

Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
Rome, 1995

Droits d'auteur

La reproduction totale ou partielle, sur support numérique ou sur papier, de cet ouvrage pour usage personnel ou pédagogique est autorisée par la présente, sans frais ou sans qu'il soit nécessaire d'en faire une demande officielle, à condition que ces reproductions ne soient pas faites ou distribuées pour en tirer un bénéfice ou avantage commercial et que cet avis et la citation complète apparaissent à la première page des dites reproductions. Les droits d'auteur pour les éléments de cet ouvrage qui sont la propriété de personnes physiques ou morales autres que la FAO doivent être respectés. Toute autre forme de reproduction, de republication, d'affichage sur serveurs électroniques et de redistribution à des listes d'abonnés doit faire l'objet d'une permission préalable expresse et/ou du paiement de certains frais.

Adresser les demandes d'autorisation à publier à:

Le rédacteur en chef
FAO, Via delle Terme di Caracalla
00100 Rome, Italy
adresse e-mail: copyright@fao.org

Table des matières

[Avant-propos](#)

[Préface](#)

[Chapitre 1 - Introduction](#)

[Sorgho](#)

[Mil chandelle](#)

[Mils mineurs](#)

[Les grains et leur structure](#)

[Chapitre 2 - Production et utilisation](#)

[Production de sorgho](#)

[Utilisation du sorgho](#)

[Production de mil](#)

[Utilisation du mil](#)

[Tendances régionales de la production et de l'utilisation du sorgho et des mils](#)

[Chapitre 3 - Stockage et transformation](#)

[Stockage](#)

[Méthodes traditionnelles de transformation](#)

[Transformation industrielle](#)

[Chapitre 4 - Composition chimique et valeur nutritive](#)

[Variation de la composition des grains](#)

[Hydrates de carbone](#)

[Teneur en protéines et qualité](#)

[Composition lipidique](#)

[Sels minéraux](#)

[Vitamines](#)

[Fibre alimentaire](#)

[Chapitre 5 - Qualité nutritionnelle des aliments préparés à partir du sorgho et des mils](#)

[Préparations culinaires](#)

[Amélioration de la qualité nutritionnelle](#)

[Autres usages du sorgho et des mils](#)

[Chapitre 6 - Inhibiteurs nutritionnels et facteurs toxiques](#)

[Phytates](#)

[Polyphénols](#)

[Inhibiteurs d'enzymes digestives](#)

[Éléments goitrogènes](#)

[Déséquilibre des acides aminés et pellagre](#)

[Fluorose, urolithiase et autres oligo-éléments](#)

[Mycotoxines](#)

[Infestation](#)

[Conclusion](#)

[Annexe: Quelques recettes à base de sorgho et de mils](#)

[Bibliographie \(A - K\)](#)

[Bibliographie \(L - Z\)](#)

[Home":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">](#)

Avant-propos

[Table des matières](#) - [Suivante](#) >

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Catalogage avant publication de la Bibliothèque David Lubin FAO, Rome (Italie)

Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine
(Collection FAO: Alimentation et nutrition, no 27)
ISBN 92-5-203381-5

1. Sorgho
 2. Millet
 3. Nutrition humaine
- I. Titre
II. Série

Code FAO: 86
AGRIS: SOI

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, mise en mémoire dans un système de recherche documentaire ni transmise sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit: électronique, mécanique, par photocopie ou autre, sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur. Toute demande d'autorisation devra être adressée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, et comporter des indications précises relatives à l'objet et à l'étendue de la reproduction.

Préface

Pour des millions d'habitants des zones tropicales semiarides d'Asie et d'Afrique, le sorgho et les mils sont les aliments les plus importants. Leur culture permet aux ruraux les plus pauvres de subsister et continuera de le faire dans l'avenir prévisible. Le sorgho et les mils poussent dans des environnements difficiles où d'autres cultures ne viennent pas bien. Des améliorations de la production, de la disponibilité, du stockage, de l'utilisation et de la consommation de ces cultures vivrières contribueront de façon significative à la sécurité alimentaire des ménages et à la nutrition des habitants de ces régions.

Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine vient s'ajouter à la collection FAO d'études sur la nutrition. Cet ouvrage constitue un vaste tour d'horizon de l'histoire et de la nature du sorgho et des mils ainsi que de leur production, de leur utilisation et de leur consommation. Il fournit des informations détaillées sur la valeur nutritive, la composition chimique, le stockage et la transformation de ces denrées alimentaires. Il fait aussi le point sur les facteurs antinutritionnels présents dans ces plantes et les moyens de réduire les risques qu'ils impliquent pour la santé. Les auteurs ont décrit la composition de divers aliments courants préparés à partir du sorgho et des mils, leur composition et leurs qualités nutritives et ont recueilli de nombreuses recettes provenant des régions où le sorgho et les mils sont des produits alimentaires de base. A tout cela s'ajoute une importante bibliographie.

Les lecteurs de cet ouvrage peuvent également s'intéresser aux normes établies par la Commission du Codex Alimentarius pour le sorgho en grains et en farine et le mil chandelle en grains et en farine dans le cadre du Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires'.

La FAO tient à remercier l'Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (ICRISAT) pour sa collaboration et son aide dans la préparation de cet ouvrage. Elle exprime sa reconnaissance pour les contributions apportées par le docteur R. Jambunathan et le docteur V. Subramanian, tous deux de l'ICRISAT, aux chapitres 1, 2, 3 et 5 et par le docteur Y.G. Deosthale du National Institute of India pour la préparation des chapitres 4 et 6 ainsi que de l'annexe.

Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine vise à donner aux scientifiques, aux responsables officiels, aux vulgarisateurs, aux professeurs d'université et aux autres personnes intéressées des informations scientifiques et pratiques jour concernant ces denrées alimentaires. Nous espérons que ce texte les aidera à élaborer des programmes de formation pour leur personnel et leurs étudiants.

J.R. Lupien

Directeur

Division de l'alimentation et de la nutrition

¹Commission du Codex Alimentarius 1990. Normes Codex pour les céréales, les légumineuses secs, les légumineuses et les produits dérivés. Supplément 1 du volume XVIII du Codex Alimentarius. Rome, FAO/OMS. 33 p.

Chapitre 1 - Introduction

Le sorgho et les mils sont depuis des siècles d'importantes denrées alimentaires de base dans les régions tropicales semi-arides d'Asie et d'Afrique. Ils restent les principales sources d'énergie, de protéines, de vitamines et de sels minéraux pour des millions d'habitants parmi les plus pauvres de ces régions

Le sorgho et les mils poussent dans des environnements difficiles où d'autres cultures viennent mal. Ils sont cultivés par une multitude de petits agriculteurs dans de nombreux pays, avec des ressources en eau limitées et généralement sans application d'engrais ou d'autres intrants. Comme ils sont essentiellement consommés par les groupes défavorisés, on les appelle souvent céréales secondaires ou cultures du pauvre. En général, ils ne sont pas commercialisés à l'échelle internationale ni même sur les marchés locaux de nombreux pays, ce qui fait que les agriculteurs ont rarement des débouchés assurés en cas de production excédentaire.

Les céréales décrites dans cet ouvrage sont le sorgho, le mil chandelle, l'aleusine, le millet des oiseaux, le millet commun, le petit mil, le moha du Japon et le millet indigène (tableau 1). Le teff (*Eragrostis tef*), très cultivé en Éthiopie, n'est pas exactement un mil et n'est donc pas inclus. D'autres mils d'importance mineure, tels que la digitale (*Digitaria exilis*) et les larmes de Job (*Coix lacryma-Jobi*), ne sont pas non plus décrits.

