

Evaluation de la qualité de quelques produits dérivés de deux écotypes de fonio cultivés (*Digitaria exilis*) au Bénin

V. Y. Ballogou¹², F. S. Sagbo¹², M. M. Soumanou¹², F. Toukourou¹³ et J. D. Hounhouigan¹⁴

Résumé

Le fonio est une céréale traditionnelle, cultivé et transformé en divers produits dérivés, principalement le fonio décortiqué, le fonio blanchi, le fonio précuit, le fonio étuvé et le fonio torréfié, par de petites entreprises dans plusieurs pays de l'Afrique de l'ouest. La présente étude a porté sur l'évaluation des qualités culinaire, sensorielle et hygiénique du fonio décortiqué, du fonio blanchi, du fonio précuit, du fonio étuvé et du fonio torréfié issus de la transformation de deux écotypes ou variétés locales (*Iporhouwan* et *Namba*) de fonio cultivés au Bénin. Les résultats ont montré que le fonio précuit, le fonio étuvé et le fonio torréfié peuvent être cuits directement dans l'eau contrairement au fonio décortiqué et au fonio blanchi dont la cuisson se fait exclusivement à la vapeur pour les deux écotypes étudiés. Les grains de fonio précuit, de fonio étuvé et de fonio torréfié sont plus rapides et plus faciles à cuire directement dans l'eau quelque soit l'écotype. Le fonio précuit cuit plus rapidement que tous les autres produits et les temps de cuisson sont respectivement 11 minutes et 13,5 minutes pour *Iporhouwan* et *Namba*. Ainsi, le test de classement a révélé que le fonio précuit est significativement ($p \leq 0.05$) préféré à tous les autres produits pour les deux écotypes et était plus proche du fonio blanchi du point de vue organoleptique. Cependant, le fonio torréfié présente les meilleures caractéristiques hygiéniques pour les deux écotypes.

Mots clés : Qualité culinaire, qualité sensorielle, qualité microbiologique, écotype, fonio, Bénin.

Evaluation of the quality of obtained products from two cultivated fonio (*Digitaria exilis*) landraces in Benin

Abstract

Fonio is a traditional cereal, cultivated and processed in various products, mainly dehusked fonio, milled fonio, precooked fonio, parboiled fonio and roasted fonio, by small enterprises in many countries of West Africa. The present study was conducted to evaluate the culinary, sensory and hygienic quality of dehusked fonio, milled fonio, precooked fonio, parboiled fonio and roasted fonio produced from two cultivated fonio landraces (*Iporhouwan* and *Namba*) in Benin. The result showed that precooked fonio, parboiled fonio and roasted fonio can be cooked directly in water contrary to dehusked fonio and milled fonio which are cooked only with the steam. Therefore, the grains of precooked fonio, parboiled fonio and roasted fonio were more quick and easy to cook for the two landraces. The lowest cooking times were obtained with precooked fonio and they are respectively 11 minutes and 13.5 minutes for *Iporhouwan* and *Namba*. Precooked fonio was significantly ($p \leq 0.05$) preferred to the other products for the two landraces and it had the same sensory characteristics as milled fonio. However, roasted fonio has the best hygienic characteristic for the two landraces studied.

Key words: Culinary quality, sensory quality, microbiological quality, landrace, fonio, Benin

¹² MSc. Vénérande Y. BALLOGOU, Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Recette Principale, Cotonou 01, Tél. : (+229) 97 18 15 04, E-mail: ballogouvrande@yahoo.fr, République du Bénin.

Fresnelia S. SAGBO, Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Recette Principale, Cotonou 01, Tél. : (+229) 97 17 89 23, E-mail: sfresnelia@gmail.com, République du Bénin.

Prof. Dr Ir. Mohamed M. SOUMANOU, Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Recette Principale, Cotonou 01, Tél. : (+229) 97 87 78 70, E-mail: mohamed.soumanou@epac.uac.bj, msoumanoufr@yahoo.fr, République du Bénin.

¹³ Pr. Dr Fatiou TOUKOUROU Laboratoire de Microbiologie et des Technologies Alimentaires, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, 06 BP 1111 PK3 Cotonou, Tél. : (+229) 97 09 79 79, E-mail: tkrou@yahoo.fr, République du Bénin.

¹⁴ Pr. Dr Ir. Joseph D. HOUNHOUIGAN Laboratoire de Microbiologie et Biotechnologie Alimentaires, Département de Nutrition et Sciences Alimentaires, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, Tél. : (+229) 97 14 14 11, E-mail: hounjos@yahoo.fr, République du Bénin.

INTRODUCTION

Le fonio est une céréale traditionnelle appartenant à la famille des *Poaceae*, à la sous-famille des *Panicoideae* et au genre *Digitaria* Haller (Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2006 ; Adoukonou-Sagbadja, 2010). Son aire culturale s'étend du Sénégal au lac Tchad, mais c'est surtout en Guinée, dans les régions montagneuses du Fouta Djallon, qu'il constitue l'une des bases de l'alimentation des populations (Cruz, 2004). Le fonio est aussi rencontré au Mali, au Burkina Faso, au Bénin, en Côte d'Ivoire, au Nigeria et au Sénégal. En Afrique occidentale, seul le fonio blanc (*Digitaria exilis*) est cultivé et utilisé dans les transformations agroalimentaires (Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2007). Dans *et al.* (2010) ont identifié quatre morphotypes de *D. exilis* dans la zone de production du fonio au Bénin et ont présenté leurs caractéristiques agronomiques et culinaires. Le fonio est consommé traditionnellement sous forme granulée (comme le riz), de bouillie et de pâte et présente des caractéristiques nutritionnelles très appréciées.

