



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Qualité des grains et aptitude à la transformation : cas des variétés de *Sorghum bicolor*, *Pennisetum laucum* et *Zea mays* en usage en Afrique de l'Ouest

Laurencia Touloumdé SONGRE-OUATTARA^{1*}, Fabrice BATIONO¹, Charles PARKOUDA¹, Aboubacar DAO¹, Imael Henri Nestor BASSOLE² et Bréhima DIAWARA¹

¹ Institut de Recherches en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), Département Technologie Alimentaire (DTA), 03 BP 7047 Ouagadougou 03 Burkina Faso.

² Université de Ouagadougou, Unité de formation et Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre (UFR/SVT), Laboratoire LABESTA, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

* Auteur correspondant ; E-mail: laurenciaouattara@yahoo.fr, Tél : 00 226 70278633.

RESUME

La qualité des grains de vingt-deux variétés, dont sept de sorgho (*Sorghum bicolor*), sept de mil (*Pennisetum laucum*) et huit de maïs (*Zea mays*) est étudiée par des méthodes standard. L'évaluation physico-chimique montre que le poids de 1000 grains est le paramètre le plus discriminatoire comparativement à la forme, les dimensions, la couleur et l'endosperme des grains. Sur le plan du profil nutritionnel, la variété de maïs FBMS1 est la plus intéressante par ses teneurs élevées en protéines (15,5%), en lipides (13%) et en cendres (2,5%). Dix variétés, soit cinq de mil (IKMP5, IKMV8201, SOSATC88, GB8735, Tabi), deux de maïs (Wari, Espoir), trois de sorgho (Tiéblé, Sarioso14, ICSV1049) présentent un profil nutritionnel moyen. Par contre, onze variétés, soit deux de mil (IKMP1, Gampèla), cinq de maïs (Bondofa, SR21, Barka, FBC6, Massongo) et quatre de sorgho (Fibmigou, Kapelga, Sarioso11, Framida) montrent un faible profil nutritionnel. Néanmoins, Kapelga, Fibmigou et IKMP1 se distinguent par leurs teneurs intéressantes en protéines ou en fer. Au plan technologique, l'évaluation de la vitrosité et de la dureté des grains indique que seulement trois variétés de mil (SOSATC88, GB8735, Gampèla) et une variété de sorgho (Framida) sont à grains farineux, donc peu aptes au décorticage.

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Sorgho, mil, maïs, composition, propriété physicochimique, propriété technologique.

Grains quality and food processing aptitude: case of varieties of *Sorghum bicolor*, *Pennisetum glaucum* and *Zea mays* from West Africa

ABSTRACT

Grain quality of twenty two varieties, including seven sorghum (*Sorghum bicolor*), seven millet (*Pennisetum laucum*) and eight maize (*Zea mays*) is studied by standard method. The evaluation of physico-chemical characteristics shows that the 1000-grain weight is the most discriminatory comparatively to the grain and endosperm form and color, and the grain size. With respect to nutritional profile, maize variety FBMS1 is

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

2522-IJBSC

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i6.23>

the most interesting due to its high contents in protein (15.5%), fat (13%), and ash (2.5%). A total of ten (10) varieties, including five of millet (IKMP5, IKMV8201, SOSATC88, GB8735, Tabi), two of maize (Wari, Espoir) and three of sorghum (Tiéblé, Sariaso14, ICSV1049) show medium nutritional profile. On the contrary, eleven varieties out of which, two of millet (IKMP1, Gampèla), five of maize (Bondofa, SR21, Barka, FBC6, Massongo) and four of sorghum (Fibmigou, Kapelga, Sariaso11, Framida) show a low nutritional profile. Nevertheless, Kapelga, Fibmigou and IKMP1 are standing out due to their interesting levels of protein or iron. With the respect to the technology, the result of vitreousness and hardness of the kernels indicate that only three varieties of millet (SOSATC88, GB8735, Gampèla) and one variety of sorghum (Framida) are floury kernels, so just suit for dehulling.

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: *Sorghum*, *pearlmillet*, *maize*, composition, physico-chemical properties, technological properties.

INTRODUCTION

Les céréales jouent un rôle important dans le maintien de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Afrique subsaharienne. Au Burkina Faso, les cultures céréalières occupent près de 76% des superficies emblavées et représentent en valeur plus de 50% de la production agricole du pays (MAH/DGPER/DPSAA, 2011). Selon les statistiques agricoles 2013-2014, la production céréalière nationale s'élevait à 4,9 millions de tonnes (Mt), soit 1,85Mt de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), 1,58 Mt de maïs (*Zea mays* L.), 1 Mt de mil (*Pennisetum laucum* (L.) R. BR.), 0,3 Mt de riz et 0,02 Mt de fonio (MASA/DGESS, 2014). Parmi ces céréales, le sorgho, le mil et le maïs occupent une part prépondérante, soit environ 70%, dans la consommation alimentaire des Burkinabè. Ils subissent des transformations au niveau familial, artisanal, semi-industriel et industriel avant d'être consommés. A l'instar de nombreux pays d'Afrique, différentes formes de consommation alimentaire des céréales ont été identifiées dans les ménages burkinabè (Konkobo et al., 2002; Hama et al., 2009; Greffeuille et al., 2010) et classées en différentes catégories (IMS/FIAB, 2001; CORAF, 2010). Dans cette classification, on distingue les pâtes (*tô*), les bouillies (*benkida*, *bensaalga*, autres bouillies infantiles), les produits torréfiés (*mougoudougou*), les produits cuits à la vapeur (couscous, *bassi*, *déguè*), les produits cuits dans l'eau (*fourra*), les produits frits (beignets), les boissons

alcoolisées (*dolo*, *bessé*) et non alcoolisées (*zoomkoom*, *ranoodo*). Ces dernières décennies, différents modes de transformation des céréales se sont développés et ont donné lieu à des produits traditionnels améliorés prêts à l'emploi (farine, semoule, grumeaux de bouillies, *déguè*, couscous précuit, farines infantiles) et de produits nouveaux (pain, biscuits, gâteaux).