Sorgho

Le sorgho, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, est connu sous divers noms: grand mil et herbe de Guinée en Afrique de l'Ouest, blé kafir en Afrique du Sud, dura au Soudan, mtama en Afrique orientale, jowar en Inde et kaoliang en Chine (Purseglove, 1972). Aux Etats-Unis, on l'appelle généralement milo ou milo-maïs (tableau 1). Le sorgho appartient à la tribu Andropogonae de la famille des graminées Poaceae. La canne à sucre, *Saccharum officinarum* en fait partie et est très voisine du sorgho. Le genre *Sorghum* est caractérisé par des épillets ou spicules portés par paires. Il est traité comme une plante annuelle bien qu'il s'agisse d'une plante pérenne, et dans les tropiques on peut le récolter plusieurs fois par an.

TABLEAU 1 - Origines et noms communs du sorgho et des mils

Culture	Noms communs	Origine supposée
<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgho, grand mil, herbe de Guinée, kafir, dura, mtama, jowar, cholam, kaoliang, milo, milo-maïs	Quart nord-est de l'Afrique (frontière soudano-thiopienne)
<i>Pennisetum glaucum</i>	Mil chandelle, mil perlé, cumbu, mil à spicules, bajra	Afrique occidentale tropicale
<i>Eleusine coracana</i>	Eleusine cultivée, mil africain, koracan, ragi, wimbi, bulo, telebun	Ouganda ou région avoisinante
<i>Setaria italica</i>	Millet des oiseaux, millet d'Italie, millet d'Allemagne, millet de Hongrie, millet de Sibérie	Asie de l'Est (Chine)
<i>Panicum miliaceum</i>	Millet commun, mil	Asie centrale et orientale

Panicum sumatrense	Petit mil	Asie du Sud-Est
Echinochloa crus-galli	Moha du Japon	Japon
Paspalum scrobiculatum	Millet indigène	Inde

En 1753, Linné décrit dans son *Species Plantarum* trois espèces de sorgho cultivé : *Holcus sorghum*, *Holcus saccharatus* et *Holcus bicolor*. En 1794, Moench distinguait le genre *Sorghum* du genre *Holcus*, et en 1805 Person a suggéré le nom de *Sorghum vulgare* pour *Holcus sorghum* (L.). En 1961, Clayton a proposé le nom de *Sorghum bicolor* (L.) Moench pour le sorgho cultivé, et c'est ce nom qui est actuellement utilisé.

La classification du sorgho par Snowden (1936) est détaillée et complète. Les autres classifications proposées depuis lors n'ont été que des modifications ou des adaptations du système Snowden. Harlan et de Wet (1972) ont publié une classification simplifiée du sorgho, qui a été vérifiée sur 10 000 échantillons. Ils ont divisé le sorgho cultivé en cinq races ou groupes fondamentaux : *bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *kafir* et *durra*. Le type sauvage et la canne à sucre sont considérés comme deux autres types de spicules de *S. bicolor*. Une étude du polymorphisme de 11 enzymes a permis la classification du sorgho en trois groupes enzymatiques. Le premier comprend essentiellement les variétés guinéennes d'Afrique de l'Ouest; le deuxième, les variétés d'Afrique australe des cinq races; et le troisième, les variétés *durra* et *caudatum* d'Afrique centrale et orientale (Ollitrault, Escoute et Noyer, 1989).

Le sorgho cultivé d'aujourd'hui provient de son ancêtre sauvage appartenant à la sous-espèce *verticilliflorum*. La plus grande variation dans le genre *Sorghum* s'observe dans la région qui comprend l'Éthiopie, le Soudan et l'Afrique orientale du quart nord-est de l'Afrique (Doggett, 1988). Il apparaît que le sorgho est arrivé d'Éthiopie en Afrique orientale aux environs de 200 après J.-C. ou même avant. Il a été adopté et transporté dans les pays de savane de l'Afrique orientale et australe par les Bantous, qui utilisaient le grain essentiellement pour faire de la bière. Les Bantous, qui ont probablement commencé leur expansion à partir de la région du sud du Cameroun vers le premier siècle après J.-C., se sont déplacés le long de la frontière sud de la ceinture forestière du Congo et ont atteint l'Afrique orientale peut-être avant 500 après J.-C. Les sorghos actuels d'Afrique centrale et australe sont très proches de ceux de la République-Unie de Tanzanie et plus éloignés de ceux de l'Afrique de l'Ouest, les forêts équatoriales ayant constitué un obstacle efficace à cette expansion.

On dit que le sorgho a existé en Inde vers l'an 1000 avant notre ère. Il a probablement été transporté d'Afrique orientale en Inde au cours du premier millénaire avant notre ère. Au début, il était vraisemblablement transporté dans les

bateaux comme aliment de bord. L'Afrique orientale (côte azanique) et l'Inde ont été reliées pendant environ 3 000 ans par des bateaux appelés dhaws, via le couloir sabbéen en Arabie du Sud. Les sorghos de l'Inde sont proches de ceux de l'Afrique du Nord-Est et de la côte située entre le cap Guardafui et le Mozambique.

L'extension le long de la côte de l'Asie du Sud-Est et autour de la Chine peut s'être produite vers le début de l'ère chrétienne, mais il est aussi possible que le sorgho soit arrivé beaucoup plus tôt en Chine par les routes de la soie.

Le sorgho en grains semble être arrivé en Amérique sous forme d'herbe de Guinée provenant d'Afrique de l'Ouest avec les marchands d'esclaves vers le milieu du 19^e siècle. Bien qu'il soit arrivé en Amérique latine par le commerce des esclaves et les navigateurs qui parcouraient la route commerciale Europe-Afrique-Amérique latine au 16^e siècle, sa culture n'y a pris de l'importance qu'au 20^e siècle. Il en va de même pour l'Australie.

Le sorgho en grains, cultivé essentiellement pour les usages alimentaires, peut se diviser en milo, kafir, hegari, feterita et hybrides (Purseglove, 1972). Il y a d'autres catégories de sorgho telles que sorghos herbacés, sorgho balais et sorghos d'usage spécial.

La couleur du grain de sorgho varie de blanc ou jaune pâle à brun-rouge profond, en passant par différentes tonalités de rouge et de brun. Le grain est partiellement couvert de glumes. Le caryopse est arrondi et présente une pointe; il a de 4 à 8 mm de diamètre et varie en dimension et en forme (Purseglove, 1972). Le poids du sorgho pour 1 000 grains varie dans une fourchette très étendue qui va de 3 à 80 g. mais dans la majorité des valeurs nutritives. Le grain de sorgho qui possède un testa contient du tanin en proportions diverses selon la variété.

Mil chandelle

Le mil chandelle, *pennisetum glaucum*, est également connu sous le nom de mil perlé, bajra (Inde), mil épis, setaire et scirpe (Purseglove, 1972). Le mil chandelle comprend un certain nombre de races cultivées, mais on peut les considérer comme une seule espèce collective. Ce mil est presque certainement originaire de l'Afrique occidentale tropicale; on y trouve le plus grand nombre de formes aussi bien sauvages que cultivées. Il y a environ 2 000 ans, cette culture a été transportée en Afrique orientale et centrale et en Inde, en raison de son excellente tolérance à la sécheresse, elle s'est établie dans les environnements les plus secs.

La hauteur de la plante peut varier de 0,5 à 4 m, et le grain peut être presque blanc, jaune pâle, brun, gris, bleu ardoise ou pourpre. Les grains ovales sont longs d'environ 3 à 4 mm, beaucoup plus grands que ceux des autres mils, et le poids pour 1 000 grains varie de 2,5 à 14 g. avec une moyenne de 8 g. La taille est d'environ un tiers de celle du sorgho. La proportion relative du germe par rapport à l'endosperme est plus élevée que dans le sorgho.