Le fonio a une composition biochimique globalement voisine de celle des autres céréales (Cruz, 2004 ; Flidel *et al.*, 2004 ; Cruz *et al.*, 2011). Il est particulièrement reconnu pour sa richesse en méthionine et en cystéine, deux acides aminés essentiels pour l'homme et déficients dans le blé, le riz, le maïs et le sorgho (Jideani, 1990 ; de Lumen *et al.*, 1993 ; Vietmeyer *et al.*, 1996 ; Flidel *et al.*, 2004). Les protéines plus riches en méthionine présenteraient, une meilleure efficacité protéique, un rôle bénéfique sur le taux de lipides, de cholestérols et de triglycérides sanguins et participeraient à la détoxification métabolique des tannins contenus dans le bol alimentaire (Flidel *et al.*, 2004). En pharmacopée traditionnelle, le fonio est recommandé aux diabétiques, aux personnes souffrant de surpoids et aux femmes enceintes (Jideani, 1999; Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2006). Les grains de fonio blanchi possèdent toutes les caractéristiques pour être un aliment intéressant dans la prise en charge diététique des personnes atteintes de diabète sucré (Besançon, 2000). Cependant, la petite taille des grains de fonio rend les opérations de transformation longues et difficiles.

Les produits dérivés de la transformation des grains de fonio sont principalement le fonio décortiqué, le fonio blanchi, le fonio précuit, le fonio étuvé et le fonio torréfié. Dans certains pays comme la Guinée, le Mali et le Sénégal, le fonio est transformé par de petites entreprises grâce à la mécanisation des opérations post-récoltes et les différents produits dérivés sont vendus non seulement dans les marchés urbains locaux, mais également en Europe et aux Etats-Unis (Cruz, 2004 ; Cruz *et al.*, 2011). Le principal facteur dans la performance d'une entreprise alimentaire est la qualité de ses produits (Molnar, 2003). La qualité des aliments peut être définie comme étant la recherche de la satisfaction du désir du consommateur (Nout *et al.*, 2003). L'évaluation de cette qualité implique plusieurs aspects notamment la qualité sensorielle, la valeur nutritionnelle, la qualité technologique et hygiénique (Geissler, 2003 ; Molnar, 2003 ; Nout *et al.*, 2003). La valeur nutritionnelle d'un aliment est un aspect de qualité important pour la sécurité alimentaire des consommateurs mais ne constitue pas le seul critère déterminant le choix d'un produit alimentaire (Kayodé *et al.*, 2005). Les documents scientifiques sur la qualité des produits dérivés du fonio sont presque inexistantes dans la littérature.

La présente étude a été réalisée dans le but d'évaluer les qualités culinaire, sensorielle et hygiénique du fonio décortiqué, du fonio blanchi, du fonio précuit, du fonio étuvé et du fonio torréfié produits à partir de deux écotypes de fonio cultivés au Bénin.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Les échantillons de fonio décortiqué, de fonio blanchi, de fonio étuvé, de fonio précuit et de fonio torréfié ont été produits à partir de deux écotypes de fonio (*Iporhouwan* et *Namba*) collectés dans le département de l'Atacora précisément dans la commune de Boukoumbé au Nord-Ouest du Bénin. Ces deux écotypes ont été choisis parce qu'ils sont plus appréciés par les transformatrices. Tous les produits obtenus ont été conditionnés dans des emballages plastiques et conservés à la température ambiante.

Méthodes de transformation des grains

Production du fonio précuit

La méthode utilisée est celle décrite par Rivier et Cruz (2007). Les grains de fonio (2 kg) ont été préalablement débarrassés de leurs impuretés, décortiqués et blanchis à l'aide de la décortiqueuse GMBF (type Engelberg, Bamako, Mali). Après le blanchiment, les grains ont été lavés pour séparer les

enveloppes et le sable, avant d'être cuits à la vapeur pendant 30 à 48 minutes sur un foyer traditionnel au charbon. Les grains précuits sont séchés au soleil à la température ambiante pendant 8 heures.

Production du fonio torréfié

La torréfaction a été le seul traitement thermique appliqué aux grains par l'unique transformatrice de fonio actuellement recensée au Bénin. Les grains de fonio (2 kg) ont été séparés des impuretés avant le décortiquage et le blanchiment à l'aide de la décortiqueuse GMBF (type Engelberg, Bamako, Mali). Ensuite, les grains ont été lavés et séchés au soleil pendant 8 h. Les grains séchés ont été torréfiés dans une casserole à 300 °C pendant 30 à 35 minutes sur un foyer traditionnel au charbon, puis refroidis à la température ambiante (25 °C).

Production du fonio étuvé

Les grains de fonio paddy (2 kg) nettoyés ont été trempés dans l'eau à 65 °C pendant 28 à 32 minutes à la température ambiante (Cruz *et al.*, 2009). Après trempage, les grains ont été égouttés et cuits à la vapeur à 300 °C pendant 22 à 33 min sur un foyer traditionnel au charbon. Les grains ont été ensuite séchés au soleil pendant 2 jours à la température ambiante, puis décortiqués avec la décortiqueuse GMBF (type Engelberg, Bamako, Mali). L'opération de décortiquage a été suivie d'un lavage des grains et d'un séchage.