Des auteurs ont rapporté que ces produits céréaliers ont de très faibles teneurs en lipides, en protéines et en certains minéraux et vitamines essentiels (Dewey et Brown, 2003 ; Nuss et Tanumihardjo, 2010). De ce fait, ils contribuent peu à la couverture des besoins en nutriments de ces populations.

Dans l'optique d'améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations au regard de l'accroissement démographique et des problèmes nutritionnels, les programmes de recherche agronomique développent de nouvelles variétés de céréales plus productives et mieux adaptées aux conditions pédoclimatiques. Plusieurs travaux ont évalué le potentiel nutritionnel des grains de céréales (McKevith, 2004; Raï et al., 2008; Kowieska et al., 2011; Shobana et al., 2011; Malomo et al., 2013; Saleh et al., 2013). Cependant, très peu d'informations sur les caractéristiques physiques, chimiques, nutritionnelles ou technologiques des variétés de céréales locales et améliorées en usage au Burkina Faso sont trouvées dans la littérature (Ouattara et al., 2001; Bayané, 2005; Béninga, 2014), ce qui ne permet pas de les exploiter

judicieusement dans les systèmes de transformation pour répondre aux exigences de qualité des produits locaux, de plus en plus croissantes des consommateurs. L'objectif de la présente étude était de caractériser des variétés de sorgho, mil et maïs aux plans physique et nutritionnel afin de prévoir leur aptitude d'utilisation et de transformation.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal

Des semences de base et certifiées de vingt-deux (22) variétés de céréales récoltées entre 2009 et 2011 (Tableau 1), dont 7 de sorgho (*Sorghum bicolor*), 7 de mil (*Pennisetum laucum*) et 8 de maïs (*Zea mays*) ont été obtenues auprès de l'Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole (INERA) au Burkina Faso, de « International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics » (ICRISAT) au Mali et auprès de l'Union Nationale des Producteurs de Semences du Burkina (UNPSB). Ces variétés ont été sélectionnées du fait de leur importance en matière de diffusion et de culture au Burkina Faso et au Mali.

Préparation des échantillons au laboratoire

Tous les échantillons de semence ont été nettoyés pendant 10 min au moyen d'un tamiseur Alpin à jet d'air modèle 200LS-N (Hosokawa, France) couplé à un aspirateur. Cinq cent (500) grammes d'échantillons de chaque variété ont ensuite été broyés à l'aide d'un broyeur-mixeur Modèle C19 (CNTA, France) et passés au tamis de 250 µm de maille avant les analyses chimiques et nutritionnelles. Cependant, pour l'analyse du fer, 30 grammes de grains préalablement nettoyés ont été lavés rapidement à l'eau distillée pendant moins de 3 min, séchés à l'étuve à 50° C et broyés finement avec un mortier en porcelaine.

Analyses physiques des grains

Forme des grains

Pour chaque variété de céréale, la forme des grains a été déterminée par la

méthode de l'ICRISAT (1997) basée sur la comparaison des grains avec les formes proposées par International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR).

Couleur de l'endosperme des grains

La couleur des grains a été déterminée selon la méthode décrite par l'ICRISAT (1997) en plaçant vingt (20) grains de chaque variété sur un papier blanc et en comparant la couleur de leur péricarpe avec un standard de couleur proposé par IBPGR.

Dimensions des grains

Les dimensions des grains ont été déterminées par mesure des différents côtés mesurables à l'aide d'un pied à coulisse électronique (Castorama LR44, Germany) sur 20 grains différents de chaque variété.

Poids de 1000 grains

Le poids de 1000 grains a été déterminé selon la méthode décrite par l'ICRISAT (1997). Un comptage manuel de 3 lots de 1000 grains a été effectué et le poids de chaque lot a été mesuré à l'aide d'une balance (OHAUS, Suisse). La moyenne arithmétique des trois répétitions a été notée comme la masse de 1000 grains de l'échantillon.

Indice de vitrosité du grain

L'indice de vitrosité du grain a été déterminé selon la méthode visuelle de Maxon et al. (1971). Brièvement, trois lots de 20 grains sains et entiers de chaque variété ont été constitués. Chaque grain a été sectionné longitudinalement en son milieu et la proportion d'albumen vitreux et farineux a été estimée visuellement selon une échelle de notation de 1 à 5. L'indice 1 correspond à un albumen très vitreux (80 à 100% vitreux), l'indice 2 à un albumen vitreux (60 à 80%), l'indice 3 à un albumen moyennement vitreux (40 à 60% vitreux), l'indice 4 à un albumen farineux (20 à 40% vitreux) et l'indice 5 à un albumen très ou totalement farineux (0 à 20% vitreux). La moyenne arithmétique des observations calculée pour chaque variété est notée comme l'indice de vitrosité moyen de la variété.

Dureté des grains

La dureté des grains de sorgho a été évaluée selon la méthode du *Particle Size Index* (PSI) mise au point par Fliedel et al. (1989). Vingt grammes (20g) de grains d'humidité comprise entre 11,5 et 13,5% ont été broyés dans un moulin PERTEN Laboratory Mill 3303, puis tamisé pendant 1 min au moyen d'un tamiseur à courant d'air Alpine type 200 LS-N couplé à un aspirateur. L'indice de taille des particules ou PSI représente le pourcentage de broyat passant au travers du tamis de 250 µm de mailles. La dureté des grains est estimée selon l'échelle de classification établie.

Analyses chimiques et nutritionnelles des grains

Teneur en eau

La teneur en eau des échantillons a été déterminée par pesée différentielle d'un échantillon de 5g avant et après passage à l'étuve à 130° C pendant 2h selon la norme française (NF V 03-707, 2000).

