par du bois. Cette agglomération temporaire de la pulpe non encore cuite, de quelques secondes en général, est destinée à favoriser une certaine agglutination souhaitée et suivie, en vue de la gélatinisation de l'amidon contenu avant d'être à nouveau dispersée au moyen de la spatule en bois pour sa granulation.

L'expression de la puissance thermique reçue par la pulpe de manioc permettrait de remarquer les écarts entre les rendements thermiques globaux estimés pour les procédés de cuisson avec la poêle en aluminium actuelle et celle en tôle inoxydable. En effet, pour la cuisson traditionnelle, la surface de cuisson est réalisée en aluminium dont la conductivité thermique de 237 W.m⁻¹.K⁻¹ est bien plus importante que celle en acier inoxydable utilisée pour le cuiseur (15 W.m⁻¹.K⁻¹). Or, les aciers inoxydables font partie des matériaux les plus utilisés dans l'industrie alimentaire lorsqu'il s'agit d'assurer les contacts avec des aliments, les cuisines professionnelles et domestiques. Les normes recommandant ce matériau sont d'ailleurs plus nombreuses, par exemples celles NF EN 10333-10335, NF A36-711 à 715 pour l'acier inoxydable, contre NF EN 14392 et NF EN 601 et 602 pour l'aluminium et alliages d'aluminium. La figure 1 montre que durant la cuisson, la température de la pulpe évolue de 27°C à 90°C et sa teneur en eau diminue de 42,27% à 5,9%. C'est dire que la pulpe de manioc a été prélevée pour la cuisson à la teneur en eau de 42,27%. A cette valeur de teneur en eau, sa masse volumique spécifique est environ de 1.509 kg/m³ [15]. La variation de température ΔT égale à 63°C est proche de celle obtenue par [15] qui ont rapporté une valeur de 60°C. Les relations traduisant respectivement l'évolution de la teneur en eau (W) et de la température (T) en fonction de la durée de cuisson (X) peuvent être représentées par les équations des courbes de tendance:

$$W = 0,0325x^3 - 0,2335x^2 - 4,9541x + 43,382 \quad \text{avec} \quad R^2 = 0,984 \quad (4)$$

$$T = 0,1045x^3 - 2,574x^2 + 21,003x + 28,881 \quad \text{avec} \quad R^2 = 0,976 \quad (5)$$

Les données ainsi recueillies, sur le procédé traditionnel de fabrication du gari, devraient alors contribuer à la conception d'un cuiseur performant et servir de base à son optimisation. En effet, à celles-ci, il faudrait ajouter la connaissance des caractéristiques de la pulpe de manioc : chaleur massique, conductivité thermique, masse volumique, en relation avec la variété de manioc qui permettra d'évaluer la quantité de chaleur consommée, ainsi que les autres calculs thermiques liés à la cuisson du gari. Ce sont là autant de données qui permettraient d'évaluer, de façon précise, les paramètres de conception d'un cuiseur mécanique. Pour du manioc dont la variété n'est pas précisée, une chaleur massique de la pulpe d'une valeur de 1,59 J/kg°C et un coefficient de conductivité K égal à 0,2 ont été rapportés [15]. Pendant la cuisson, la température enregistrée au niveau du foyer est environ de 326,8°C à 466,8°C [27] et celle à la surface de contact de l'ordre de 193°C-200°C [12]. Si la température de la pulpe varie de 27°C à 90°C, on en déduit alors que d'importantes pertes de chaleur ont eu lieu durant la cuisson. Ces pertes devront être réduites autant que possible, pour diminuer la consommation en bois, toute chose qui aura un impact positif sur l'environnement.

3.3 TENEUR EN EAU ET MASSES VOLUMIQUES SPÉCIFIQUES DU GARI

Le Tableau 2 présente les résultats des tests se rapportant à la détermination de la teneur en eau résiduelle de la masse spécifique des variantes de gari de trois (03) différentes localités représentatives de production au Bénin : Savalou, Comé et Ipkinlè. De l'analyse de ces résultats, nous pouvons conclure que les gari des trois localités ont des teneurs en eau inférieures à 12%, valeur au-delà de laquelle une bonne conservation du produit n'est pas garantie. La teneur en eau la plus élevée est celle du gari d'Ipkinlè, 8,10% et la seule qui dépasse légèrement la limite de 7% recommandée par la norme béninoise tandis que la valeur maximale du Codex Alimentarius est de 12% [28] ; [29]. Il n'y a pas de différence significative entre les teneurs en eau des gari de Savalou et de Comé.