Méthodes d'analyses

Les analyses ont été réalisées sur les échantillons de fonio décortiqué, de fonio blanchi, de fonio précuit, de fonio étuvé et de fonio torréfié obtenus à partir des écotypes *Iporhouwan* et *Namba*. Les paramètres culinaires, sensoriels et microbiologiques ont été évalués sur les différents produits.

Evaluation des paramètres culinaires

Le temps de cuisson, la quantité d'eau utilisée pour la cuisson et la masse de fonio cuit ont été déterminés sur le fonio décortiqué, le fonio blanchi, le fonio précuit, le fonio étuvé et le fonio torréfié issus de la transformation des deux écotypes. La cuisson à vapeur et la cuisson directe dans l'eau ont été réalisées sur les différents échantillons.

La durée de cuisson directe dans l'eau a été déterminée en faisant bouillir sur une plaque chauffante (Ikamag, RH, Janke & Kunkel) 100 ml d'eau dans un bol en aluminium. Ensuite, 50 g d'échantillon ont été versés dans l'eau bouillante et le temps (t_1) a été noté. Après 10 min, les grains de fonio ont été prélevés à l'aide d'une spatule pour apprécier le degré de cuisson. L'opération a été répétée toutes les 2 minutes jusqu'à la cuisson des grains. Un volume (X) d'eau était de temps en temps ajouté quand c'était nécessaire. La différence de temps notée t (minutes) = $t_2 - t_1$ était la durée de cuisson de l'échantillon. La quantité d'eau (q_e) utilisée pour la cuisson était : q_e (ml) = 100 + X.

La cuisson à vapeur des grains a été réalisée dans un couscoussier. La durée de cuisson à la vapeur a été la différence entre le temps (t_1) à partir du début d'ébullition (moment où les grains ont été versés dans le couscoussier) et le temps (t_2) de cuisson des grains. La formule utilisée a été la même que précédemment. Le volume d'eau utilisé a été calculé en faisant la différence entre la quantité d'eau initiale et la quantité d'eau restante après cuisson du fonio. Les grains de fonio cuits ont été pesés à l'aide d'une balance.

Evaluation de la qualité microbiologique des produits

Les analyses microbiologiques ont démarré par la préparation de solutions mères à partir de 10 g de chaque échantillon de fonio, préalablement broyé de manière aseptique, auquel on ajoute 90 ml d'eau peptonnée tamponnée. Après une homogénéisation, la suspension mère doit servir à la préparation des dilutions décimales selon la norme ISO 6887/1983 DG. Les germes recherchés pour apprécier la qualité microbiologique des produits étaient la flore totale, les levures et moisissures, les coliformes totaux et fécaux, les staphylocoques et les spores de *clostridium* sulfito-réducteur.

La flore totale a été dénombrée sur la gélose Plate Count Agar (PCA) après une incubation à 30 °C pendant 72 h. Les coliformes totaux et fécaux ont été dénombrés sur la gélose Violet Red Bile Lactose après une incubation pendant 24 h à 30 °C pour les coliformes totaux et à 44 °C pour les coliformes fécaux. Les levures et moisissures ont été dénombrées sur la gélose Yeast Extract Glucose Agar à laquelle on ajoute de l'oxytétracycline à 0,01 %, après 5 jours d'incubation à 25 °C. Le dénombrement des staphylocoques a été effectué sur le milieu Baird Parker après une incubation à 37 °C pendant 48 h. Les spores de *clostridium* sulfito-réducteur ont été recherchées sur la gélose Sc Agar à 37 °C pendant 22 h.

Analyse sensorielle

Les différents produits obtenus ont été soumis à l'épreuve de classement qui consiste à ranger, sur une caractéristique bien précise, des échantillons présentés simultanément aux sujets par ordre d'intensité croissante ou décroissante (Sauvageot, 2009). Après cuisson, les échantillons de fonio décortiqué, de fonio blanchi, de fonio précuit, de fonio étuvé et de fonio torréfié ont été classés selon l'acceptabilité décroissante par 30 dégustateurs avérés. Les dégustateurs devaient aussi préciser les critères utilisés pour le classement des produits. Les informations ont été recueillies à l'aide d'une fiche de dégustation.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques des résultats ont été effectuées avec le logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 16.0. Le test de Student-Newman-Keuls a été utilisé pour la comparaison des moyennes. Les résultats d'analyses sensorielles ont été traités à l'aide du test non paramétrique de Friedman (Danzart, 2009). Il s'agit d'un test de chi-deux (χ^2) d'écart entre la somme des rangs obtenus pour chaque produit et une somme moyenne des rangs.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques culinaires du fonio décortiqué, du fonio blanchi, du fonio précuit, du fonio étuvé et du fonio torréfié

Letableau 1 présentait les caractéristiques culinaires du fonio décortiqué, du fonio blanchi, du fonio précuit, du fonio étuvé et du fonio torréfié obtenus à partir des écotypes *Iporhouwan* et *Namba* après cuisson des grains directement dans l'eau et à la vapeur. Les paramètres culinaires évalués sur les grains de fonio étaient la durée de cuisson, la quantité d'eau utilisée pour la cuisson et la quantité de fonio cuit obtenue.