Teneur en protéines totales

Les teneurs en protéines totales ont été déterminées par la méthode de Kjeldahl utilisant la norme française (NF V03-050, 1970).

Teneur en lipides

Les teneurs en lipides des échantillons ont été déterminées par la méthode d'extraction de type Soxhl et utilisant la norme internationale (ISO 659, 1998), avec l'hexane comme solvant.

Teneur en cendres

Les teneurs en cendres ont été déterminées par pesée différentielle d'un échantillon de 2,5g de farine après calcination dans un four à moufle (Nabertherm®) à 550 °C pendant 4h selon la norme internationale (ISO 2171, 2007).

Teneur en glucides totaux

La teneur en glucides totaux a été obtenue par différence selon la méthode d'Eganet al. (1981). Glucides totaux (%)=100-[protéines (%) + lipides (%) + cendres (%) + eau (%)]

Valeur énergétique

La valeur énergétique a été calculée en utilisant les coefficients d'Atwater et Benedict (1899) selon la formule suivante : Energie (Kcal/100g) = % glucides × 4 (Kcal) + % protéines × 4 (Kcal) + % lipides × 9 (Kcal).

Teneur en caroténoïdes

Les teneurs en caroténoïdes (zéaxanthine, bêta-carotène) ont été déterminées par chromatographie liquide haute performance (HPLC) selon la méthode Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2012).

Teneur en fer

Les teneurs en fer ont été déterminées par spectrométrie d'absorption atomique à flamme selon la méthode AOAC (2012).

Teneur en tanins

Les teneurs en tanins ont été déterminées par mesure spectrométrique à 525 nm selon la norme Internationale (ISO 9648, 1988).

Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été effectuées en double. L'analyse statistique a été effectuée avec le logiciel SPSS™ Statistics version 20.0 (IBM,USA) pour l'analyse de variance (ANOVA) et la comparaison des moyennes a été réalisée selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

RESULTATS

Caractéristiques physiques et technologiques des grains de céréales

Les résultats de caractérisation physique et technologique des variétés de mil, maïs et sorgho sont consignés dans le Tableau 2. L'analyse de variance montre des différences significatives ($P < 0,05$) entre les variétés de mil, maïs et sorgho pour le poids de 1000 grains, l'indice de vitrosité, la longueur à l'exclusion du mil et l'épaisseur, excepté pour le maïs. En outre, on note des différences très hautement significatives ($P = 0,001$) entre les types de céréales pour le poids de 1000 grains, la longueur et l'épaisseur des grains. Le poids de 1000

grains varie entre $96,8 \pm 2,0$ g (FBMS1) et $321,1 \pm 2,4$ g (SR21) pour le maïs, entre $9,2 \pm 0,1$ g (Gampèla) et $13,7 \pm 0,1$ g (GB8735) pour le mil et entre $16,4 \pm 0,2$ g (Sariaso11) et $26,3 \pm 0,4$ g (Framida) pour le sorgho. Les dimensions des grains de mil et de sorgho sont comparables. En effet, les longueurs des grains mesurent entre 3,5 mm (IKMP5) et 4,1 mm (Tabi) pour le mil et entre 3,3 mm (Fibmigou et Sariaso14) et 4,2 mm (Framida) pour le sorgho, soit des valeurs moyennes respectives de $3,6 \pm 0,3$ mm et $3,5 \pm 0,3$ mm. Pour l'épaisseur des grains, elles se situent entre 2,1 mm (Tabi) et 2,7 mm (SOSATC88) pour les variétés de mil et entre 2,3 mm (Fibmigou) et 2,8 mm (Framida) pour les variétés de sorgho, soit des valeurs moyennes respectives de $2,5 \pm 0,3$ mm et de $2,5 \pm 0,2$ mm. Cependant, pour le maïs, les longueurs des grains varient de 9,1 mm (FBMS1) à 12,3 mm (Massongo) avec une moyenne de $11,7 \pm 1,5$ mm, tandis que les épaisseurs vont de 3,4 mm (FBMS1) à 4,5 mm (Wari), soit une moyenne de $4,0 \pm 0,3$ mm et la largeur de 7 mm (FBMS1) à 9,2 mm (Massongo), avec une moyenne de $8,3 \pm 0,7$ mm. Concernant la forme des grains, 14% et 86% des variétés de mil ont respectivement des formes globulaires et obovales tandis que 100% des variétés de maïs et de sorgho ont des formes respectivement hexagonales et obovales. Pour la couleur des grains, on note une plus grande diversité au sein des variétés de mil, soit 72% à grains jaune, 14% à grains gris et 14% à grains gris sombre. Pour le maïs, 50% des variétés sont à grains jaune et 50% à grains rouge, contre 71% de variétés à grains blancs et 29% à grains rouge pour le sorgho. En outre, toutes les variétés de mil et de sorgho présentent un endosperme blanc, tandis que 87,5% et 12,5% des variétés de maïs sont respectivement à endosperme blanc et jaune. Les valeurs d'indices de vitrosité des grains de sorgho montrent que 29% des variétés ont des indices de vitrosité < 3 , tandis que 57% des variétés possèdent des indices compris entre 3 et 4 et seulement 14% des indices ≥ 4 . Pour le mil, aucune variété n'est

vitreuse, elles sont à grains semi-vitreux ou farineux, respectivement de 57% et 43%. Toutes les variétés de maïs étudiées sont à grains vitreux. L'évaluation de la dureté des grains de sorgho montre une différence significative entre les variétés ($P < 0,05$). En effet, 86% des variétés ont un PSI < 13 tandis que 13% ont un PSI compris entre 19 et 22.