Tableau 2. Teneur en eau, masse volumique et coefficient d'uniformité des variantes de gari de trois (03) localités du Bénin

Type de gari	Teneur en eau (%)	Masse volumique (kg/m ³)	Coefficient d'uniformité
Gari de Savalou	6,28 ±0,14 _a	602,02 ±3,5 _{ab}	2,12±0,02 _a
Gari de Comé	6,12 ±0,23 _a	596,08 ±6,79 _a	2,40±0,03 _b
Gari d'Ipkinlè	8,11 ±0,07 _b	609,78 ±4,28 _b	2,21±0,01 _c
Moyenne	6,83 ±1,1	602,62 ±6,87	2,24±0,14

Les valeurs moyennes par une même colonne avec une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5 %

Ces résultats nous permettent de conclure qu'en ce qui concerne la cuisson, les variantes de gari les plus soumis à l'action de la chaleur sont respectivement ceux de Comé et de Savalou. Ces gari sont également tous des gari dits de premier choix, la cuisson étant effectuée entièrement au feu. C'est donc à juste titre que les gari de ces localités sont recherchés dans les sous-régions ouest et centre africaines.

La cuisson induit d'importants changements physico-mécaniques entraînant la diminution de la masse volumique de la pulpe, de 1.512 kg/m³ à environ 602 kg/m³. La référence [18] rapporte une masse volumique plus faible avec 472,74 kg/m³ pour le gari cuit traditionnellement au Nigeria. Dans le même temps, ils rapportent une masse volumique égale à 540 kg/m³ respectivement pour du gari enrichi au taro. La référence [30] rapporte que la masse volumique des gari doit être située dans la marge acceptable : de 500 kg/m³ à 910 kg/m³. La référence [31] en donne une marge de 550 kg/m³ à 820 kg/m³. Selon [32], le bon gari doit avoir une masse volumique spécifique comprise entre 560 kg/m³ et 908 kg/m³. La référence [33] rapporte que le gari, ayant une masse volumique élevée, possède un taux de dispersion des granules dans l'eau également élevé, une caractéristique très importante pour la reconstitution du gari dans l'eau chaude et en produire sa pâte communément appelée piron.

Les coefficients d'uniformité, pour les trois qualités de gari analysées, sont respectivement de 2,12 (Savalou), 2,40 (Comé) et 2,21 (Ipkinlè). L'analyse statistique montre une différence significative des coefficients d'uniformité des gari issus des trois localités. C'est dire que les granules des gari ont des distributions des tailles variées, avec cependant les gari de Savalou et d'Ipkinlè plus uniformes. La référence [18] rapporte un coefficient d'uniformité 2,53 pour le gari produit traditionnellement au Nigeria. C'est dire que les gari produits sur les marchés béninois ont des tailles de granules plus uniformes que celles des gari fabriqués au Nigeria.

3.4 GRANULOMÉTRIE

Le tableau 3 présente la répartition de la granulométrie des différents types de garis collectés sur le marché béninois et analysés.

Tableau 3. Répartition granulométrique des garis des trois localités : Savalou, Comé et Ipkinlè

Type de gari	Granulométrie (en %)					
	d > 2 mm	2mm > d > 1,25mm	1,25mm > d > 1 mm	1mm > d > 0,5mm	0,5mm > d > 0,25mm	0,25mm > d
Savalou	0,12±0,06 _a	8,75±1,00 _a	11,69±0,49 _a	39,74±0,69 _a	35,71±1,23 _a	4,00±0,65 _a
Comé	2,67±0,42 _b	14,93±1,14 _b	12,54±2,44 _a	41,61±2,40 _a	25,98±1,62 _b	2,27±0,51 _a
Ipkinlè	0,17±0,06 _a	8,32±2,08 _a	14,50±1,07 _a	38,50±1,82 _a	32,60±3,51 _a	5,91±1,29 _b
Moyenne	0,98±1,46	10,67±3,70	12,91±1,44	39,95±1,57	31,43±4,97	4,06±1,82

Les valeurs moyennes par une même colonne avec une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%