Mils mineurs

Les mils mineurs, que l'on appelle également petits mils (Seetharam, Riley et Harinarayana, 1989), ont beaucoup moins retenu l'attention que le sorgho sur les plans de la culture et de l'utilisation. Ils comprennent l'éléusine (Eleusine coracana), le millet d'Italie ou millet des oiseaux (*Setaria italica*), le millet indigène (*Paspalum scrobiculatum*), le millet commun (*Panicum miliaceum*), le petit mil (*Panicum sumatrense*) et le moha du Japon (*Echinochloa crus-galli*) (tableau 1). C'est sur l'éléusine que l'on a le plus d'informations. Les mils mineurs représentent moins de 1 pour cent des céréales alimentaires produites dans le monde aujourd'hui. Ils ne sont donc pas importants en termes de production vivrière mondiale, mais sont essentiels en tant que cultures vivrières dans leurs agro-écosystèmes respectifs. Ils sont essentiellement cultivés dans les zones marginales ou dans des conditions d'agriculture où les céréales principales ne donnent pas de rendements viables. Purseglove (1972) donne des descriptions détaillées de ces différents mils.

Eleusine cultivée

L'éléusine cultivée, *Eleusine coracana* L. est également connue sous les noms de mil africain, koracan, ragi (Inde), wimbi (Swahili), bulo (Ouganda) et telebun (Soudan). C'est une importante denrée de base dans certaines parties de l'Afrique orientale et centrale ainsi qu'en Inde. C'est la principale céréale dans le nord de l'Ouganda et certaines parties de l'ouest de ce pays, ainsi que dans le nord-est de la Zambie. Les grains sont maltés pour la fabrication de bière. L'éléusine peut être stockée plus longtemps sans être attaquée par les insectes (Purseglove, 1972), ce qui en fait une céréale importante en période de famine. De nombreux cultivars ont été identifiés. En Inde et en Afrique, on connaît deux groupes: les types africains de montagne, dans lesquels les grains sont enclos dans les fleurettes, et les types afro-asiatiques dans lesquels les grains mûrs sont exposés en dehors des fleurettes. On pense que l'Ouganda, ou une région voisine, est le centre d'origine d'*E. coracana*, qui a été introduite en Inde très tôt, probablement il y a plus de 3 000 ans. Bien que l'on dise que l'éléusine a atteint l'Europe vers le commencement de l'ère chrétienne, son utilisation est essentiellement restreinte à l'Afrique orientale et à l'Inde.

La hauteur des cultivars varie de 40 cm à 1 m et la longueur des épis de 3 à 13 cm. La couleur des grains peut aller du blanc jusqu'à une teinte presque noire, en passant par l'orange-rouge, le brun profond et le pourpre. Le grain est plus petit que celui du mil chandelle, et le poids moyen de 1 000 grains est d'environ 2,6 g.

Millet des oiseaux

Le millet des oiseaux, *Setaria italica* L. est également connu sous le nom de millet d'Italie, d'Allemagne, de Hongrie, de Sibérie. On considère généralement qu'il a été domestiqué en Asie de l'Est, où il est cultivé depuis la plus haute antiquité. La principale zone de production est la Chine, mais *S. italica* est la variété de mil la plus importante au Japon et elle est largement cultivée en Inde (Purseglove, 1972). On pense que c'était l'une des cinq plantes sacrées de la Chine ancienne depuis 2 700 ans avant notre ère. En raison de sa brève durée, cette culture convient aux nomades, et c'est probablement ainsi qu'elle a été amenée en Europe à l'âge de pierre, car les semences abondent dans les cités lacustres d'Europe.

La hauteur du plant varie de 1 à 1,5 m, et le grain peut être jaune clair, orange, rouge, brun ou noir. Le poids pour 1 000 grains est d'environ 2 g.

Millet commun

Le millet commun, *Panicum militaceum* L., est aussi appelé mil, sorgho balais, mil russe. De culture ancienne, c'est le milium des Romains et le millet connu dans l'histoire. Il a été cultivé par les anciens habitants des cités lacustres en Europe. On pense qu'il a été domestiqué en Asie centrale et orientale et qu'en raison de son aptitude à mûrir rapidement il a souvent été cultivé par les nomades.

Il s'agit d'une plante à racines peu profondes, qui varie en hauteur de 30 à 100 cm. Le grain contient un pourcentage relativement plus élevé de fibres non digestibles, car il est enfermé dans son enveloppe et difficile à séparer par les processus traditionnels. Le poids pour 1 000 grains est d'environ 5 g (il varie entre 4,7 et 7,2 g). Le millet commun convient particulièrement au climat continental sec et pousse dans des climats plus tempérés que les autres mils.

Petit mil

Le petit mil, *Panicum sumatrense* Roth ex Roemer & Schultes, fait l'objet d'une culture limitée dans toute l'Inde, jusqu'à des altitudes de 2 100 m, mais il est peu important ailleurs. Il a assez peu retenu l'attention des reproducteurs. Le plant varie en hauteur de 30 à 90 cm, et son panicule oblong varie en longueur de 14 à 40 cm. Les graines du petit mil sont plus petites que celles du mil commun.

Moha du Japon

Le moha du Japon [*Echinochloa crus-galli* (L.) P. B. et *Echinochloa colona* (L.) Link] est le mil qui présente la croissance la plus rapide de tous: il produit une récolte en six semaines. On le cultive en Inde, au Japon et en Chine en remplacement du riz lorsque le paddy ne pousse pas. Il est cultivé comme fourrage aux Etats-Unis et peut produire jusqu'à huit récoltes par an. Cette plante a attiré une certaine attention en tant que fourrage aux Etats-Unis et au Japon. La hauteur du plant varie de 50 cm à 1 m.

Millet indigène

Le millet indigène, *Paspalum scrobiculatum* L., est une céréale mineure dans toute l'Inde, sauf sur le plateau du Deccan où il revêt une grande importance. Sa culture est généralement limitée au Gujarat, au Karnataka et à certaines parties du Tamil Nadu. Il se classe dans les groupes Haria, Choudharia, Kodra et HariaChoudharia selon les caractères du panicule, Le millet indigène est une graminée en touffe annuelle qui atteint 90 cm de haut. On a signalé que certaines formes étaient un poison pour l'homme et les animaux, probablement cause d'une infection fongique de la graine. Celle-ci est enfermée dans un involucre dur, coriace, persistant, difficile à retirer. La couleur de la graine peut varier du rouge clair au gris sombre.

[Table des matières - Suivante](#) >

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Les grains et leur structure

[Table des matières](#) - <[Précédente](#) - [Suivante](#)>

Les grains de sorgho et de mil se caractérisent par une diversité considérable de couleurs, de formes, de dimensions et de certains éléments anatomiques (tableau 2).

La structure de base des grains est analogue dans le sorgho et les différents mils. Les principaux éléments anatomiques sont le péricarpe, le germe ou embryon et l'endosperme. Dans l'éléusine, le millet commun et le millet des oiseaux, le péricarpe est comme un sac, lié par un seul point d'attache à l'endosperme. Dans ces grains de type utricule, le péricarpe se détache facilement, laissant l'endosperme intérieur protégé par l'enveloppe de la graine ou testa. Les grains de sorgho et de mil chandelle sont du type caryopse, où le péricarpe est complètement fusionné avec l'endosperme. La distribution relative des trois principaux éléments varie. Pour le sorgho, la répartition selon le poids est de 6 pour cent pour le péricarpe, 84 pour cent pour l'endosperme et 10 pour cent pour le germe (Hubbard, Hall et Earle, 1950). Dans le mil chandelle, le péricarpe représente 8,4 pour cent, l'endosperme 75 pour cent et le germe 16,5 pour cent (Abdelrahman, Hosene et Varriano-Marston, 1984). Dans le mil chandelle, le rapport endosperme/germe est de 4,5:1, tandis que dans le grain de sorgho il est de 8,4:1. Dans l'éléusine et le millet commun, le germe est très petit, et par conséquent le rapport endosperme/germe est beaucoup plus élevé que dans le sorgho, soit 11:1 et 12:1.