Tableau 1. Caractéristiques culinaires des produits obtenus à partir des deux écotypes (*Iporhouwan* et *Namba*) de fonio

Ecotype	Produits	Cuisson directe dans l'eau			Cuisson à la vapeur		
		Quantité d'eau (ml)	Durée (min)	Quantité de fonio cuit (g)	Quantité d'eau(ml)	Durée (min)	Quantité de fonio cuit (g)
<i>Iporhouwan</i> (I)	(I) décortiqué	-	-	-	220d	52b	106,67b
	(I) blanchi	-	-	-	200b	42a	101,89a
	(I) précuit	130a	11a	115,75b	212c	46a	99,85a
	(I) torréfié	130a	16ab	95,98a	200b	43a	99,83a
	(I) étuvé	150b	21b	157,93c	162a	43a	125,38c
<i>Namba</i> (N)	(N) décortiqué	-	-	-	220c	53b	124,60d
	(N) blanchi	-	-	-	200b	45a	115,91c
	(N) précuit	135a	13,5a	108,01a	220c	58c	104,46a
	(N) torréfié	150b	20b	139,33b	200b	47b	109,79b
	(N) étuvé	160c	31c	165,30c	172,25a	52b	139,08e

Les chiffres portant la même lettre dans la même colonne pour le même écototype ne sont pas significativement différents ($p \leq 0,05$)

La durée de cuisson a été une importante caractéristique culinaire dans la mesure où les contraintes liées en général à la vie en milieu urbain et en particulier aux tâches administratives amènent les femmes à préférer de plus en plus les produits alimentaires prêts à l'emploi. Les résultats du tableau 1 ont montré que les durées de cuisson des grains à la vapeur sont supérieures aux durées de cuisson directe dans l'eau pour le fonio précuit, le fonio étuvé et le fonio torréfié obtenus à partir des deux écotypes. Les durées de cuisson à la vapeur étaient de 46 minutes, 43 minutes, 43 minutes (*Iporhouwan*) et 58 minutes, 47 minutes, 52 minutes (*Namba*) respectivement pour le fonio précuit, le fonio torréfié et le fonio étuvé. La cuisson directe du fonio précuit, du fonio torréfié et du

fonio étuvé a duré respectivement 11 minutes, 16 minutes et 21 minutes pour l'écotype *Iporhouwan* et 13,5 minutes, 20 minutes et 31 minutes pour l'écotype *Namba*.

Les grains de fonio décortiqués et de fonio blanchi ont été réduits en pâte après la cuisson directe dans l'eau contrairement à la cuisson à vapeur. Les différences observées dans le comportement des grains de fonio décortiqué et de fonio blanchi au cours de ces différents modes de cuisson peuvent être liées à la taille minuscule des grains et des propriétés fonctionnelles de l'amidon du fonio. Les amidons provenant de diverses sources végétales étaient différents dans leurs propriétés globales compte tenu des variations dans la distribution de la taille et de la forme des granules, des teneurs en amylose, amylopectine et lipide, de la distribution de la longueur des chaînes dans l'amylopectine, de la phosphorylation et de la cristallinité (Chibbar *et al.*, 2004).

La cuisson directe dans l'eau, des grains de fonio précuit, de fonio torréfié et de fonio étuvé, a été rendue possible après un prétraitement thermique (cuisson à la vapeur et torréfaction) des grains qui a modifié les propriétés fonctionnelles de l'amidon. La durée de cuisson variait aussi en fonction du prétraitement appliqué et de la variété pour les deux modes de cuisson utilisés. La différence était significative ($p \leq 0,05$) entre les durées de cuisson des grains de fonio précuit, de fonio étuvé et de fonio torréfié cuits directement dans l'eau pour les deux écotypes de fonio. La durée minimale a été obtenue avec le fonio précuit (11 minutes et 13,5 minutes respectivement pour *Iporhouwan* et *Namba*) et la durée maximale avec le fonio étuvé (21 minutes et 31 minutes respectivement pour *Iporhouwan* et *Namba*). La longue durée de cuisson des grains étuvés comparativement aux grains précuits a été aussi observée pour le riz (Corke, 2004). Des durées de cuisson de 5 à 10 minutes ont été rapportées pour le riz précuit (Luh, 2001). Cependant, le riz étuvé est très utilisé dans l'industrie agroalimentaire, notamment pour la production d'aliments en conserve, en raison de sa préparation facile, sa longue durée de conservation et sa stabilité à la surcuisson (Juliano et Hicks, 1996; Vegas, 2008). Cheyns et Bricas (2003) ont rapporté que la rapidité et la facilité de préparation des produits sont souvent invoquées dans les projets d'industrialisation des procédés (semoules précuites, etc.) ou de promotion des céréales locales dont la préparation nécessite du temps relativement important ou long (opérations de décorticage, lavage, trempage, mouture, roulage, tamisages, etc.).