Les résultats affichés au Tableau 3 montrent que le gari possédant la plus grande quantité de gros grains est celui de Comé et cela, que ce soit les grains de tailles supérieures à 2 mm ou ceux de tailles comprises entre 1 mm et 2 mm. Par suite, c'est également celui possédant la plus petite quantité de grains de petites tailles (tailles <1mm). Le gari de Savalou contient une moindre quantité de gros grains par rapport aux deux autres variantes analysées et une plus grande proportion de grains dont la taille est inférieure à 1 mm. Cependant, une remarque intéressante est notée lorsque l'on analyse la quantité des grains de taille inférieure à 0,25 mm : le gari d'Ipkinlè en contient plus (6% en moyenne) que les garis de Savalou (4%) et de Comé (2%), sans toutefois posséder une plus grande quantité de grains de petites tailles. Cette remarque est la suite logique d'une étape de transformation du manioc en gari à Ipkinlè : la production ayant augmenté, les transformatrices ne réalisent plus manuellement l'émottage-tamassage de la pulpe pressée.

Face à l'indisponibilité d'un émotteur-calibreur, cette opération est réalisée avec une râpeuse, opération qui continue d'être effectuée manuellement à Savalou et Comé. Si ce choix constitue une solution pratique pour le manque d'équipement mécanisé, il a cependant pour inconvénient de mouliner partiellement la pulpe pressée, produisant ainsi de la poudre. Le tableau 3 permet d'analyser la granulométrie des garis selon la norme béninoise. Compte tenu du faible pourcentage de grains de diamètres supérieurs à 2 mm pour les garis analysés (0,12%, 0,17% et 2,67 %), les garis de Savalou, d'Ipkinlè et de Comé peuvent être considérés comme étant à grains moyens, selon la norme béninoise [28]. L'analyse des résultats du Tableau 2 montre que le gari de Comé possède une masse volumique plus faible. Ce résultat corrobore les résultats de l'analyse granulométrique qui indexent cette variante de gari comme celui ayant la plus grande quantité de gros grains. La remarque faite lors de l'analyse granulométrique, quant à la quantité élevée de grains de diamètres inférieurs à 0,25 mm dans le gari d'Ipkinlè par rapport au gari de Savalou, se confirme par ailleurs également ici. En effet, le gari d'Ipkinlè, comportant plus de grains fins que celui de Savalou, possède une masse volumique plus grande que celle de ce dernier.

3.5 ANGLES ET COEFFICIENTS DE FROTTEMENT

Les résultats de la détermination de l'angle de frottement des garis locaux analysés sont résumés dans le Tableau 4. Un gari, à granulométrie fine, aura plus d'adhérence comparé à celui à grosse granulométrie. Les résultats obtenus pour le gari d'Ipkinlè lui donnent, sur la surface de la tôle en acier inoxydable, l'angle de frottement le plus élevé, correspondant bien à la composition de ce gari qui comporte réellement plus de fractions fines comparé aux deux autres variantes de garis analysés. Cependant, sur la surface de la tôle noire, le gari d'Ipkinlè affiche plutôt le plus petit angle de frottement ; ce qui correspond au cas où le produit posséderait une granulométrie faite d'un pourcentage élevé de plus gros grains.

Tableau 4. Angles, coefficients de frottement, angles statiques et dynamiques au repos des garis de Savalou, Comé et Ipkinlè

Type de gari	Tôle noire		Tôle en acier inoxydable		Angle statique au repos (°)	Angle dynamique au repos (°)
	Angle frottement (°)	Coefficient frottement	Angle de frottement (°)	Coefficient frottement		
Gari de Savalou	34,4 _a	0,68 _a	26,86 _a	0,51 _a	30,65 _a	53,65 _a
Gari de Comé	33,14 _b	0,65 _b	26,54 _a	0,50 _a	30,17 _a	58,77 _b
Gari d'Ipkinlè	31,8 _c	0,62 _c	27,75 _b	0,53 _b	29,68 _a	59,28 _c
Moyenne	33,11	0,65	27,05	0,51	30,17	57,23

Les valeurs moyennes par une même colonne avec une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%.

Ces résultats pourraient être expliqués par le fait que, sur la tôle noire, possédant pourtant plus de rugosité, la poudre, dans l'ensemble, offre aux grosses granules, une réduction suffisante du frottement, chose constatée lors des essais où l'éboulement correspondait au cas des grains de grandes tailles essentiellement.