TABLEAU 2 - Caractéristiques structurelles des graines de sorgho et de certains mils

Graine	Type	Forme	Couleur	Pois de 1000 graines (g)
Sorgho	Caryopse	Sphérique	Blanc, jaune, rouge, brun	25-30
Mil chandelle	Caryopse	Ovoïde, hexagonale, globeuse	Gris, blanc, jaune, brun, pourpre	2,5-14
Eleusine	Utricule	Globeuse	Jaune, blanc, rouge, brun, violet	2,6
Millet commun	Utricule			4,7-7,2

Millet des oiseaux	Utricule			1,86
--------------------	----------	--	--	------

Graine	Enveloppe de la graine			Aleurone	
	Nombre de couches	Pygmanté	Epaisseur (µm)	Nombre de couches	Dimension des cellules (µm)
Sorgho	1	Parfois	0,4	1	
Mil chandelle	1	Parfois	0,4	1	16 30 x 5-15
Eleusine	5	Oui	10,8-24,2	1	18 x 7,6
Millet commun	1	Non	0,2-0,4	1	12 x 6
Millet des oiseaux	1			1	

Graine	Granules d'amidon					Corps protéiques	
	Diamètre (µm)	Zone périphérique (µm)	Zone cornée (µm)	Zone farineuse (µm)	Type	Dimension (µm)	Localisation
Sorgho	20-30				Simple	0,3-3	Toutes zones
Mil chandelle	10-12	6,4	6,4	7,6	Simple	0,6-0,7	Toutes zones
Eleusine	3-21	8-16,5	3-19	11-21	Simple/composé	2,0	Périphérique/cornée
Millet	2-10	3,9	4,1	4,1	Simple	0,5-1,7	Périphérique

commun Millet des oiseaux	10						
------------------------------------	----	--	--	--	--	--	--

Graine	Germe	
	Dimension (μ m)	Rapport endosperme/germe
Sorgho		8,4 :1
Mil chandelle	1 420 x 620	4,5:1
Eleusine	980 x 270	11:1
Millet commun	1 100 x 310	12:1
Millet des oiseaux		12:1

Péricarpe

Le péricarpe est la structure extérieure du caryopse et se compose de trois sous-couches: l'epicarpe le mésocarpe et l'endocarpe. L'epicarpe est lui-même divisé en épiderme et hypoderme. Dans le caryopse du sorgho, l'épiderme est composé de cellules épaisses, allongées et rectangulaires, dont la surface extérieure est revêtue de cutine. Un pigment est souvent présent dans l'épiderme. L'hypoderme est composé de cellules légèrement plus petites que l'épiderme, et son épaisseur varie entre une et trois couches de cellules. Le mésocarpe est la partie intermédiaire et la couche la plus épaisse du péricarpe de sorgho, mais son épaisseur varie beaucoup selon les génotypes. La résistance du sorgho à la moisissure est fonction de la finesse du mésocarpe. Les grains qui présentent un mésocarpe épais sur un endosperme dur sont choisis de préférence lorsqu'on veut décortiquer en pilant à la main. L'endocarpe, sous-couche intérieure du péricarpe, se compose de cellules transversales et d'une couche de cellules tubulaires qui transportent l'humidité dans le grain. Au cours de la mouture sec du sorgho, il y a rupture de l'endroit des couches de cellules transversales et tubulaires.

Le péricarpe du caryopse de mil chandelle se compose aussi d'un épicarpe comportant des couches d'une ou deux cellules, d'un mésocarpe dont l'épaisseur varie selon les facteurs génétiques et d'un endocarpe composé de cellules transversales

et tubulaires. La couche du mésocarpe du mil chandelle ne contient pas de granules d'amidon, qu'on ne trouve que dans le mésocarpe du sorgho. Au cours du décorticage ou du broyage, le péricarpe du mil chandelle se rompt à l'endroit des couches de cellules transversales et tubulaires, et il se peut que des fragments d'endocarpe restent attachés à l'endosperme.

Enveloppe de la graine ou testa

Juste en dessous de l'endocarpe, on trouve la couche dite testa ou enveloppe de la graine. Dans certains génotypes de sorgho, le testa est fortement pigmenté. La présence de pigment et la couleur représentent un caractère génétique. L'épaisseur de la couche n'est pas uniforme. Elle est épaisse près de la couronne du grain et fine près de l'embryon. Dans certains génotypes, il y a un testa partiel, tandis que dans d'autres on ne le voit pas ou bien il est absent. Dans le mil chandelle, la couche de testa est fine et parfois pigmentée. Dans les autres mils, le testa est toujours pigmenté et n'a qu'une seule couche d'épaisseur. Dans l'éléusine, le testa est très épais, avec des couches de cinq cellules, et il est également pigmenté.

Endosperme

L'élément le plus volumineux du grain de céréale est l'endosperme, qui est un important tissu de réserve. Il se compose d'une couche d'aleurone ou assise protéique et de zones périphériques cornées et farineuses. Dans tous les mils et le sorgho, l'aleurone est constituée d'une seule couche de cellules, qui se situe juste en dessous de l'enveloppe de la graine ou spermodermis. Les cellules d'aleurone sont riches en sels minéraux, en vitamines du complexe B et en huile; elles contiennent quelques enzymes hydrolysantes.

L'endosperme périphérique se distingue par ses longues cellules rectangulaires qui forment un ensemble compact et contiennent des granules d'amidon et des corps protéiques imbriqués dans la matrice protéique. L'amidon de ces cellules n'est donc pas facilement disponible pour la digestion par les enzymes, moins que la protéine qui lui est associée soit également réduite (Chandrashekar et Kirleis, 1988). La matrice protéique est en général une glutéline soluble dans l'alcali, et les corps protéiques sont des prolamines solubles dans l'alcool, qui représentent la plus forte proportion des protéines totales du grain.

Les corps protéiques dans l'endosperme du sorgho et d'autres mils sont sphériques; leur dimension diffère selon les

espèces et également l'intérieur de l'endosperme du même grain de mil. Dans le sorgho, le nombre de corps protéiques diminue en proportion inverse du contenu d'amidon, depuis la zone périphérique vers le noyau central où se trouve l'endosperme farineux. Dans le mil chandelle, les corps protéiques sont plus nombreux dans la zone farineuse que dans la zone cornée. Adams, Novellie et Liebenberg (1976) ont signalé la présence de plusieurs enzymes dans les corps protéiques du sorgho, notamment protéases, triglucosidases, trigalactosidases et phosphatases. Les corps protéiques du sorgho, du mil chandelle et de l'leusine contiennent également du phosphore, du calcium, du potassium et du magnésium.

Les granules d'amidon de l'endosperme corné sont polyédriques et de taille différente selon les espèces de mil. Dans l'endosperme farineux, les granules d'amidon sont sphériques et relativement plus gros que les granules d'amidon de la zone cornée. Dans la zone farineuse, l'amidon est plus facile à digérer par les enzymes. Dans le mil chandelle et l'leusine, les granules d'amidon de l'endosperme farineux sont sphériques et gros. L'amidon du mil chandelle est hydrolysé plus lentement que celui du sorgho par l'amylase pancréatique du porc (Sullins et Rooney, 1977).