Caractéristiques nutritionnelles des grains de céréales

Le Tableau 3 donne la composition nutritionnelle des variétés de céréales. L'analyse de variance montre des variations significatives ($p < 0,05$) entre les céréales et au sein des variétés des céréales ($p < 0,05$) pour tous les paramètres nutritionnels étudiés. Les teneurs en protéines varient de $8,2 \pm 0,2\%$ (Gampèla) à $11,7 \pm 0,1\%$ (IKMV8201) pour les variétés de mil, de $8,7 \pm 0,1\%$ (Massongo) à $15,5 \pm 0,0\%$ (FBMS1) pour les variétés de maïs et de $9,6 \pm 0,1\%$ (Sariaso11) à $12,5 \pm 0,1\%$ (Fibmigou) pour les variétés de sorgho. Les teneurs en lipides chez les variétés de sorgho sont plus faibles comprises entre $3,0 \pm 0,1\%$ (Sariaso11) et $6,3 \pm 0,1\%$ (ICSV1049) avec une moyenne de $4,5 \pm 0,9\%$. Chez le mil et le maïs, les teneurs en lipides sont plus élevées et varient respectivement de $5,1 \pm 0,2\%$ (IKMP1) à $9,3 \pm 0,6\%$ (IKMV8201) et de $4,8 \pm 0,0\%$ (Bondofa) à $11,9 \pm 0,0\%$ (FBMS1) avec des moyennes de $6,0 \pm 1,5\%$ et de $6,1 \pm 2,3\%$. Pour les cendres, la variation est plus importante chez le maïs et le sorgho comparé au mil. Elles varient de $1,5 \pm 0,0\%$ (IKMP1) à $1,8 \pm 0,1\%$ (SOSATC88) chez le mil, de $1,3 \pm 0,0\%$ (FBC6) à $2,5 \pm 0,0\%$ (FBMS1) chez le maïs et de $1,3 \pm 0,0\%$ (Sariaso11) à $2,0 \pm 0,0\%$ (Framida) chez le sorgho. Les teneurs moyennes en glucides totaux des différentes céréales sont comparables, soit $74,1 \pm 2,3\%$ pour le mil, $73,7 \pm 5,3\%$ pour le maïs et $74,4 \pm 2\%$ pour le sorgho. Au plan nutritionnel, les résultats révèlent que toutes les variétés étudiées ont de très faibles teneurs en tanins, inférieures à 0,1%, excepté les variétés de sorgho ICSV1049 ($2,0 \pm 0,0$) et Framida ($0,6 \pm 0,0\%$). En comparaison au maïs,

les teneurs en fer sont plus importantes chez le mil et le sorgho et varient respectivement de $1,0\pm 0,1\%$ (Gampéla) à $5,1\pm 0,5\%$ (GB8735) et de $1,9\pm 0,0\%$ (Sarioso11) à $5,7\pm 0,0\%$ (Fibmigou). L'analyse des caroténoïdes de huit variétés à grains pourvus de pigments jaune ou rouge révèle la présence de zéaxanthine et/ou de bêta-carotène dans 62,5% des variétés de maïs avec des

concentrations variant de $30,6\pm 0,3$ (SR21) à $350,7\pm 6,0$ $\mu\text{g}/100\text{g}$ (FBMS1) pour la zéaxanthine et de $2,5\pm 0,2$ (SR21) à $8,6\pm 0,0$ $\mu\text{g}/100$ g pour la β -carotène (Espoir). Concernant les valeurs énergétiques, elles varient au sein des variétés avec des valeurs moyennes de $393,0\pm 7,1$ kcal/100g pour le mil, $392,2\pm 8,9$ kcal/100g pour le maïs et $380,9\pm 4,0$ kcal/100g pour le sorgho.

Tableau 1: Caractéristiques et origines des variétés de semences de mil, de maïs et de sorgho.

Céréale	Variété	Type de semence	Fournisseur	Origine	Année de production
mil	IKMP1	Base	INERA	Kamboinsé	2011
	IKMP5	Base	INERA	Kamboinsé	2011
	IKMV8201	Base	INERA	Kamboinsé	2011
	SOSATC88	Base	INERA	Kamboinsé	2011
	GB 8735	Base	ICRISAT	Mali	2010
	Tabi	Base	ICRISAT	Mali	2010
	Gampéla	Certifié	UNPSB	Gampéla	2010
maïs	Wari	Base	INERA	Farako-Ba	2011
	Espoir	Base	INERA	Farako-Ba	2011
	Bondofa	Base	INERA	Farako-Ba	2011
	SR21	Base	INERA	Farako-Ba	2011
	Barka	Base	INERA	Farako-Ba	2011
	FBC6	Base	INERA	Farako-Ba	2011
	Massongo	Base	INERA	Farako-Ba	2011
	FBMS1	Base	INERA	Farako-Ba	2011
sorgho	Tiéblé	Base	ICRISAT	Mali	2010
	Fibmigou	Certifié	UNPSB	Gampéla	2010
	Kapelga	Base	INERA	Saria	2011
	Sarioso 14	Base	INERA	Saria	2011
	Sarioso 11	Base	INERA	Saria	2011
	ICSV 1049	Base	INERA	Saria	2011
	Framida	Base	INERA	Saria	2011

Tableau 2: Caractéristiques physiques et technologiques des variétés de mil, de maïs et de sorgho.

