

Mise au point de tests de laboratoire pour évaluer la qualité du sorgho Relations avec certaines caractéristiques physico-chimiques des grains

G. FLIEDEL, M. YAJID, F. MATENCIO, P. FRANCALANCI

Cirad-ca, laboratoire de technologie des céréales, BP 5035, 34032 Montpellier cedex, France

Résumé — Deux tests de laboratoire ont été mis au point pour prédire la qualité technologique des variétés de sorgho en sélection : l'un pour une bouillie épaisse consommée traditionnellement en Afrique de l'Ouest, le t \hat{o} , l'autre pour une autre bouillie épaisse traditionnelle au Botswana, le bogobe. Après avoir identifié les principaux critères de la qualité d'une bouillie à partir de plusieurs enquêtes de terrain, les auteurs ont transféré les méthodes traditionnelles de préparation au laboratoire du Cirad à Montpellier. Pour chaque type de porridge, une méthode d'évaluation de la qualité a été mise au point. Plusieurs paramètres ont été étudiés simultanément de façon à obtenir une bonne répétabilité et une meilleure différenciation des variétés de sorgho. Les relations entre certaines caractéristiques physico-chimiques des grains de sorgho et la qualité du t \hat{o} ont été ainsi établies. La qualité du t \hat{o} se révèle indépendante de la technologie de préparation et du facteur variétal. Le décortilage du grain est un point essentiel. La taille des particules de farine est un facteur de qualité. La teneur variétale en amylose des grains et la forte solubilité de l'amidon dans l'eau chaude contribuent à une bonne qualité du t \hat{o} . Il est suggéré de sélectionner les variétés de sorgho à forte teneur en amylose et à bonne propriété de décortilage. Quant au bogobe, des études sont en cours pour identifier les caractéristiques physico-chimiques du grain associées à sa consistance, qui a été identifiée comme le principal critère de qualité après le goût.

Abstract — Development of laboratory tests to evaluate sorghum quality relationship with some physiological characteristics of the grain. Two laboratory tests were developed to predict the processing quality of sorghum varieties for two traditional preparations: To, a thick porridge traditionally consumed in West Africa, and Bogobe, a thick porridge consumed in Malawi. By using several field surveys, the main criteria for good porridge were identified and the authors transferred the traditional procedures for making the two porridges to the Cirad laboratory in Montpellier. For each porridge, a method for the evaluation of its quality has been developed. Several parameters have been simultaneously studied to obtain repeatable and better differentiation between sorghum varieties. The relationship between physicochemical characteristics and the quality of the To has been established. To quality was shown to be dependent on the technology used in its preparation, particularly grain dehulling and flour particle size, and on sorghum variety. High

grain amylose content and high starch solubility in hot water contribute to high quality. It is suggested that breeders should select sorghum varieties with high amylose content and good dehulling properties. As for Bogobe, studies are being implemented to identify the physicochemical characteristics of the grains related to the Bogobe consistency which was identified as the main quality criteria after taste.

Les sélectionneurs se sont pendant longtemps attachés à augmenter le rendement des variétés de sorgho sans se préoccuper de leur acceptabilité future par les consommateurs. La plupart des variétés améliorées qui présentaient de bonnes caractéristiques agronomiques, avaient une qualité technologique et culinaire médiocres, ne correspondant pas au goût des populations locales. Il est apparu nécessaire de prévoir, très tôt au niveau de la sélection, la qualité technologique d'une variété de sorgho, c'est-à-dire l'aptitude de cette variété à être transformée en un produit donné.

Le Laboratoire de technologie des céréales du Cirad-Ca a mis au point deux tests pour prédire la qualité technologique des variétés de sorgho en sélection : l'un pour une bouillie épaisse consommée traditionnellement en Afrique de l'Ouest, le t \hat{o} , l'autre pour une autre bouillie épaisse traditionnelle au Botswana, le bogobe. Un troisième test est en cours de préparation sur l'ugali de Tanzanie et de plusieurs pays d'Afrique de l'Est.