Les proportions d'endosperme corné et d'endosperme farineux déterminent la texture du grain de mil. Dans les grains à texture tendre, il y a plus d'endosperme farineux que d'endosperme corné; en revanche, les grains à texture dure contiennent plus d'endosperme corné à forte densité que d'endosperme farineux. Le millet des oiseaux contient très peu d'endosperme farineux et possède une texture cornée et dure. Avec un endosperme également divisé en zones cornée et farineuse, les grains de millet commun et d'leusine sont de texture intermédiaire. Dans le mil chandelle et le sorgho, la texture varie beaucoup, d'un endosperme entièrement farineux très tendre à un endosperme entièrement corné, très dur ou vitreux.

La texture du grain est l'un des paramètres les plus importants de la qualité alimentaire et de transformation du sorgho et des mils (Rooney, Kirleis et Murty, 1986). Une fois décortiqué, le sorgho à endosperme dur donne moins de grains brisés et plus de grains entiers que le sorgho à endosperme plus tendre (Desikachar, 1982). Avec le procédé de mouture à sec, le rendement de farine est plus élevé dans les types cornés que dans les types farineux tendres. En revanche, dans la mouture humide, le rendement d'amidon est plus élevé dans les génotypes à endosperme tendre. Dans la préparation de porridge épais, on préfère les variétés possédant une proportion plus élevée d'endosperme vitreux. Ces variétés conviennent également pour être grillées (Chandrashekar et Desikachar, 1986; Murty, Patil et House, 1982). Pour la confection de pain, fermenté ou non, la farine du sorgho à endosperme tendre est très nettement préférable (Rooney,

Kirleis et Murty, 1986).

Germe

L'axe embryonnaire et le scutellum sont les deux parties principales du germe. Le scutellum est un tissu de réserve riche en lipides, protéines, enzymes et sels minéraux. Dans le mil chandelle, la proportion de germe par rapport à l'endosperme est plus forte que dans le sorgho et les grains des autres mils. L'huile présente dans le germe de sorgho est riche en acides gras polyinsaturés et analogue à l'huile de maïs (Rooney, 1978).

Chapitre 2 - Production et utilisation

Les données sur la production et la consommation du sorgho et des mils ne peuvent être considérées que comme les meilleures estimations disponibles, car, quel que soit le pays, il est difficile d'obtenir des chiffres pour la production des petites exploitations de subsistance. Il est également probable que la distribution et la consommation de ces céréales varie beaucoup dans les régions tropicales semi-arides selon les saisons, les communautés et les familles. Il n'existe pour le moment que peu ou pas de données détaillées et fiables sur la variété des produits dérivés du sorgho et des mils et l'importance de leur utilisation. Une des raisons de ce manque d'informations est que leur collecte nécessite de vastes enquêtes. Or, avant de procéder à de telles enquêtes, il faut envisager différents facteurs tels que le coût, le temps, la main-d'oeuvre, le transport et l'accessibilité des villages dans les zones rurales. Dans plusieurs pays en développement, l'insuffisance de l'infrastructure et d'autres limitations ont contribué au manque d'informations sur la consommation du sorgho et des mils.

Production de sorgho

En 1990, la production totale de sorgho dans le monde s'est élevée à 58 millions de tonnes, c'est-à-dire moins que les 60 millions de tonnes de l'année 1989 et les 62 millions de tonnes de 1988 (FAO, 1991). On a signalé une diminution du rendement de 1340 kg/ha en 1989 à 1 312 kg/ha en 1990, alors que pour ces deux années la superficie est restée stable autour de 44 millions d'ha. Le tableau 3 indique la superficie, le rendement et la production de sorgho dans diverses régions

du monde.

Les cinq plus gros producteurs de sorgho dans le monde (tableau 4) sont les Etats-Unis (25 pour cent), l'Inde (21,5 pour cent), le Mexique (près de 11 pour cent), la Chine (9 pour cent) et le Nigeria (près de 7 pour cent).

TABLEAU 3 - Superficie, rendement et production de sorgho par régions, 1990

Région	Superficie		Rendement (kg/ha)	Production	
	(milliers d'ha)	(% du total)		(milliers de tonnes)	(% du total)
Amérique du Nord et Amérique centrale	5 970	13,5	3 572	21 325	36,7
Asie	18 451	41,6	1 023	18 867	32,4
Afrique	17 799	40,1	718	12 784	22,0
Amérique du Sud	1 353	3,1	2614	3 537	6,1
Océanie	407	0,9	2 298	934	1,6
Monde (1990)	44 352		1 312	58 190	
Monde (1989)	44 695		1 340	59 991	

Soudce FAO, 1991.

TABLEAU 4 - Principaux producteurs de sorgho, 1990

Pays	Superficie	Production
------	------------	------------

	(Milliers d'ha)	(% du total)	(Milliers de tonnes)	(% du total)
Etats-Unis	3 674	8,3	14 516	25,0
Inde	15300	34,5	12500	21,5
Mexique	1 830	4,1	6230	10,7
Chine	1 900	4,3	5 310	9,1
Nigeria	6 000	13,5	4 000	6,9
Argentine	688	1,6	2 016	3,5
Soudan	2 925	6,6	1 502	2,6
Ethiopie	870	2,0	1 000	1,7
Australie	406	0,9	933	1,6
Burkina Faso	1 250	2,8	917	1,6
Total	34 843	78,6	48 924	84,1
Monde	44 352	100	58 190	100

Source: FAO, 1991.

Ensemble, ces cinq pays représentent 73 pour cent du total de la production mondiale.

Sur la superficie totale consacrée au sorgho dans le monde, plus de 80 pour cent se situent dans les pays en développement. En Afrique, le sorgho est cultivé dans une large ceinture qui s'étend de l'Atlantique à l'Ethiopie et à la Somalie, bordée par le Sahara au nord et la forêt équatoriale au sud. Cette zone s'étend à travers les parties les plus sèches de l'Afrique orientale et australe, où les précipitations sont trop faibles pour que la culture du maïs réussisse. En Afrique subsaharienne, le sorgho est la deuxième céréale en importance après le maïs.

Grâce à leur rendement plus élevé par unité de superficie, ce sont l'Amérique du Nord et l'Amérique centrale qui

produisent la plus forte quantité de sorgho (37 pour cent de la production totale). En Amérique centrale et du Sud, le sorgho est cultivé dans les parties les plus sèches du Mexique, d'El Salvador, du Guatemala et du Nicaragua, dans les plaines sèches de l'intérieur de l'Argentine, les zones sèches du nord de la Colombie, le Venezuela, le Brésil et l'Uruguay. En Amérique du Nord, le sorgho est cultivé dans certaines parties des plaines du centre et du sud des États-Unis où les précipitations sont faibles et irrégulières. Le Kansas, le Texas, le Nebraska et l'Arkansas sont les principaux États producteurs, avec environ 80 pour cent de la production totale des États-Unis.

En Asie, le sorgho est largement cultivé en Inde, en Chine, au Yémen, au Pakistan et en Thaïlande. En Europe, sa production est limitée à quelques régions de France, d'Italie, d'Espagne et de pays du sud-est. En Océanie, l'Australie est le seul producteur important: la culture se concentre dans le Queensland et le nord du New South Wales, qui produisent environ 95 pour cent de la quantité totale.

La production mondiale de sorgho est passée de 40 millions de tonnes au début des années 60, à 66 millions de tonnes en 1979-1981, mais elle est redescendue à 58 millions de tonnes en 1990, bien que pendant la même période la superficie cultivée en sorgho n'ait que légèrement diminué, passant de 45,6 à 44,4 millions d'ha. La réduction de la production en 1979-1981 a été essentiellement due à un recul dans les deux principaux pays producteurs - les États-Unis et la Chine. Pour ces deux pays, la baisse a été de 6,2 millions de tonnes, soit 85 pour cent de la réduction de la production mondiale. Il y a plusieurs raisons à cela: une répartition imprévisible et erratique des précipitations (la majeure partie du sorgho est cultivée en sec), une baisse de la fertilité du sol, l'inefficacité des systèmes de production utilisés dans certains pays, les stress biotiques et abiotiques et le recul de la demande.