Céréale	Variété	Poids de 1000 grains (g)	Dimensions (mm)			Forme	Couleur des grains	Couleur de l'endosperme	Indice de vitrosité	Dureté des grains
			Longueur	Epaisseur	Largeur					
Mil (n=7)	IKMP1	12,7±0,0	3,8	2,5	-	obovale	jaune	blanche	3,8	-
	IKMP5	10,5±0,0	3,5	2,5	-	obovale	jaune	blanche	3,7	-
	IKMV8201	11,1±0,3	3,7	2,4	-	obovale	jaune	blanche	3,2	-
	SOSATC88	12,9±0,1	3,8	2,7	-	obovale	jaune	blanche	4	-
	GB 8735	13,7±0,1	3,9	2,6	-	obovale	grise	blanche	4,8	-
	Tabi	8,8±0,1	4,1	2,1	-	obovale	grise foncée	blanche	3,9	-
	Gampela	9,2±0,1	3,6	2,4	-	globulaire	jaune	blanche	4,6	-
P (mil)		<0,05	=0,12	<0,05					<0,05	
Moy±ET		12,1±2,0	3,7±0,4	2,5±0,3						
Maïs (n=8)	Wari	227,0±2,2	9,6	4,5	8	hexagonale	jaune	blanche	2,3	-
	Espoir	245,0±0,6	11,1	3,8	8,2	hexagonale	jaune	blanche	1,6	-
	Bondofa	269,0±3,1	12,1	4,1	8,6	hexagonale	blanche	blanche	2,7	-
	SR21	321,1±2,4	12,1	4	8,7	hexagonale	blanche	blanche	2,7	-
	Barka	267,9±0,9	11,5	3,8	8	hexagonale	blanche	blanche	2,9	-
	FBC6	246,8±2,0	10,6	4,2	8,5	hexagonale	jaune	blanche	2,1	-
	Massongo	316,3±2,7	12,3	4,1	9,2	hexagonale	blanche	blanche	2,7	-
	FBMS1	96,8±2,0	9,1	3,4	7	hexagonale	jaune	jaune	1,3	-
P (maïs)		<0,05	<0,05	=0,05					<0,05	
Moy±ET		268,0±72,3	11,7±1,5	4,0±2,0	8,3±0,7					
Sorgho (n=7)	Tiéblé	21,4±0,1	3,4	2,4	-	globulaire	blanche	blanche	2,1	9,3
	Fibmigou	22,2±0,2	3,3	2,3	-	globulaire	rouge	blanche	3,1	10,9
	Kapelga	24,3±0,0	3,5	2,4	-	globulaire	blanche	blanche	2,6	9,2

Sariaso 14	19,7±0,1	3,4	2,3	-	globulaire	blanche	blanche	3	11,6
Sariaso 11	16,4±0,2	3,4	2,5	-	globulaire	blanche	blanche	3,4	12,6
ICSV 1049	25,2±0,2	3,8	2,5	-	globulaire	blanche	blanche	3,3	10,1
Framida	26,3±0,4	4,2	2,8	-	globulaire	rouge	blanche	4,9	19,7
P (sorgho)	<0,05	<0,05	<0,05					<0,05	<0,05
Moy±ET	24,2±3,5	3,5±0,3	2,5±0,2						
P (céréale)	0,001	0,001	0,001						

Tableau 3: Composition nutritionnelle des variétés de mil, de maïs et de sorgho (%MS).

Type de céréales	Type variétal	Macronutriments				Micronutriments			Energie (Kcal/100g)
		Composition globale (g)				Caroténoïdes (µg)			Valeur énergétique
		Protéines	Lipides	Cendres	Glucides totaux	Fer (mg)	éZéaxanthine	Bêta-carotène	
Mil (n=7)	IKMP1	11,5±0,2	5,1±0,2	1,5±0,0	74,0±0,4	2,4± 0,1	-	-	388,2±1
	IKMP5	10,4±0,3	5,2±0,1	1,6±0,0	74,8±0,3	3,0± 0,2	-	-	387,9±1
	IKMV8201	11,7±0,1	9,3±0,6	1,6±0,0	69,5±0,3	4,3± 0,1	49,3 ±1,0	1,9 ±0,0	408,7±3,5
	SOSATC88	11,5±0,1	5,4±0,1	1,8±0,1	73,6±0,3	3,9± 0,2	-	-	388,5±0,2
	GB8735	11,1±0,2	5,1±0,1	1,7±0,0	75,8±0,1	5,1± 0,5	-	-	394±0,4
	Tabi	11,1±0,1	5,9±0,1	1,6±0,0	73,8±0,0	4,4± 0,0	-	-	393±1
	Gampèla	8,2±0,2	5,6±0,0	1,6±0,0	77±0,1	1,0± 0,1	-	-	390,7±0,4
	Moy±ET	10,8±0,1	6,0±1,5	1,6±0,1	74,1±2,3	3,5±1,4	-	-	393±7,1
P (mil)		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05
Maïs (n=8)	Wari	11±0,3	5,3±0,2	1,7±0,1	73,4±0,5	2,2±0,1	98,9± 0,3	-	385±1,2
	Espoir	10,5±0,2	4,9±0,1	1,6±0,0	74,3±0,4	0,9± 0,0	280,1± 1,7	8,6± 0,0	383±1,5
	Bondofa	10,1±0,0	4,8±0,0	1,4±0,0	76,7±70,2	2,1± 0,1	-	-	390,2±1,1
	SR21	9,1±0,1	5±0,0	1,4±0,0	77,4±0,1	1,9± 0,0	30,6± 0,3	2,5 ±0,2	390,9±0,9

	Barka	11,3±0,1	6,4±0,3	1,4±0,0	72,9±0,5	3,9± 0,2	-	-	394,2±0,9
	FBC6	9,7±0	5,1±0,2	1,3±0,0	76,5±0,2	1,4± 0,1	138,4 ±1,0	-	390,7±0,7
	Massongo	8,7±0,1	5,1±0,0	1,3±0,0	77,5±0,1	1,0± 0,0	-	-	390,6±0,0
	FBMS1	15,5±0,0	11,9±0,0	2,5±0,0	61±0,2	1,8± 0,0	350,7± 6,0	6,6 ±0,0	413,2±0,8
	Moy±ET	10,7±2,1	6,1±2,3	1,6±0,4	73,7±5,3	1,9±0,9	-	-	392,2±8,9
P (maïs)		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05
	Tiéblé	11,0±0,1	4,8±0,3	1,4±0,1	73,4±0,6	4,9± 0,0	-	-	380,9±0,2
	Fibmigou	12,5±0,1	4,3±0,0	1,8±0,0	75,1±0,0	5,7± 0,0	-	-	378,5±0,0
	Kapelga	12,5±0,1	4,1±0,0	1,7±0,0	72,9±0,0	4,7± 0,0	-	-	379,2±0,1
Sorgho (n=7)	Sariaso14	10,6±0,2	4,6±0,1	1,5±0,0	73,0±0,3	2,3± 0,0	-	-	376,3±1,5
	Sariaso11	9,6±0,1	3,0±0,1	1,3±0,0	77,6±0,1	1,9± 0,0	-	-	388,3±1,6
	ICSV 1049	11,2±0,2	6,3±0,1	1,6±0,0	71,8±0,3	2,6± 0,1	3,8 ±0,1	-	388,3±1,6
	Framida	10,8±0,1	4,0±0,0	2,0±0,0	76,2±0,2	2,2± 0,1	2,7 ±0,1	-	384,4±0,9
	Moy±ET	10,8±0,9	4,5±0,9	1,6±0,2	74,4±2,0	3,5±1,5	-	-	380,9±4,0
P (sorgho)		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05
P (céréales)		<0,05	=0,04	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05