4 CONCLUSION

Le gari est une transformée des racines de manioc, obtenue après épluchage, râpage, pressage, fermentation et cuisson de sa pulpe. Il présente une texture d'une fine granulométrie, d'une couleur généralement blanchâtre avec un léger goût fermenté et aigre, et une croustillance que lui confère l'étape de la cuisson ayant fait l'objet de cette étude. En définitive, ce travail a permis d'apporter une contribution à la concrétisation des perspectives d'une mise au point d'un cuiseur performant de gari. Il a également permis de proposer une corrélation entre les différents paramètres de cuisson du manioc en gari, dans l'optique d'une mécanisation du procédé de cuisson. Les résultats de cette étude augurent des perspectives de recherche intéressantes en vue de la mise au point, de la réalisation et de la vulgarisation du cuiseur performant de gari.

REFERENCES

- [1] FAOSTAT, Agricultural data, crops primary 2016. Disponible sur : <http://faostat3.fao.org> consulté le 8 Décembre 2016.
- [2] PSRSA., Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole au Bénin : Orientations stratégiques et Plan d'action. Version finale, République du Bénin, Cotonou, 110 p, 2010.
- [3] K.M.J-P. Bouatenin., T. Djeni N'De, T. Ouassa , E. Ziniu, H. Menan H. et K.M. Dje, "Characterization and enzyme activities of microorganisms from a traditional starter used for the production of Adjoukrou attieke (Cote d'Ivoire)", *Journal of Food Technology* , 11 (1):4-13.DOI: 10.3923/jftech.2013.4.13. , 2013.
- [4] T.N. Djéni, A.K. Kouamé, J-P. K.M. Bouatenin, F.K. N'Guessan, and M.K. Dje, "Process of attieke production in Côte d'Ivoire: new trends, updates and effects on quality and preference of the food," *International Journal of Advanced Research*, Volume 2, Issue 8, 644-653 ISSN 2320-5407, 2014.
- [5] E. R. Krabi, A. A. Assamoi, A. F. Ehon, B. Diawara, L.S. Niamké and P. Thonart, "Production d'attieke (couscous à base de manioc fermenté) dans la ville d'Abidjan", *European Scientific Journal* May. Vol.11, No.15 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857 7431, 2015
- [6] V. Zoumenou, F. Eboua, D. Gnakri and A. Kamenan, "Etude des caractéristiques physico-chimiques de certains plats traditionnels dérivés du manioc (foutou, placali, kokondé)," *Tropicultura* 99, 16-17, 3 ;120-126, 1998.
- [7] A.E. Oluleye, E. Oyetunji, L. Ogunwolu, and S.A. Oke, "Job Scheduling in a Small Scale Gari Processing Firm in Nigeria," *The Pacific Journal of Science and Technology*, Vol 8. Number 1. (Spring) 137-143. <http://www.akamaiuniversity.us/PJST.htm>, 2007.
- [8] Y.P. Adégbola, R.N. Yegbemey, I.N.S. Djenontin, A. Hibon, K. Hell, G.Thiele and O.D. Koudande, "Les marchés du manioc et du « gari » dans le Sud et le Centre du Bénin : Performances et principales contraintes à leur développement," *CahAgric* 22 :293-302.doi : 10.1684/agr.2013.0628, 2013.
- [9] I.K. Adegun, H.A. Ajimotokan, A.A. Akinlosoye, and M.S. Babarinde, " Development of a cassava processing plant for producing improved stone-free gari," *Journal of Agricultural Technology*, Vol. 7(5): 1193-1198; <http://www.ijat-aatsea.com>; ISSN 1686-9141, 2011.
- [10] FAO, 2014.disponible sur : <http://www.faostat.fao.org/> consulté le 18 mars 2014
- [11] J.O. Ijigbade, A.I. Fatuase, and E.T. Omisope, "Conduct and Profitability of Gari Production for Increased Food Security in Ondo State, Nigeria," *IOSR Journal Of Humanities And Social Science (IOSR-JHSS)* , Volume 19, Issue 7, Ver. VI ; 89-95 e-ISSN: 2279-0837, p-ISSN: 2279-0845. www.iosrjournals.org, 2014.
- [12] L.A. Sanni, O.O. Odukogbe, M.O. Faborode, and R.O. Ibrahim., "Optimization of process parameters of a conductive rotary dryer for gari production," *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Science*, 6(7): 255-261,2015.
- [13] T.M. Samuel and B.O. Adetifa, "Investigating heat stress in gari frying." *AgricEngInt: CIGR Journal* ,Open access at <http://www.cigrjournal.org> Vol. 14, No.3 183-189, 2012.
- [14] B. James, R. Okechukwu, A. Abass, S. Fannah, B. Maziya-Dixon, L. Sanni, A. Osei-Sarfoh, S. Fomba, and S. Lukombo., *Production du gari à parti du manioc : Guide illustré à l'intention des transformateurs de manioc à petite échelle*, 32p, 2013.
- [15] A.I. Gbasouzor and A. I.V. Maduabum, "Improved Mechanized Gari Frying Technology for Sustainable Economic Development in Nigeria," *Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists, IMECS 2012*, Vol II, 1244-1249, 2012.
- [16] A. Alpha, C. Broutin, B. Gret, V. Aniouvi and J. Hounhouigan, "Normes de qualité pour les produits agroalimentaires en Afrique de l'Ouest", AFD, 2009