La croissance de la demande alimentaire (2,9 pour cent) pendant la période 1980-2000 dans 90 pays en développement dépassera de façon marginale la croissance projetée de la production agricole (2,8 pour cent) (FAO, 1981). Le déséquilibre sera cependant plus prononcé en Afrique (croissance de la demande, 3,4 pour cent; croissance de la production, 2,6 pour cent). Dans les pays les moins avancés, la croissance de la production sera probablement inférieure de 25 pour cent à celle de la demande.

En 1987-1989, les produits végétaux fournissaient l'essentiel de l'énergie alimentaire (90 pour cent ou davantage) et plus de 80 pour cent de la ration protéique quotidienne totale de quatre des dix plus gros producteurs mondiaux, à savoir l'Inde, la Chine, le Nigeria et le Burkina Faso (tableau 5). Au Mexique et au Soudan, ils fournissaient plus de 80 pour cent de

l'énergie alimentaire.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)[Home":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">](#)

Utilisation du sorgho

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

La consommation totale de sorgho dans le monde correspond géographiquement d'assez près à sa production, puisqu'il est pour l'essentiel consommé dans les pays où il est cultivé. Le sorgho a deux usages distincts: l'alimentation humaine et l'alimentation animale. Au début des années 60, une très grande partie de la production servait directement à l'alimentation humaine, mais depuis cette proportion n'a cessé de baisser. En fait, la consommation de sorgho pour l'alimentation animale a plus que doublé depuis le début des années 60, passant de 30 à 60 pour cent, alors que le volume de l'utilisation totale pour l'alimentation humaine est resté inchangé ou a même légèrement diminué (tableau 6). En Amérique du Nord, Amérique centrale, Amérique du Sud et Océanie, la plus grande partie de la production sert à l'alimentation animale.

TABLEAU 5 - Sources d'énergie et de protéines dans l'apport alimentaire des 10 plus grands producteurs mondiaux de sorgho, 1987-1989

Pays	Energie par habitant et par jour (kcal)				Protéines par habitant et par jour (g)			
	Total végétal	Produits du total	Pourcentage animal x	Produits	Total	Produits végétal	Pourcentage du total	Produits animaux
Etats-Unis	3 676	2 430	66,1	1 246	109,6	36,4	33,2	73,2

Inde	2 196	2 048	93,3	2 048	53,2	45,6	85,7	7,6
Mexique	3 048	2 497	81,9	551	77,9	46,9	60,2	31,0
Chine	2 634	2 365	89,8	269	62,8	50,7	80,7	12,1
Nigeria	2 306	2 248	97,5	58	49,5	43,6	88,1	5,9
Argentine	3 110	2 145	69,0	965	100,3	36,5	36,4	63,8
Soudan	2 028	1 677	82,7	351	57,8	37,6	65,1	20,2
Australie	3 186	2 036	63,9	1 150	97,4	31,7	32,5	65,7
Burkina Faso	2 286	2 186	95,6	100	69,8	62,6	89,7	7,2

Source: FAO, 1991.

Alimentation humaine

Alors que la consommation alimentaire totale de l'ensemble des céréales a considérablement augmenté au cours des 35 dernières années, la consommation alimentaire mondiale de sorgho est restée stable. Cette stagnation s'est produite parce que, en dépit du fait que nutritionnellement le sorgho supporte bien la comparaison avec les autres céréales, on le considère dans de nombreux pays comme une céréale de qualité inférieure. La consommation par habitant est élevée dans les pays et les régions où le climat ne permet pas la production économique d'autres céréales et où les revenus par habitant sont relativement faibles. Il s'agit en particulier des pays qui bordent les franges sud du Sahara, notamment l'Ethiopie et la Somalie, où la moyenne nationale de la consommation de sorgho par habitant peut atteindre jusqu'à 100 kg par an. D'autres pays où la consommation par habitant est importante sont le Botswana, le Lesotho, le Yémen, certaines provinces de la Chine et plusieurs Etats de l'Inde. Dans la majorité des autres

TABLEAU 6 - Utilisation du sorgho: moyenne 1981-1985 et taux de croissance de 1961-1965 à 1981-1985

Région	Moyenne 1981-1985 (millions de tonnes)	Croissance annuelle de 1961-1965 à 1981-1985 (%)

	Alimentation humaine	Alimentation animale	Autres utilisations	Total	Alimentation humaine	Alimentation animale	Autres utilisations	Total
Afrique	8,0	0,4	2,3	10,7	1,5	3,5	-0,6	1,0
Asie	15,1	6,3	2,1	23,5	-	7,8	0,2	1,2
Amérique centrale	0,3	8,4	0,2	8,9	2,0	13,2	-	12,1
Amérique du Sud	-	4,6	0,3	4,9	-	8,5	5,7	8,3
Amérique du Nord	-	12,6	0,1	12,7	-	0,5	-	0,5
Europe	-	1,4	-	1,4	-	-2,5	-	-2,5
URSS	-	2,3	0,3	2,6	-	17,0	-	17,0
Océanie	-	0,4	-	0,4	-	3,5	-	3,5
Monde	23,4	36,4	5,3	65,1	0,5	3,8	0,4	2,1
Pays en développement	23,2	15,6	4,8	43,6	0,5	10,3	0,1	1,7
Pays développés	0,2	20,8	0,5	21,5	3,5	1,7	4,7	2,2

Source FAO, 1988. pays, la consommation alimentaire est relativement faible ou négligeable, comparée aux autres céréales.

Les pays d'Afrique et d'Asie représentent plus de 95 pour cent de l'utilisation alimentaire totale de sorgho (tableau 6). En Afrique, la consommation humaine représente près des trois quarts de l'utilisation totale et une fraction importante de la ration calorique totale dans la plupart des pays. Ainsi, au Burkina Faso, environ 45 pour cent de la ration calorique annuelle totale apportée par les céréales viennent du sorgho, bien que cette part ait baissé au début des années 60 où elle était de 55 pour cent. La Chine et l'Inde représentent environ 90 pour cent de l'utilisation alimentaire totale de sorgho en

Asie.

Les données dont on dispose pour l'Afrique indiquent que, malgré une augmentation de l'utilisation alimentaire totale entre le début des années 60 et le milieu des années 80, la consommation moyenne par habitant est tombée de 20 kg à 15 kg par an (FAO, 1988). Les diminutions ont été constatées surtout au Kenya, au Mozambique, au Nigeria et en Somalie, mais elles se sont aussi manifestées au Botswana, en Ethiopie, au Lesotho et au Zimbabwe. En Asie, l'utilisation alimentaire aussi bien totale que par habitant a baissé. Cette baisse de la consommation par habitant intervenue dans de nombreux pays a été due à des modifications des habitudes des consommateurs suscitées par divers facteurs: le rythme rapide d'urbanisation, le temps et l'énergie nécessaires pour préparer les aliments à base de sorgho, des structures domestiques inadéquates, la médiocrité des moyens de commercialisation et des techniques de transformation, l'instabilité de l'offre et la faible disponibilité des produits à base de sorgho, notamment la farine, comparée aux autres denrées alimentaires. Les changements d'habitudes de consommation se sont surtout produits dans les zones urbaines; la consommation alimentaire du sorgho par habitant dans les zones productrices rurales est restée considérablement plus élevée que dans les villes. De plus, les politiques nationales appliquées dans un certain nombre de pays ont eu une influence négative sur l'utilisation du sorgho en tant qu'aliment. Ainsi, les grandes quantités de blé et de riz importés à bas prix et les politiques de subvention de la production de ces céréales dans certains pays ont eu un impact extrêmement négatif sur la production de sorgho.