DISCUSSION

La valorisation des produits locaux et le développement de nouveaux produits requièrent une bonne connaissance des caractéristiques de qualité des matières premières. Ainsi, la présente étude met en exergue la qualité physique et nutritionnelle des grains de plusieurs variétés de mil, maïs et sorgho d'Afrique de l'Ouest ainsi que leur aptitude à la transformation tout en permettant de les distinguer. Ces résultats montrent que le poids de 1000 grains et les dimensions comme la longueur et la largeur des grains sont les principaux caractères physiques qui permettent de discriminer les céréales et les variétés. L'importante variabilité pour le poids de 1000 grains a été également mise en évidence par Béninga (2014) pour des variétés de mil du Sénégal et de la Côte d'Ivoire. Toutefois, on note avec le maïs et le sorgho, que la plupart des grains qui ont les poids de 1000 grains élevés, a les dimensions extrêmes les plus importantes, exceptée pour le mil. Les autres caractères physiques comme la couleur des grains et de l'endosperme et la forme du grain paraissent moins discriminatoires. Tous ces caractères physiques forment ainsi un ensemble de critères commerciaux importants qui pourraient conditionner la sélection et l'achat du grain par les professionnels de l'agroalimentaire pour répondre aux besoins de plus en plus exigeants de leurs clients, notamment des consommateurs urbains. Il ressort à cet effet que les variétés à grains denses et volumineux les plus caractéristiques sont SR21 et Massongo pour le maïs, GB873, SOSATC88 et IKMP1 pour le mil et les variétés Framida, ICSV1049 et Kapelga pour le sorgho. Les grains de très faible densité sont observés avec les variétés FBMS1 pour le maïs, Tabiet Gampèla pour le mil, Sarioso11 et Sarioso14 pour le sorgho.

La relation entre la vitrosité et la dureté des grains de céréales avec la qualité technologique des grains a été rapportée par Raï et al. (2008). Des valeurs de vitrosité du grain inférieures à 3 ou comprises entre 3 et 4 indiquent respectivement que les grains possèdent un endosperme vitreux ou semi-vitreux et sont aptes au décorticage (Ouattara et al., 2001). C'est au-delà de 4 que l'aptitude au décorticage du grain diminue, ce qui entraîne des brisures importantes du grain. De même, lorsque l'indice de taille des particules ou PSI est inférieure à 13 ou comprise entre 13 et 19, les grains sont respectivement très durs et moyennement durs et aptes au décorticage (Ouattara et al., 2001). Cependant, lorsque le PSI est compris entre 19 et 22, les grains sont tendres et moins aptes au décorticage, et subiraient des brisures importantes en donnant de faibles rendements au décorticage. La connaissance de ces caractéristiques technologiques est importante, notamment dans les régions où le décorticage reste la première opération de transformation et qui conditionne l'obtention de produit de qualité spécifique. Au regard de cela, les résultats de la présente étude montrent que sur les 22 variétés étudiées, seulement quatre variétés (18%), soit trois de mil (SOSATC88, GB8735, Gampèla) et une de sorgho (Framida) sont peu aptes au décorticage à cause de leur caractère farineux, mais plus aptes à donner des farines plus fines. Certains auteurs ont également souligné l'influence de la dureté des grains de certaines céréales sur la qualité des préparations culinaires (Raï et al., 2008). Le degré de dureté a été aussi relié à la qualité de l'utilisation comme dans le cas du blé, où il représente un paramètre qualitatif important.

L'analyse biochimique donne d'une part, le profil nutritionnel de chaque variété de céréale et offre ainsi l'opportunité aux utilisateurs de les choisir au regard de

l'utilisation. D'autre part, elle peut servir à évaluer les apports nutritionnels dans le cas des études de consommation alimentaire. Les travaux de Bayané et al. (2005) rapportent pour 14 variétés de mil du Burkina Faso, des teneurs variant de 6,8 à 10,2% pour les lipides, 8,7 à 17,1% pour les protéines, 2,2 à 3,4% pour les minéraux, 71,8 à 77,5% pour les glucides. Ces résultats sont tous comparables avec les résultats de cette étude. De même, les résultats de caractérisation des grains de sorgho sont en agrément avec ceux de Ratnavathi et al. (2004). Cependant, les travaux de Hama et al. (2012) sur trois variétés de mil du Burkina Faso et du Mali donnent des teneurs en fer variant de 4,1 à 7,3 mg pour 100 g, soit deux fois supérieures aux résultats obtenus dans cette étude. Ces variations peuvent être dues à une influence des conditions écologiques de la zone de culture, à des facteurs génétiques ou aux techniques d'analyses. En outre, les résultats de la présente étude montrent que les profils nutritionnels varient notablement d'une variété à l'autre, ce qui représente des avantages comparatifs pouvant permettre de les exploiter judicieusement. Pour faciliter la communication auprès des professionnels de l'agroalimentaire sur les potentiels nutritionnels des variétés de céréales, il pourrait être envisagé d'élaborer une classification relativement simple des variétés de céréales. Ainsi, sur la base d'une revue de littérature récente sur la qualité des grains de céréales (Raï et al., 2008 ; Saleh et al., 2013), les résultats obtenus permettent de distinguer trois groupes de variétés en fonction de leurs plus importants éléments nutritionnels, notamment en protéines, lipides, glucides et en cendres ainsi que des facteurs antinutritionnels tels que les tanins. Le groupe des variétés à profil nutritionnel faible, se caractérise par de faibles teneurs en lipides (<5 %), protéines (<10%), matières minérales (<1,5%) avec plus ou moins des