- [17] S.T. Olatunde, S. J. Olatunde, and B.I.O. Ade-Omowaye, 2013, "Production and evaluation of gari produced from cassava (*Manihot esculenta*) substituted with cocoyam (*Colocasia esculenta*)" *Pakistan Journal of Food Sciences*, Vol 23, Issue 3, 124-132, 2013.
- [18] L.A. Sanni, O.O. Odukogbe, and M.O. Faborode, "Some quality characteristics of Gari as influenced by roasting methods," *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18 (2):388-394. 2016.
- [19] L.A. Sanni, B.S. Ogunsina, and C. Oladigbo, "Development of a rotary sifter for cassava cake in gari production," *Journal of Food Process Engineering*, 31(1): 784-786, 2008.
- [20] A.H. Mirzabe, M. Taheri, A. Pouyesh, and N. B. Bavani, "Moisture content and some engineering properties of celery (*Apium Graveolens L*) seeds," *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18 (2):243-259, 2016.
- [21] M.A. Seyed, I. Razzavi, and E. Milani, "Somme physical, properties of watermelon seeds," *African Journal of Agricultural Research* .Vol 1 (3), 65-69, 2006.
- [22] R. Glele Kakai, E. Sodjinou, and N. Fonton, "Conditions d'application des méthodes statistiques paramétriques : applications sur ordinateur"; Dépôt légal : N° 3278 du 28/09/2006, 3ème trimestre, Bibliothèque Nationale, République du Bénin. ISBN : -10-99919-61-15-1-13-97899919-61-15-6- Bénin, 94 p, 2006.
- [23] Glèlè Kakai R., and Kokode G., "Techniques statistiques univariées et multivariées: applications sur ordinateur", ISBN : 99919-902-6-7 Bibliothèque Nationale, Bénin, 67 p, 2004.
- [24] Ahohouendo F., Etude et optimisation des performances technique d'un cuiseur de gari. Mémoire de DEA. Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC/UAC), 101p, 2014.
- [25] Sanni L.A., Studies on conductive rotary drying for industrial cassava processing, 174- 180, Ph.D thesis. Ile-Ife: Obafemi Awolowo University, Nigeria, 2014.
- [26] M.O. Jimoh, O.J. Olukunle, and S.I. Manuwa., "Modeling of cassava peeling performance using dimensional analysis". *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18 (2):360-367, 2016.
- [27] Dalodé A.L.SL., Etude comparée des procédés de grillade de viande de porc à partir d'un grilloir à double chambres et d'un grilloir a chambre unique : effets sur la qualité physico-chimique mécanique et nutritionnelle du produit fini. Mémoire de Master. Faculté des Sciences Agronomiques (FSA/UAC); 97p, 2017.
- [28] CEBENOR : Centre Béninois de Normalisation, 2005. Gari - Spécifications, Bénin, 6 p.
- [29] CODEX ALIMENTARIUS, 1989 : Norme Codex pour le gari, Codex STAN151-1989 (Rév.1-1995).
- [30] M.N. Adindu and A.B.I. Aprioku, "Cyanogenic content of gari from some processing centers in Rivers State", *Nigeria Foods Journal*, 24: 135-138 , 2006.
- [31] O.P. Kolawole, and L. A.S. Agbetoye, "Engineering Research to Improve Cassava Processing Technology". *International J. Food Engineering*, Volume 3, Issue 6, ISSN (Online) 1556-3758, DOI: 10.2202/1556- 3758.1311, 2007.
- [32] U.J. Ukpabi, and C. Ndimele, "Evaluation of the quality of gari produced in Imo State," *Nigerian Food Journal*, 8: 105-109, 1990.
- [33] E.A. Udensi, and J.C. Okaka, 2000, "Predicting the effect of particle size profile, blanching and drying temperature on the dispersibility of yam flour," *Global J. Pure Appl. Sci.*; 6: 589-592.