La démarche utilisée pour la mise au point de ces tests de laboratoire a été la suivante : les principaux critères de la qualité d'une bouillie ont tout d'abord été identifiés à partir de plusieurs enquêtes effectuées sur le terrain ; la méthode traditionnelle de préparation a été ensuite transférée au laboratoire en utilisant des petites quantités de grains de sorgho ; une méthode d'évaluation de la qualité de la bouillie a été mise au point en optimisant tous les paramètres pour avoir une bonne

répétabilité et bien différencier les échantillons ; enfin, des relations entre certaines caractéristiques physico-chimiques des grains de sorgho et la qualité de la bouillie ont été établies.

Evaluation de la qualité du tô

Les principaux critères de qualité du tô sont d'abord sa consistance qui doit être ferme, et sa capacité à se conserver toute la nuit sans qu'il y ait modification de texture et exsudation d'eau en surface. Viennent ensuite la couleur qui doit être claire puis, le goût peu amer, moins important puisqu'il peut être en partie masqué par la sauce d'accompagnement.

Le tô est préparé traditionnellement à partir d'une farine obtenue après décortilage et broyage des grains, suivis d'un tamisage pour éliminer les particules grossières. Une petite partie de la farine (un tiers de farine pour deux tiers d'eau) est dispersée dans de l'eau froide qui, suivant les ethnies ou les habitudes alimentaires, peut être ou non, acidifiée ou alcalinisée par addition de jus de citron, de tamarin ou de potasse. Ce « lait de farine » est ensuite versé dans de l'eau bouillante. Après 5 à 8 minutes de cuisson, une partie de la bouillie légère est mise de côté, et la farine restante est ajoutée par poignées dans la marmite tout en remuant vigoureusement avec une spatule en bois. Le mélange s'épaissit puis, au fur et à mesure de la cuisson, la pâte devient lisse, homogène et très consistante. Si elle est trop épaisse, sa texture peut être modifiée par addition d'une partie de la bouillie légère. Après 20 minutes de cuisson, le tô est prêt.

Cette méthode traditionnelle a été transférée au laboratoire (Fliedel, 1994), en utilisant des petites quantités de grains (environ 10 grammes pour un échantillon de tô). Plusieurs paramètres ont été optimisés pour avoir une bonne répétabilité et bien différencier les échantillons.

Après nettoyage, les grains de sorgho sont décortiqués au rendement constant de 75-80 % dans le décortiqueur de laboratoire Tadd, puis broyés en farine dans le broyeur à hélices Cyclotec muni de la grille de 500 micromètres (Fliedel et Yajid, 1992). La granulométrie moyenne de la farine est d'environ 75-100 μm . Le décortilage et le broyage sont effectués systématiquement la veille, car la consistance du tô diminue avec le temps de stockage de la farine, même au froid (4° C). La farine est alors dispersée dans 90 ml d'eau distillée froide et mise à cuire pendant 20 minutes dans un bain-marie sous agitation mécanique (400 tours par minute), les proportions farine/eau (masse pour masse, m/m) étant de 16,5 % m.s. Après la cuisson, le tô est immédiatement coulé dans deux cylindres en acier posés chacun sur une plaque de verre et rehaussés d'une bande adhésive. Il

est stocké jusqu'au lendemain dans une étuve à 35 °C et 85 % d'humidité relative pour éviter la déshydratation des pâtons en surface. Le lendemain, la bande adhésive est enlevée et le surplus de tô décapité avec un fil de pêche. Un emporte-pièce permet d'obtenir un échantillon de tô de hauteur et diamètre constants (2 et 3 centimètres respectivement).

La consistance de l'échantillon de tô est mesurée à l'Instron, machine universelle de traction compression, en effectuant des tests de compression entre un piston et une plaque. Au fur et à mesure du déplacement du piston (5 mm/mn), on enregistre une force de résistance à la compression qui augmente jusqu'à la rupture du pâton. C'est cette force à la rupture (en Newtons) qui a été choisie pour évaluer la texture du tô, en raison d'une meilleure différenciation des échantillons. Plus la force à la rupture est élevée, plus le tô est ferme. Une échelle d'évaluation de la qualité du tô a été établie en relation avec des tests d'acceptabilité sur le terrain : au-delà de 12 Newtons, le tô est considéré comme bon et au-delà de 15 Newtons comme très bon ; en dessous de 10 Newtons, le tô est mou et en dessous de 7 Newtons, il est très mou.