teneurs importantes en tanins (>0,5%). Le groupe des variétés à profil nutritionnel moyen, possède des teneurs moyennes en protéines (10-12%), en lipides (5-8%), en cendres (1,5-2%) avec des teneurs acceptables en tanins (<0,5%). Le groupe des variétés à profil nutritionnel élevé, se distingue par des teneurs importantes en lipides (>8%), en protéines (>12%), en cendres (>2%) avec de très faibles teneurs en tanins (<0,04%). Au regard de cette classification, et des résultats de la caractérisation biochimique de la présente étude, on s'aperçoit que seule la variété de maïs FBMS1, présente un profil à haut potentiel nutritionnel ; dix variétés dont cinq de mil (IKMP5, IKMV8201, SOSATC88, GB8735, Tabi), deux de maïs (Wari, Espoir) et trois de sorgho (Tiéblé, Sarioso14, ICSV1049) sont de profil nutritionnel moyen. Cependant, onze variétés, soit deux variétés de mil (IKMP1, Gampèla), cinq variétés de maïs (Bondofa, SR21, Barka, FBC6, Massongo) et quatre variétés de sorgho (Fibmigou, Kapelga, Sarioso11, Framida) ont un faible profil nutritionnel. Néanmoins, Kapelga, Fibmigou et IKMP1 se distinguent par leurs teneurs élevées en protéines ou en fer.

Conclusion

Vingt-deux variétés de céréales d'Afrique de l'Ouest (sorgho, mil, maïs) ont fait l'objet d'une évaluation de la qualité du grain au plan physique, nutritionnel et technologique, permettant de les discriminer. Du point de vue de la qualité physique, le poids de 1000 grains et les dimensions sont les caractères les plus discriminants à l'opposé de la couleur et de l'endosperme du grain. Au plan nutritionnel et technologique, tous les caractères évalués permettent de discriminer les variétés. Ces résultats constituent une base de données utilisable par les chercheurs, les transformateurs, les

consommateurs et les politiques dans le cadre de la sécurité alimentaire et nutritionnelle. En plus, ces résultats peuvent être utilisés pour l'établissement d'une table de composition alimentaire au Burkina Faso. Toutefois, ces résultats pourront être renforcés par des travaux complémentaires tels que l'étude du rendement au décorticage, du profil des acides aminés et des acides gras, et des autres sels minéraux et vitamines, afin de compléter les études sur les 22 variétés et mettre à la disposition des utilisateurs toutes les données scientifiques et techniques permettant leur valorisation.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été financés par le septième programme cadre de l'Union Européenne [Fp7/2007-2013] à travers le projet INSTAPA (Novel staple food-based strategies to improve micronutrient status for better health and development in sub-saharan Africa) sous l'agrément N°211484. Les auteurs remercient le programme céréale de l'INERA et l'UNPSB au Burkina Faso, et l'ICRISAT au Mali pour la fourniture des semences.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs déclarent l'absence de conflit d'intérêt.

CONTRIBUTION DES AUTEURS

OSLT s'est occupé de l'expérimentation, de la rédaction du manuscrit et de la recherche bibliographique ; BF a contribué à la rédaction et l'analyse statistique ; DA a contribué à l'expérimentation; PC, BIHN et DB ont participé à la rédaction du manuscrit.

REFERENCES

Association Française de Normalisation (AFNOR). 1970. Directives générales pour le dosage de l'azote avec

minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. Produits Agricoles Alimentaires, NF V 03-050.

Association Française de Normalisation (AFNOR). 2000. Détermination de la teneur en eau, méthode pratique. Céréales, Légumineuses, Produits Dérivés, NF V 03-707.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2012. Official methods of analysis. AOAC: Arlington, Virginia, USA.

Atwater WO, Benedict FG. 1899. Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body. *US Department of Agriculture. Washington, D.C. Bulletin* 69, 112p.

Bayané Y, Ouattara CAT, Barro N, Ouattara AS, Traoré A. 2005. Evaluations des propriétés physico-chimiques de quelques variétés de mils penicillaires (*Pennisetum laucum*) rencontrées au Burkina Faso. *Maîtrise des procédés en vue d'améliorer la qualité et la sécurité des aliments, Utilisation des OGM, Analyses des risques en Agroalimentaires*. Actes of proceeding, 8-11 novembre 2005, Ouagadougou, Burkina Faso.

Béninga MB. 2014. Caractérisation physico-chimique et technologique des variétés de mil (*Pennisetum laucum* (L.) R., BR.) Ouest Africaines. *Eur. Sci. J.*, **10**(30) : 1857-7881.

Conseil Ouest et Centre Africain de Recherche en Afrique (CORAF/WECARD). 2010. Etude de base du système de transformation agroalimentaire en Afrique de l'Ouest. 71p.

Dewey KG, Brown KH. 2003. Update on technical issues concerning complementary feeding of young children in developing countries and implications for intervention programs.