Alimentation animale

L'utilisation du grain pour l'alimentation animale a été un élément dynamique de stimulation de la consommation mondiale de sorgho. La demande correspondante a été le principal moteur de l'augmentation de la production mondiale et des échanges internationaux depuis le début des années 60. Cette demande est fortement concentrée dans les pays développés, où l'alimentation animale représente environ 97 pour cent de l'utilisation totale, ainsi que dans certains pays en développement à revenu plus élevé, surtout en Amérique latine, où 80 pour cent de la production de sorgho sont utilisés pour l'alimentation animale. Les Etats-Unis, le Mexique et le Japon sont les principaux pays consommateurs, suivis de l'Argentine, de l'ex-URSS et du Venezuela. Ensemble, ces pays représentent plus de 80 pour cent du sorgho utilisé dans le monde pour l'alimentation animale.

Production de mil

Plusieurs types de mils sont cultivés dans le monde. Les chiffres de la FAO sur la superficie, le rendement et la production de l'ensemble des mils sont donnés sous la rubrique générale mil. Le mil chandelle, l'eleusine cultivée et le millet commun représentent une grande proportion de la production mondiale, qui est passée de 26 millions de tonnes en 1979-1981 à 31 millions de tonnes en 1988 et a été analogue en 1989 et 1990. L'Asie, l'Afrique et l'ex-URSS produisent la presque totalité des mils cultivés dans le monde, comme l'indique le tableau 7. En 1990, les principaux producteurs de mil étaient l'Inde (39 pour cent), la Chine (15 pour cent), le Nigeria (13 pour cent) et l'URSS (12 pour cent) (tableau 8).

La superficie cultivée en mil a légèrement diminué, passant de 38,1 millions d'ha en 1979-1981 à 37,6 millions d'ha seulement en 1990. Cependant, la production a augmenté de 17 pour cent, passant de 25,6 millions de tonnes en 1979-1989 à 29,8 millions de tonnes en 1990. Cette augmentation a été due en grande partie à la croissance de la production au Nigeria (65 pour cent), en Inde (25 pour cent) et dans l'ex-URSS (207 pour cent). En revanche, il y a eu en Chine une baisse de 24 pour cent pendant la même période.

Dans les 10 principaux pays producteurs de mil, à l'exception de l'URSS, les produits végétaux ont constitué 90 pour cent ou plus de l'apport énergétique total en 1987-1989 (tableau 9). En Inde, en Chine, au Nigeria, au Niger, au Mali, en Ouganda, au Burkina Faso et au Népal, les produits végétaux ont fourni plus de 80 pour cent des protéines. Ainsi, dans de nombreux pays producteurs de sorgho et de mil, ce sont les produits végétaux, en particulier les céréales, qui fournissent l'essentiel de l'énergie et des protéines.

TABLEAU 7 - Superficie, rendement et production mondiales de mil par régions, 1990

Région	Superficie		Rendement (kg/ha)	Production	
	(milliers d'ha)	(% du total)		(milliers de tonnes)	(% du total)
Asie	20 853	55,5	804	16 767	56,2
Afrique	13 548	36,1	669	9 066	30,4
URSS	2 903	7,7	1 256	3 647	12,2
Amérique du nord et	150	0,4	1 200	180	0,6

Amérique centrale					
Amérique du Sud	55	0,2	1 655	91	0,3
Océanie	34	0,1	882	30	0,1
Monde	37 565	100	794	29 817	100

Source FAO, 1991.

TABLEAU 8 - Principaux producteurs de mil, 1990

Pays	Superficie		Production	
	(milliers d'ha)	(% du total)	(milliers de tonnes)	(% du total)
Inde	17000	45,3	11 500	38,6
Chine	2 601	6,9	4 401	14,8
Nigeria	4 000	10,7	4 000	13,4
URSS	2 903	7,7	3 647	12,2
Niger	3 100	8,3	1 133	3,8
Mali	900	2,4	695	2,3
Ouganda	400	1,1	620	2,1
Burkina Faso	1 150	3,1	597	2,0
Sénégal	865	2,3	514	1,7
Népal	200	0,5	240	0,8
Total	33 119	88,2	27 347	91,7
Monde (1990)	37 565		29 817	

Source: FAO, 1991.

TABLEAU 9 - Sources d'énergie et de protéines dans l'apport alimentaire des 10 plus grands producteurs mondiaux de mil, 1987-1989

Pays	Energie par habitant et par jour (kcal)				Protéines par habitant et par jour (g)			
	Total	Produits végétaux	Pourcentage du total	Produits animaux	Total	Produits végétaux	Pourcentage du total	Produits animaux
Inde	2 196	2 048	93,3	148	53,2	45,6	85,7	7,6
Chine	2 634	2 365	89,8	269	62,8	50,7	80,7	12,1
Nigeria	2 306	2 248	97,5	58	49,5	43,6	88,1	5,9
URSS	3 380	2 444	72,3	936	106,2	50,1	47,2	56,1
Niger	2 297	2 152	93,7	145	64,0	53,2	83,1	10,8
Mali	2 234	2 090	93,6	144	62,5	50,1	80,2	12,4
Ouganda	2 136	2 010	94,1	126	48,1	38,7	80,5	9,4
Burkina Faso	2 286	2 186	95,6	100	69,8	62,6	89,7	7,2
Sénégal	2	2 160	91,0	214	68,2	49,9	73,0	18,3

	374							
Nepal	2 074	1 937	93,4	137	52,5	44,8	85,3	7,7

Source: FAO, 1991.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Utilisation du mil

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Sur les 30 millions de tonnes de mil produites dans le monde, 90 pour cent environ sont utilisés dans les pays en développement, et seul un volume minime est consommé dans les pays développés, mis à part l'ex-URSS. On ne dispose pas pour la plupart des pays de données statistiques exactes, mais on estime que 20 millions de tonnes au total sont consommées par l'homme, le reste étant également divisé entre l'alimentation animale et d'autres utilisations telles que semences, préparation de boissons alcooliques et déchets. Six pays (Chine, Ethiopie, Inde, Niger, Nigeria et ex-URSS) représentent, selon les estimations, environ 80 pour cent de l'utilisation mondiale de mil (tableau 10).

TABLEAU 10 - Utilisation estimative du mil: moyenne de 1981/82 et 1985/86

Pays ou région	Alimentation humaine (milliers de tonnes)	Alimentation animale (milliers de tonnes)	Autres utilisations ^a (milliers de tonnes)	Total (milliers de tonnes)	Utilisation alimentaire par habitant (kg/an)
Afriqueb	7 094	122	1 921	9 137	13,5

Burkina Faso	381	-	60	441	50,8
Ethiopie	1 020	-	196	1 216	24,9
Mali	516	1	88	605	67,7
Niger	977	21	215	1 213	168,9
Nigeria	2 365	86	700	3 151	26,5
Senegal	397	2	80	479	64,4
Ouganda	259	47	150	456	17,8
Asie	14 441	1 665	1 305	17 411	5,3
Chine	4857	1 120	480	6457	4,7
Inde	8 794	150	710	9 664	11,9
Amerique central	-	-	-	-	-
Amerique du Sud	-	91	5	96	-
Amerique du Nord	-	104	6	110	-
Europe	-	104	6	110	-
URSS	800	1 107	400	2 307	2,9
Océanie	-	-	13 2	15	-
Monde	22 335	3 144	3 642	29 121	4,8
Pays en développement	21 535	1 878	3 231	26 644	6,1
Pays développés	800	1 266	411	2 477	0,7

a Semences, industrie et déchets.

b Y compris le fonio et le teff.