La cuisson à vapeur des grains de fonio précuit, de fonio étuvé et de fonio torréfié consommé significativement plus d'eau que la cuisson directement dans l'eau pour les deux écotypes étudiés. Cette différence dans les quantités d'eau utilisées peut s'expliquer par une perte importante d'eau au cours de la cuisson à vapeur contrairement à la cuisson directe dans l'eau où les grains de fonio absorbent plus rapidement l'eau. Les résultats du tableau 1 ont aussi montré que la variation n'est pas significative ($p > 0,05$) entre les écotypes pour chaque mode de cuisson avec 212 ml et 220 ml d'eau pour cuire le fonio précuit à la vapeur respectivement pour les écotypes *Iporhouwan* et *Namba*. Par ailleurs, les masses de fonio obtenues après cuisson directe des grains dans l'eau étaient relativement plus importantes que celles obtenues après cuisson des grains à la vapeur (tableau 1). La quantité de fonio obtenue après cuisson variait aussi significativement entre les différents produits (fonio décortiqué, fonio blanchi, fonio précuit, fonio torréfié et fonio étuvé) quand on considérait chaque mode de cuisson. La cuisson directe des grains de fonio dans l'eau présentait plus d'avantage pour le consommateur que la cuisson à la vapeur parce qu'elle est plus rapide et plus facile. Ainsi, les prétraitements appliqués aux grains au cours des processus de production du fonio précuit, du fonio étuvé et du fonio torréfié ont permis d'améliorer les caractéristiques culinaires des grains de fonio. La question est de savoir si les caractéristiques organoleptiques de ces différents produits peuvent être du goût des consommateurs.

Caractéristiques sensorielles du fonio décortiqué, du fonio blanchi, du fonio précuit, du fonio étuvé et du fonio torréfié

Les caractéristiques sensorielles d'un aliment sont mesurées pour déterminer la préférence des consommateurs en vue d'orienter dans la fabrication d'un produit acceptable à économie de production maximale (Gupta *et al.*, 2003). L'épreuve de classement était une méthode d'estimation d'intensité d'un critère sensoriel, utilisant une échelle ordinale (MacLeod et Strigler, 2009). Le fonio décortiqué, le fonio blanchi, le fonio précuit, le fonio étuvé et le fonio torréfié ont été classés dans l'ordre décroissant, c'est-à-dire de l'échantillon le plus préféré à l'échantillon le moins préféré, par des dégustateurs habitués à la consommation du fonio.

Les valeurs (F) de Friedman calculées étaient de 18,97 et 25,34 respectivement pour les écotypes *Iporhouwan* et *Namba*. Dans la table du chi-deux (χ^2), la valeur théorique (ℓ) lue à quatre degrés de liberté pour un risque de 5 % était égale à 9,49. Les résultats ont montré que $F > \ell$ pour les deux écotypes, donc les différents produits (fonio décortiqué, fonio blanchi, fonio précuit, fonio étuvé et

fonio torréfié) issus de *Iporhouwan* et *Namba* étaient significativement différents au seuil de 5 %. Le classement statistique des différents produits a été obtenu en calculant la plus petite différence significative (δ) qui est égale à 31,30 pour les deux écotypes. Lorsque la différence des sommes des rangs de deux produits est supérieure à la valeur de δ , les produits sont perçus comme significativement différents, mais ils étaient identiques dans le cas contraire. Le classement suivant a été obtenu par ordre de préférence décroissant pour les deux écotypes (tableau 2) : fonio précuit ; fonio blanchi ; fonio torréfié ; fonio étuvé ; fonio décortiqué. Ainsi, *Iporhouwan* et *Namba* n'étaient pas différents au plan organoleptique. Le fonio précuit est significativement préféré à tous les autres produits. Cruz *et al.* (2011) ont rapporté que le fonio précuit était le produit dérivé du fonio le plus commercialisé en Afrique de l'Ouest et à l'exportation. Les résultats de la présente étude ont aussi montré que le fonio précuit n'était pas significativement ($p > 0,05$) différent du fonio blanchi et pareillement pour le fonio étuvé et le fonio torréfié. Le fonio décortiqué était le moins préféré et significativement ($p < 0,05$) différent de tous les autres produits.

Tableau 2. Classement sensoriel du fonio décortiqué, du fonio blanchi, du fonio précuit, du fonio torréfié et du fonio étuvé

Ecotypes de fonio	Classement				
	Fonio précuit	Fonio blanchi	Fonio torréfié	Fonio étuvé	Fonio décortiqué
<i>Iporhouwan</i>	54	67	76	77	101
Somme des rangs	54	67	76	77	101
<i>Namba</i>	50	65	78*	78*	104
Somme des rangs	50	65	78*	78*	104

Les principaux critères utilisés par les dégustateurs pour le classement des produits étaient par degré d'importance les suivants (tableau 3) : la couleur citée par 100 % des dégustateurs pour les deux écotypes ; la présence de sable ou non citée par 96 % et 92 % respectivement pour *Iporhouwan* et *Namba* ; le goût cité par 88 % et 92 % respectivement pour *Iporhouwan* et *Namba*. La consistance ou le goût moelleux, la présence de fonio paddy ou non et l'odeur ont été aussi citées. La plupart de ces critères ont été rapportés après le classement d'échantillons de fonio blanchi et de fonio étuvé issus de différentes variétés avec également la couleur, le goût et la consistance en tête de liste (Dury *et al.*, 2007). La couleur, surtout la blancheur des grains liée principalement au degré de blanchiment, était un critère de choix très important pour le consommateur de fonio (Flidel *et al.*, 2004 ; Dury *et al.*, 2007 ; Cruz *et al.*, 2011). Ainsi, le fonio précuit est préféré par les consommateurs et très vendu d'abord à cause de sa couleur très proche du fonio blanchi et ensuite pour ses caractéristiques culinaires, notamment sa cuisson facile.