- Food Nutr. Bull.*, **24**(1), 5-28. DOI: 12664525
- Egan H, Kirk RS, Sawyer R. 1981. *Pearson's Chemical Analyses of Food* (8th edition). Churchill. Livingstone : London-UK; 591p.
- Fliedel G, Grenet C, Gontard N, Pons B. 1989. Dureté, caractéristiques physico-chimiques et aptitude au décorticage des grains de sorgho. In *Céréales en Régions Chaudes*. AUPELF-UREF, éditions John Libbey Eurotext : Paris 1989 ; 187-201.
- Greffeuille V, Mouquet-Rivier C, Icard-Vernière C, Ouattara-Songré L, Avallone S, Hounhouigan J, Kayodé P, Amoussa W, Hama F. 2010. Livret de recette locales des plats à base de mil, sorgho ou maïs et leurs sauces fréquemment consommés par les enfants au Burkina Faso et au Benin. 7^{ème} Programme-Cadre du projet INSTAPA, IRD, FSA/UAC, IRSAT, 113.
- Hama F, Savadogo A, Ouattara CAT, Traoré AS. 2009. Biochemical, Microbial and Processing study of “dégouè”, a fermented food (from pearl millet dough) from Burkina Faso. *Pak. J. Nutr.*, **8**(6): 759-764.
- Hama F, Icard-Vernière C, Guyot JP, Rochette I, Bréhima D, Mouquet-Rivier C. 2012. Potential of non-GMO biofortified pearl millet (*Pennisetum glaucum*) for increasing iron and zinc content and their estimated bioavailability during abrasive decortication. *Int. J. Food Sci. Tech.*, **47**: 1660–1668. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03017.x
- ICRISAT (Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales). 1997. Manuel of laboratory procedures for quality evaluation sorghum and pearl millet. ICRISAT ; 75p.
- Initiative Mil Sorgho-Fédération des Industries Agroalimentaires du Burkina (IMS-FIAB).2001. Bilan sur les techniques de production, transformation et commercialisation des mil et sorgho au Burkina Faso. Rapport final Initiative Mil Sorgho (IMS), 145p.
- ISO (International Standardization Organization). 1988. Dosage des tanins. Produits agricoles alimentaires. ISO 9648.
- ISO (International Standardization Organization). 1998. Détermination de la teneur en matière grasse selon la méthode d'extraction par Soxhlet. ISO 659.
- ISO (International Standardization Organization). 2007. Dosage du taux de cendre par incinération à 550°C. Céréales, légumineuses et produits dérivés. ISO 2171.
- Konkobo YC, Karimou AR, Kaboré S and Diasso K. 2002. Les pratiques alimentaires à Ouagadougou, Burkina Faso: céréales, légumineuses, tubercules et légumes. CNRST, CIRAD. ISBN: 2-87614-511-1; 147p.
- Kowieska A, Lubowicki R, Jaskowska I. 2011. Chemical composition and nutritional characteristic of several cereal grains. *Acta Sci. Pol. Zootech.*, **10**(2): 37–50.
- Malomo Olu, Alamu AE, Oluwajoba SO. 2013. Effect of Processing on Total Amino Acid Profile of Maize and Cowpea Grains. *J. Adv. Lab.Res.Biol.*, **4**(2): 77-82.
- Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique-Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale-Direction de la Prospective et des Statistiques Agricoles et Alimentaires (MAH/DGPER/DPSAA).2011. Résultats définitifs de l'enquête permanente agricole. Campagne agricole 2009/2010. Direction Générale de la Promotion de

- l'Economie Rurale (DGPER), Ouagadougou, Burkina Faso.
- Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire–Direction Générale des Etudes et Statistiques Sectorielles (MASA/DGESS). 2014. Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle. Direction Générale des études et statistiques sectorielles (DGESS), Ouagadougou, Burkina Faso.
- Maxson ED, Fryar WB, Rooney LW, Krishnaprasad, MN.1971. Milling properties of sorghum grain with different proportions of corneous to floury endosperm. *Cereal Chem.*, **48**: 478-490.
- Mc Kevith B. 2004. Nutritional aspects of cereals. British Nutrition Foundation, *Nutr. Bull.*, **29**(2): 111–142. DOI: 10.1111/j.1467-3010.2004.00418x.
- Nuss ET, Tanumihardjo SA. 2010. Maize: A Paramount Staple Crop in the Context of Global Nutrition. *Compr Rev Food Sci F.*, **9**(4):417-436.
- Ouattara L, Trouche G, Flidel G, Diawara B. 2001. Les potentialités d'utilisation des sorghos *guinea tan* au Burkina Faso. "Vers une production, utilisation et commercialisation durables du sorgho en Afrique occidentale et centrale". Actes de l'atelier du Réseau Ouest et Centre Africain de Recherche sur le Sorgho, 19-22 Avril 1999, Lomé, Togo.
- Rai KN, Gowda CLL, Reddy BVS, Sehgal S. 2008. Adaptation and Potential Uses of Sorghum and Pearl Millet in Alternative and Health Foods. *Compr Rev Food Sci F.*, **7**: 340-352.
- Ratnavathi CV, Biswas PK, Pallavi M, Maheswari M, Vijay Kumar BS, Seetharama N. 2004. Alternative uses of sorghum-Methods and feasibility: Indian perspective. In: Alternative Uses of Sorghum and Pearl Millet in Asia: Proceedings of the Expert Meeting; 2003 July 1–4. Patancheru, Andhra Pradesh, India: ICRISAT. CFC Technical Paper Nr 34. P 188–200.
- Saleh ASM, Zhang Q, Chen J, Shen Q. 2013. Millet Grains: Nutritional Quality, Processing, and Potential Health Benefits. *Compr Rev Food Sci F.*, **12**: 281-295. doi: 10.1111/1541-4337.12012.
- Shobana S, Malleshi NG, Sudha V, Spiegelman D, Hong B, Hu FB, Willett WC, Krishnaswamy K, Mohan V. 2011. Nutritional and sensory profile of two Indian rice varieties with different degrees of polishing. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, **62**(8): 800-810. doi: 10.3109/09637486.2011.585962