Cette méthode a été utilisée pour tester un grand nombre de variétés en sélection. Elle nous a permis de montrer que la consistance du tô dépend non seulement de la variété mais également de la technologie mise en œuvre.

Influence du décortilage des grains

Le décortilage est une opération très importante dans la préparation du tô. Si l'on décortique progressivement deux variétés différentes en dureté, la fermeté du tô fabriqué à partir des grains décortiqués augmente avec le temps de décortilage jusqu'à un palier atteint après 11 minutes et correspondant à un rendement d'environ 70 %. Une deuxième expérience effectuée sur vingt autres variétés à cinq temps de décortilage différents montre que les valeurs du tô qui vont de moins de 5 Newtons à 14 Newtons pour les grains entiers, augmentent lorsque le rendement au décortilage diminue, jusqu'à des valeurs allant de 12 à 22 Newtons après 15 minutes de décortilage. Ainsi, quelle que soit la variété, plus le décortilage est poussé, c'est-à-dire plus les couches périphériques du grain et le germe sont bien éliminés, plus la fermeté du tô est améliorée. Ceci correspond à des farines de plus en plus pures contenant moins de fibres, lipides, matières minérales et enrichies en amidon par rapport à la matière sèche (couche à aleurone légèrement attaquée et teneur en protéines réduites). Ainsi, pour un rendement au décortilage inférieur à 75 % ou des grains décortiqués contenant moins de 2 % de lipides et moins de 1 % de matières minérales, nous n'avons pas trouvé, parmi les variétés analysées, de tô de mauvaise qualité (inférieur à 12 Newtons).

Influence de la granulométrie de la farine

La consistance du tô dépend aussi de la finesse de la farine. Plusieurs variétés ont été décortiquées au rendement constant de 75 % et les grains décortiqués broyés dans différents broyeurs pour obtenir des farines de composition identique et de granulométrie différente allant de 75 - 100 µm à plus de 900 µm. Nous avons montré que, pour une même variété, plus la farine était fine, plus le tô était ferme. Les farines très fines contiennent un taux d'amidon endommagé plus élevé que les farines grossières. Une relation positive a été établie entre la fermeté du tô et le pourcentage d'amidon endommagé. Cet effet physique d'endommagement de l'amidon dû à un broyage très fin, est plus marqué pour les variétés de bonne qualité avec une augmentation de la fermeté du tô plus importante, que pour les variétés de mauvaise qualité.

Influence des caractéristiques physico-chimiques des grains

Cette méthode de laboratoire d'évaluation de la qualité du tô a été appliquée à un grand nombre de variétés pour étudier l'effet variétal, et notamment l'importance de certaines caractéristiques physico-chimiques du grain, sur la consistance du tô. Trente deux cultivars en provenance du Mali ont été dernièrement analysés. La fermeté de leur tô varie de 6,1 à 18,3 Newtons avec une moyenne de 11,8 Newtons, balayant ainsi toute la gamme de qualité. Les résultats confirment ceux précédemment obtenus avec plusieurs autres lots de variétés.

La fermeté du tô est corrélée positivement et significativement à la teneur en amylose des grains entiers et dans une moindre mesure au rendement au décortiquage à 5 minutes et à la dureté des grains (Psi). Plus un grain est riche en amylose et dur avec un rendement au décortiquage élevé, plus le tô est de bonne qualité (tableau I). L'analyse physico-chimique des farines a montré que ce sont les caractéristiques de

l'amidon qui sont les plus hautement et significativement corrélées à la consistance du tô, notamment le pourcentage de fraction soluble à 90 °C, température de cuisson du tô (coefficient de corrélation, $r = + 0,84$) et la teneur en amylose ($r = + 0,76$) (tableau II). Un tô est d'autant plus ferme que la teneur en amylose de la farine et la solubilité des macromolécules de l'amidon à 90 °C sont plus élevées. Une autre corrélation négative a été mise en évidence entre la fermeté du tô et la teneur en matières minérales de la farine. Les matières minérales étant situées à la périphérie du grain, le meilleur tô sera obtenu avec des grains débarrassés au mieux des parties périphériques c'est-à-dire avec des grains aptes au décortiquage qui peuvent être pilés ou abrasés mécaniquement sans s'écraser.