Tableau 3. Critères de classement des différents produits

Critères	<i>Namba</i>		<i>Iporhouwan</i>	
	Nombre de réponse	Proportion (%)	Nombre de réponse	Proportion (%)
Couleur	25	100	26	100
Présence de sable ou non	23	92	25	96
Goût	23	92	23	88
Consistance	18	72	18	69
Présence de fonio paddy ou non (homogénéité des grains)	12	48	14	56
Odeur	06	24	04	16

Qualité microbiologique du fonio décortiqué, du fonio blanchi, du fonio précuit, du fonio étuvé et du fonio torréfié

Les microorganismes peuvent être introduits directement dans les produits alimentaires par les matières premières infectées, le personnel ou l'environnement au cours du processus de transformation (Ramesh et Chakkaravarthi, 2003). Le contenu microbiologique des aliments pouvait en affecter la qualité, la durée de conservation, la sécurité et l'acceptabilité (Refai, 1981). La qualité microbiologique des différents produits obtenus a été évaluée (tableau 4) à travers le dénombrement de la flore totale, des levures et moisissures, des coliformes totaux et fécaux, des staphylocoques et des spores de *clostridium* sulfite-réducteur. Les résultats du tableau 4 ont montré une absence totale de levures, de moisissures, de staphylocoques et de spores de *clostridium* sulfite-réducteur dans tous

les produits, c'est-à-dire le fonio décortiqué, le fonio blanchi, le fonio précuit, le fonio torréfié et le fonio étuvé, obtenus à partir des écotypes *Iporhouwan* et *Namba*.

Tableau 4. Qualité hygiénique des produits obtenus à partir des deux écotypes (*Iporhouwan* et *Namba*) de fonio

Ecotype	Produits	Microorganismes dénombrés (log UFC/g)						Spores de <i>Clostridium</i> sulfito-réducteur
		Flore totale	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Staphylocoques	Levures	Moisissures	
<i>Iporhouwan</i> (I)	(I) décortiqué	5e	2,84c	1,18c	Absence	Absence	Absence	Absence
	(I) blanchi	4,86d	2,04b	1,08b	Absence	Absence	Absence	Absence
	(I) précuit	3b	2a	1a	Absence	Absence	Absence	Absence
	(I) torréfié	< 1,48a	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
	(I) étuvé	3,83c	2,84c	1,32d	Absence	Absence	Absence	Absence
<i>Namba</i> (N)	(N) décortiqué	5,08	2,86c	1,3c	Absence	Absence	Absence	Absence
	(N) blanchi	4,89d	2,15b	1,2b	Absence	Absence	Absence	Absence
	(N) précuit	3,04b	2,11a	1a	Absence	Absence	Absence	Absence
	(N) torréfié	< 1,48a	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
	(N) étuvé	3,85c	2,86c	1,36d	Absence	Absence	Absence	Absence
Critères microbiologiques AFNOR (2000)		5,69	3	< 1	< 1	< 2,69	< 2,69	< 1

Les chiffres portant la même lettre dans la même colonne pour le même écototype ne sont pas significativement différents ($p \leq 0,05$)

L'absence de ces microorganismes dans les produits pouvait être, d'une part due aux différentes opérations de nettoyage et de lavage aussi bien de la matière première (fonio paddy) que des produits intermédiaires (fonio décortiqué et fonio blanchi), aux traitements mécaniques (décorticage et blanchiment), aux traitements thermiques appliqués aux grains au cours du processus de production du fonio précuit, du fonio torréfié et du fonio étuvé et à la réduction de la teneur en eau des grains par séchage. D'autre part, l'enveloppe qui entourait le fonio paddy constituait une barrière qui protège les grains des microorganismes malgré les mauvaises conditions d'hygiène lors du battage qui permettait de séparer les grains de fonio paddy des tiges. Cependant, en plus de la flore totale, les coliformes totaux et fécaux ont été aussitrouvés dans la plupart des produits sauf dans le fonio torréfié qui était presque exempt de tous les microorganismes recherchés (flore totale < 1,48 log UFC/g pour les deux écotypes). En effet, après torréfaction, les grains ont été aussitôt refroidis et conditionnés dans des emballages. De plus, la torréfaction était une méthode de traitement à la chaleur sèche qui réduisait considérablement la teneur en eau des aliments, donc le risque de prolifération microbienne.