Des régressions multiples progressives effectuées à partir de toutes les caractéristiques physico-chimiques du grain et de la farine ont confirmé l'importance de ces deux composantes sur la qualité du tô. La consistance a pu être expliquée à 80 % par la solubilité des macromolécules de l'amidon dans l'eau à 90 °C et la teneur en matières minérales de la farine. Si les variables solubilité et gonflement de l'amidon ne sont pas introduites, c'est la teneur en amylose de la farine qui explique en premier la consistance du tô suivie par la teneur en matières minérales (60 % d'explication). Ainsi les variétés à haute teneur en amylose avec un taux de solubilité de l'amidon élevé donneraient un bon tô, notamment les variétés ayant une bonne aptitude au décortiquage c'est-à-dire celles qui produisent après abrasion ou pilage une farine pure, avec un minimum de matières minérales.

Pour sélectionner des variétés de sorghos de qualité pour le tô, les sélectionneurs devront tout d'abord choisir les variétés à grains riches en amylose (supérieure à 20,5 % m.s. correspondant à des farines à teneur supérieure à 24 % m.s.) (tableau III) et parmi celles-ci ne retenir que les variétés aptes au décortiquage c'est-à-dire les plus dures ou les plus vitreuses, à rendement au décortiquage élevé.

Tableau I. Relations entre les caractéristiques physicochimiques des grains de 32 cultivars de sorgho et la fermeté du tô.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Coefficient de corrélation
Dureté des grains Psi (%)	8,7	26,7	15,6	- 0,46
Rendement au décortiquage à 5 mn (%)	37,9	90,7	73,7	0,49
Protéines N x 6,25 (% m.s.)	10,0	17,1	14,3	—
Lipides (% m.s.)	2,8	5,3	4,1	—
Matières minérales (% m.s.)	1,1	2,4	1,8	—
Amylose (% m.s.)	17,4	23,2	20,7	0,67
Température de fin de gélatinisation (° C)	93,1	98,9	95,1	—
Fermeté du tô (N)	6,1	18,3	11,8	1

Tableau II. Relations entre les caractéristiques physico-chimiques de la farine de 32 cultivars de sorgho et la fermeté du tô.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Coefficient de corrélation
Protéines N x 6.25 (% m.s.)	11,2	17,4	14,0	—
Lipides (% m.s.)	2,1	4,2	2,9	—
Matières minérales (% m.s.)	0,8	1,8	1,2	- 0,61
Amylose (% m.s.)	19,7	26,4	23,8	0,76
Température de fin de gélatinisation (°C)	92,4	96,8	94,4	—
Solubilité de l'amidon (% m.s.)	6,6	30,3	20,1	0,84
Gonflement de l'amidon (g d'H2O % m.s.)	8,6	11,9	10,4	0,50
Viscosité apparente (unité Rva)	10	57	36	—
Fermeté du tô (N)	6,1	18,3	11,8	L

Tableau III. Relations entre la teneur en amylose de 32 cultivars de sorgho et la qualité du tô.

Force à la rupture (N)	Amylose du grain (% m.s.)	Amylose de la farine (% m.s.)	Groupes homogènes Test de Newman-Keuls (5 %)	Qualité du tô
> 18	> 22,5	> 26	A	Très très ferme
18 - 15	22,5 - 21,5	26 - 25	B	Très ferme
15 - 12	21,5 - 20,5	25 - 24	C	Ferme
12 - 10	20,5 - 19,5	24 - 23	D	Moyen
10 - 7	19,5 - 18,5	23 - 21	E	Mou
< 7	< 18,5	< 21	F	Très mou

Evaluation de la qualité du bogobe

Le bogobe au Botswana, comme le tô en Afrique de l'Ouest (Sabumukama, 1996), est une bouillie consistante consommée aux principaux repas, accompagnée d'une sauce à base de légumes, de viande ou de poisson. Il diffère de celui-ci par la granulométrie et la concentration de la farine et par son mode de préparation. Les principaux critères de qualité du bogobe sont, après le goût, la consistance qui doit être très ferme ou ferme, la granulométrie de la farine qui doit être un mélange de particules fines et grossières, et la couleur : la farine blanche est préférée.