Nout (1993) a rapporté que la torréfaction améliorait la qualité hygiénique des aliments par la réduction des activités microbiennes. Les quantités de microorganismes dénombrés dans le fonio décortiqué, le fonio blanchi, le fonio précuit et le fonio étuvé étaient significativement différentes ($p < 5\%$) pour les deux écotypes *Iporhouwan* et *Namba* (tableau 4). Les valeurs maximales et minimales de la flore totale, des coliformes totaux et fécaux ont été retrouvées respectivement dans le fonio décortiqué et le fonio précuit pour les deux écotypes. Les nombres de flore totale, de coliformes totaux et fécaux étaient respectivement 5 ; 2,84 et 1,48 log UFC/g (fonio décortiqué) et 3 ; 2 et 1 log UFC/g (fonio précuit) pour *Iporhouwan* et représentaient respectivement 5,08 ; 2,86 et 1,3 log UFC/g (fonio décortiqué) 3,04 ; 2,11 et 1 log UFC/g (fonio précuit) pour l'écotype *Namba*. La présence de coliformes totaux dans les aliments indiquait un traitement thermique inefficace ou une contamination postérieure au traitement due à un mauvais nettoyage ou à une mauvaise désinfection du matériel et des locaux. Les grains de fonio décortiqué et blanchi qui n'ont subi aucun traitement thermique avaient des charges microbiennes supérieures aux grains traités par la chaleur. Le fonio précuit et étuvé ont été soumis à un traitement hydrothermique avant d'être séchés au soleil. La charge microbienne du fonio étuvé était supérieure à celle du fonio précuit, ce qui est probablement dû au processus d'étuvage au cours duquel la cuisson est appliquée au fonio paddy qui était d'abord séché avant décorticage et blanchiment puis lavé et séché à nouveau au soleil. Le séchage solaire direct des céréales était la méthode de conservation couramment utilisée dans les pays africains, mais comportait des insuffisances, puisque la qualité des produits séchés est généralement affectée par les microorganismes entraînés par le vent, la poussière, les insectes, etc.

Les quantités de flore totale, de coliformes totaux et fécaux relativement élevées dans le fonio décortiqué, blanchi, précuit et étuvé seraient dues à une recontamination des produits au cours du séchage, malgré l'utilisation de toile mousseline pour couvrir les grains pendant l'exposition au soleil. Le séchage constituait donc un point critique dans le processus technologique des différents produits dérivés du fonio et devait être amélioré pour une meilleure qualité des aliments. Cependant, bien qu'il

restât encore des efforts à consentir, tous les produits étudiés (fonio décortiqué, fonio blanchi, fonio précuit, fonio torréfié et fonio étuvé) étaient de qualité hygiénique satisfaisante conformément aux critères microbiologiques exigés par AFNOR (2000).

CONCLUSION

Les qualités culinaire, sensorielle et microbiologique du fonio décortiqué, du fonio blanchi, du fonio précuit, du fonio étuvé et du fonio torréfié ont été évaluées dans le cadre de notre étude. Les résultats ont montré que le fonio décortiqué et le fonio blanchi ne peuvent être cuits qu'à la vapeur tandis que le fonio précuit, le fonio étuvé et le fonio torréfié sont aussi bien cuits à la vapeur que directement dans l'eau. Le fonio précuit, produit le plus commercialisé par les unités de transformation, présente les meilleures caractéristiques culinaires et sensorielles. Les analyses microbiologiques ont, d'autre part, révélé que tous les produits étudiés, fonio décortiqué, fonio blanchi, fonio précuit, fonio torréfié et fonio étuvé, sont de qualité hygiénique satisfaisante conformément aux critères microbiologiques définis par AFNOR en 2000. La performance et la survie des unités de transformation de fonio dépendent essentiellement de la qualité des produits mis sur le marché surtout dans un climat compétitif où les produits importés tendent à ravir la vedette aux produits locaux.

REMERCIEMENTS

Nous remercions très sincèrement le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRS) du Bénin pour sa contribution financière dans la réalisation de cette étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adoukonou-Sagbadja, H., A. Dansi, R. Vodouhe, K. Akpagana 2006: Indigenous knowledge and traditional conservation of Fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf, *Digitaria iburua* Stapf) in Togo. *Biodiversity and Conservation* 15:2379–2395.
- Adoukonou-Sagbadja, H., V. Schubert, A. Dansi, G. Jovtchev, A. Meister, K. Pistrick, K. Akpagana, W. Friedt 2007: Flow cytometric analysis reveals different nuclear DNA contents in cultivated fonio (*Digitaria* spp.) and some wild relatives. *Plant Syst. Evol.* 267:163-176.
- Adoukonou-Sagbadja, H., 2010: Genetic Characterization of Traditional Fonio millets (*Digitaria exilis*, *D. iburua* STAPF) Landraces from West-Africa: Implications for Conservation and Breeding. Thesis. Institute of Crop Science and Plant Breeding I. Justus-Liebig University Giessen, Germany. pp. 119.
- Besançon, S., 2000: Etude de l'influence de la consommation de fonio dans le traitement du diabète sucré au mali. Mémoire D.E.S.S. Université de Montpellier II (France). 95 p.
- Cheyns, E., N. Bricas 2003: La construction de la qualité des produits alimentaires : le cas du soubala, des céréales et des viandes sur le marché de Ouagadougou au Burkina Faso. *Alimentation, savoir-faire et innovations en agroalimentaire en Afrique de l'Ouest*. Cirad, Montpellier, France. 83 p.
- Chibbar, R.N., S. Ganeshan, M. Baga, R.L. Khandelwal 2004: Carbohydrate metabolism. In *Encyclopedia of Grain Science*, eds. Colin Wrigley, Harold Corke and Chuck Walker. Elsevier, Oxford, UK. pp. 176-187.
- Corke, H., 2004: Grain, morphology of internal structure. In *Encyclopedia of Grain Science*, eds. Colin Wrigley, Harold Corke and Chuck Walker. Elsevier, Oxford, UK. pp. 451-459.
- Cruz, J.-F., 2004: Fonio: a small grain with potential. *Leisa (magazine on low external input and sustainable agriculture. Valuing crop diversity)*. 20 (1), 16-17.
- Cruz, J.-F., M. Rivier, G. Friedel 2009: Etude de l'étuvage du fonio et essais expérimentaux. In : *Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest* (J.-F. Cruz, ed.) [CD-Rom], Cirad, Montpellier. 32 p.
- Cruz, J.-F., F. Beavogui, D. Drame, 2011: Le fonio, une céréale africaine. Collection : *Agricultures tropicales en poche*. Editions. Quae / Cta / Presses agronomiques de Gembloux. Versailles, France. 175 p.
- Dansi, A., H., Adoukonou-Sagbadja, R. Vodouhe, 2010: Diversity, conservation and related wild species of Fonio millet (*Digitaria* spp.) in the northwest of Benin. *Genet Resour. Crop. Evol.* 57:827–839.
- Danzart, M., 2009: Comparaison des produits. In : *Evaluation sensorielle : Manuel méthodologique*. Tech & Doc. Lavoisier, Italy. 524 p.
- de Lumen, B.O., S. Thompson, J.W. Odegard 1993: Sulphur amino acid-rich proteins in acha (*Digitaria exilis*), a promising underutilized African cereal. *J. Agric. Food Chem.* 41: 1045–1047.
- Dury, S., V. Meuriot, G. Fliedel, S. Blancher, F. Bore Guindo, D. Drame, N. Bricas, L. Diakite, J.-F. Cruz 2007: The retail market prices of fonio reveal the demand for quality characteristics in Bamako, Mali. In : *Pro-poor development in low income countries: Food, agriculture, trade, and environment. 106th seminar of the European Association of Agricultural Economists (EAAE)*, October 2007 – Montpellier, France. 15 p.
- Fliedel, G., M. Ouattara, J. Grabulos, D. Dramé, J.-F. Cruz 2004 : Effet du blanchiment mécanique sur la qualité technologique, culinaire et nutritionnelle du fonio, céréale d'Afrique de l'Ouest. In : *Brouwer Inge D. (ed.), Traoré Alfred S.*