Le procédé traditionnel de préparation du bogobe est beaucoup plus simple que celui du tô. La femme verse directement la farine dans de l'eau bouillante tout en remuant avec un fouet traditionnel ou une cuillère en bois pour éviter la formation de grumeaux. Elle couvre ensuite la marmite tout au long de la cuisson qui peut durer de 20 à 45 minutes, avec toutefois deux agitations en début et en fin de cuisson. La fin de la cuisson est appréciée visuellement. Les proportions de farine et d'eau sont de 30/70 mais peuvent aller jusqu'à 50/50. Généralement il y a 35 % m.s de farine alors que pour le tô on a environ 20-25 % m.s. pour une durée de cuisson de

a environ 20-25 % m.s. pour une durée de cuisson de 20 minutes seulement.

Au laboratoire, la cuisson du bogobe a été réalisée pendant 20 minutes dans un bécher en acier de 250 ml posé à même la plaque chauffante. Les grains ont été au préalable décortiqués au rendement constant de 75 % puis broyés avec les deux broyeurs de laboratoire Cyclotec (grille de 1 mm) et Cemotec (réglage 1) dans des proportions respectives de 30 et 70 %, afin que la farine résultante ait une granulométrie similaire à celle d'une farine traditionnelle ou commerciale (constituée d'un mélange de particules fines et grossières). Comme dans le cas de la méthode traditionnelle, la farine est versée petit à petit dans l'eau bouillante tout en remuant avec une fourchette pour éviter la formation de grumeaux. Le bécher est couvert avec une capsule de verre et le réglage du chauffage de la plaque réduit. Deux agitations sont effectuées 5 minutes après le début et 5 minutes avant la fin de la cuisson. Les proportions farine/eau retenues sont les suivantes : 30 grammes de farine à 12 % d'humidité et 60 ml d'eau distillée, soit 44 % (m/m) de farine sèche.

La consistance du bogobe a été évaluée avec l'Instron en effectuant des tests d'extrusion. Après cuisson, la bouillie est immédiatement placée dans la cellule d'extrusion et est extrudée à travers une plaque perforée avec un piston qui se déplace à vitesse constante

(100 mm/mn). On enregistre dans un premier temps une force de résistance à la compression qui augmente au fur et à mesure du déplacement du piston jusqu'à ce que la bouillie passe au travers de la grille. La force constante d'extrusion enregistrée à ce moment là a été retenue pour évaluer la consistance du bogobe : plus la force d'extrusion (en Newtons) est élevée, plus la bouillie est consistante. Tous les paramètres, notamment la quantité d'eau, la concentration en farine et le temps de repos avant l'extrusion, ont été optimisés afin d'avoir une méthode répétable qui différencie bien les échantillons.

Cette méthode a été mise au point à partir de quatre farines commerciales ou traditionnelles et neuf variétés du Botswana, puis a été appliquée à trente et une variétés traditionnelles ou en sélection provenant de l'Icrisat du Zimbabwe et du Botswana. Avec une analyse de variance, ces variétés ont été classées, en fonction de la consistance du bogobe, en quatre groupes significativement différents au seuil de 5 % par le test de Newman-Keuls : le groupe dont la force d'extrusion est supérieure à 26 Newtons, celui dont la force est inférieure à 16 Newtons et deux groupes intermédiaires regroupant la majorité des individus (entre 16 et 22 Newtons, et entre 22 et 26 Newtons).

Des travaux sont en cours pour identifier les composantes du grain reliées à consistance de cette bouillie.

Références bibliographiques

FLIEDEL G., 1994. Evaluation de la qualité du sorgho pour la fabrication du tô. *Agriculture et développement*, 4 : 12-21.

FLIEDEL G., YAJID M., 1992. Effect of milling on sorghum tô quality. *In proceedings of the 9th International Cereal and Bread Congress, 5th quadrenal symposium on sorghum and millet*, Paris, France, June 1-5, 1992, p. 73-86. Association internationale des sciences et technologies céréalières, Paris, France.

SABUMUKAMA C., 1996. Mise au point d'une méthode de laboratoire pour la préparation et l'évaluation de la texture d'un plat traditionnel à base de sorgho, le « bogobe » du Botswana. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Industries Agro-Alimentaires Ensia-Siarc, Montpellier, France, 50 p.