- (ed.), Trèche Serge (ed.), *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest : Le rôle des technologues alimentaires et des nutritionnistes : actes du 2e Atelier international, Ouagadougou, 23-28 nov. 2003.* Ouagadougou : Presses universitaires de Ouagadougou, Burkina Faso. p. 599-614.
- Geissler, C., 2003: Politics and nutrition. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, eds.B. Caballero, L. Trugo and P. Finglas.Academic Press, London, UK. pp. 4596-4601.
- Gupta, K., V. Jain, S. Jain, K. Dhawan, G. Talwar 2003: Analysis of food. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, eds.B. Caballero, L. Trugo and P. Finglas.Academic Press, London, UK. pp. 213-222.
- Jideani, I. A., 1990: Acha, *Digitariaexilis*, the neglected cereal. *Agric Int.* 42:132-134.
- Juliano B.O., Hicks, P.A., 1996: Rice functional properties and rice food products. *Food Rev Int* 12:71-103.
- Kayodé, A.P.P., A. Adégbidi, A.R. Linnemann, M.J.R. Nout, J.D. Hounhouigan 2005: Quality of farmers' varieties of sorghum and derived foods as perceived by consumers in Benin. *Ecology of Food and Nutrition*, 44, 271-294.
- Luh, B.S., 2001: Rice production. In *Cereals processing Technology*, ed. Gavin Owens. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. pp. 86-115.
- MacLeod, P., F. Strigler 2009: Métrologie sensorielle. In : *Evaluation sensorielle : Manuel méthodologique.* Tech & Doc. Lavoisier, Italy. 524 p.
- Molnar, P.J., 2003: Quality assurance and quality control. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, eds.B. Caballero, L. Trugo and P. Finglas.Academic Press, London, UK. pp. 4874-4879.
- Nout, M.J.R., 1993: Processed weaning foods for tropical climates. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*.43, 213-221.
- Nout, M.J.R., J.D. Hounhouigan, T. van Boekel 2003: Les aliments, transformation conservation et qualité. Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands. pp. 279.
- Ramesh, M.N., A. Chakkaravarthi 2003: Drying, Hygiene. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, eds.B. Caballero, L. Trugo and P. Finglas.Academic Press, London, UK. pp. 1955-1961.
- Refai, M.K., 1981: Manuels sur le contrôle de qualité des produits alimentaires. Analyse microbiologique. *Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.* Rome, Italy.
- Rivier M., J.-F. Cruz 2007: Etude de la précuisson du fonio au sein de petites entreprises de transformation à Bamako (Mali) et à Ouagadougou (Burkina Faso). In : *Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest* (J.-F. Cruz, ed.) [CD-Rom], Cirad, Montpellier. 38 p.
- Sauvageot, F., 2009: Epreuve de classement. In : *Evaluation sensorielle : Manuel méthodologique.* Tech & Doc. Lavoisier, Italy. 524 p.
- Vegas P., 2008: U.S. production and marketing of rice. Rice 101. Disponible sur <http://www.sagevfoods.com/MainPages/Rice101/production.htm>. Consulté le 28 février 2012.
- Vietmeyer N. D., N.E. Borlaugh, J. Axtell, G.W. Burton, J.R. Harlan, K.O. Rachie 1996: Fonio (Acha). In: *BOSTID Publication. Lostcrop in Africa*, pp. 59-75.