Source: FAO, 1990b.

Alimentation humaine

La consommation alimentaire de mil par habitant varie beaucoup d'un pays à l'autre, mais c'est en Afrique qu'elle est la plus élevée. Au Sahel, on estime que le mil représente environ un tiers de la consommation totale de céréales alimentaires au Burkina Faso, au Tchad et en Gambie, environ 40 pour cent au Mali et au Sénégal et plus des deux tiers au Niger. D'autres pays d'Afrique où le mil constitue un aliment important sont l'Éthiopie, le Nigeria et l'Ouganda.

Pour beaucoup d'autres pays, surtout en Afrique orientale et centrale, mais aussi dans les pays côtiers septentrionaux de l'Afrique de l'Ouest, le mil est un aliment important pour la population qui vit dans les régions les plus sèches.

Dans les pays en développement autres qu'africains, le mil a une importance locale en tant qu'aliment dans certaines parties de pays comme la Chine, l'Inde, le Myanmar et la République populaire démocratique de Corée. Bien que dans les plus gros pays consommateurs de mil, la Chine et l'Inde, les niveaux nationaux par habitant soient assez faibles, l'utilisation alimentaire du mil est importante dans certaines régions de ces pays.

La consommation mondiale de mil pour l'alimentation humaine n'a augmenté que de façon marginale ces dernières années, ce qui contraste avec l'importante augmentation de la consommation des autres céréales.

Il y a eu dans tous les pays une tendance au recul de la consommation de mil par habitant lorsque le revenu dépassait certains niveaux, en raison du faible prestige de cette céréale. Les autres raisons de la stagnation de la consommation sont les mêmes que celles décrites ci-dessus pour le sorgho.

Alimentation animale

L'utilisation du mil pour les animaux est négligeable, aussi bien en termes absolus que relatifs, comparée aux autres utilisations et aux autres céréales. On a estimé qu'environ 10 pour cent seulement de l'utilisation mondiale de mil consiste en aliments pour animaux.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Tendances régionales de la production et de l'utilisation du sorgho et des mils

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Afrique de l'Ouest

Les régions tropicales semi-arides d'Afrique de l'Ouest sont définies comme celles où les précipitations dépassent l'évapotranspiration potentielle de deux à sept mois par an. Cette région comprend la totalité du Sénégal, la Gambie, le Burkina Faso, le Cap-Vert, d'importantes fractions méridionales de la Mauritanie, du Mali et du Niger, ainsi que les parties nord de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo, du Bénin et du Nigeria. Les céréales occupent près de 70 pour cent de la superficie totale cultivée dans cette région et emploient de 50 à 80 pour cent du total des ressources des exploitations agricoles (Matlon, 1990). Les mils et le sorgho représentent 80 pour cent de la production de céréales. Au cours des 25 dernières années, la progression de leur production a été lente et inférieure d'environ 1 pour cent à la croissance démographique annuelle. Le rendement moyen par unité de superficie du mil et du sorgho a diminué pendant cette période, et les légères augmentations de production ont essentiellement été dues à l'expansion de la superficie cultivée. De nombreux facteurs ont contribué à faire décroître la productivité, notamment la pression démographique et la dégradation de l'environnement.

Les régions tropicales semi-arides d'Afrique de l'Ouest peuvent se classer en quatre zones agroclimatiques: le Sahel (précipitations annuelles <350 mm), la région soudano-sahélienne (de 350 à 600 mm), la région soudanaise (de 600 à 800 mm) et la région soudano-guinéenne (de 800 à 1100 mm). Selon Matlon (1990), un potentiel d'accroissement important de l'offre de sorgho et de mil n'existe que dans la zone soudano-guinéenne et dans une moindre mesure dans la zone soudanaise. Il importerait de donner la plus haute priorité à la stabilisation des rendements et aux technologies de conservation des terres dans ces deux zones.

Reardon et Matlon (1989) ont décrit les modes de consommation alimentaire de la population de deux villages, qui

représentaient l'un la savane sahélienne et l'autre la zone soudano-sahélienne. La dépendance par rapport au marché était nettement plus faible parmi les ménages du village soudano-sahélien et plus également répartie à travers les couches de revenu que dans le village sahélien. Les pauvres étaient particulièrement vulnérables pendant la saison des pluies, où ils dépendaient davantage du marché. En effet, les produits alimentaires achetés apportaient 60 à 70 pour cent du total des calories consommées par les ménages pauvres et à revenu intermédiaire au cours de la saison des pluies. Dans le village sahélien, le sorgho blanc ne représentait que 4 pour cent de la superficie cultivée mais apportait près de 25 pour cent des calories consommées en dehors de la saison des moissons par les ménages pauvres. Le sorgho rouge et le maïs ne représentaient que 10 pour cent de la superficie cultivée, mais fournissaient jusqu'à 60 pour cent des calories consommées par les pauvres pendant les saisons autres que celle des récoltes.

Le tableau 11 indique les dépenses des ménages consacrées à diverses céréales (représentées par les parts des dépenses monétaires totales) au Burkina Faso, en Gambie, au Mali, au Niger et au Sénégal (Reardon, 1993). Ces données proviennent d'enquêtes menées au cours d'années où la récolte était bonne et d'autres où elle était mauvaise. Elles montrent que le riz est un élément important dans les régimes alimentaires urbains au Sahel. Cela s'explique peut-être par le coût relativement bas du riz importé et au recul de la production de céréales secondaires et par le fait que les consommateurs souhaitent imiter les habitudes alimentaires des groupes à haut revenu et des Occidentaux. D'autre part, la transformation relativement plus facile et le temps de cuisson plus rapide du riz, ainsi que la disponibilité d'aliments tout prêts à base de riz vendus par les vendeurs de rue, sont d'autres raisons qui ont influencé la consommation de cette denrée. En général, la part conjuguée du mil et du sorgho dépasse celle du maïs dans les régimes alimentaires urbains du Sahel. Dans les régimes alimentaires ruraux, les céréales secondaires dominent, sauf dans quelques cas isolés. Cependant, les aliments achetés constituent une part non négligeable de ces régimes.

Il est urgent d'élaborer des méthodes adaptées de transformation et de mouture du sorgho et du mil. La mise au point de produits nouveaux prêts à être consommés à base de ces céréales, qui puissent être vendus sur les marchés et par les vendeurs de rue, ouvrirait de nouvelles voies d'utilisation et pourrait réduire la dépendance vis-à-vis du riz importé.

TABLEAU 11 - Consommation céréalière au Sahel: résultats d'enquêtes^a

Echantillon de population	Riz	Mil	Sorgho	Maïs	Blé	Autres	Total

BURKINA FASO							
Ouagadougou (1984/85)							
Echantillon global	41	16	12	15	17	-b	100
Tiers le plus pauvre	45	17	15	15	9	-	100
Tiers le plus riche	35	13	8	12	32	-	100
Ouagadougou (1982/83)							
Echantillon global	52	6	31	4	7	-	100
Tiers le plus pauvre	55	a	33	1	3	-	100
Tiers le plus riche	52	3	20	5	20	-	100
Zones rurales (1984/85)							
Zone sahélienne	1	47	29	21	1	-	100
Zone soudanienne	0	11	72	16	1	-	100
Zone guinéenne	6	22	57	14	1	-	100
GAMBIE							
Zones rurales (1985/86)							
Echantillon global	75	23c	3		-	-	100
MALI							
Bamako (1985/86)							
Echantillon global	57	19	<0,5	1	17	6	100
Quartile le plus pauvre	55	20	1	<0,5	16	8	100
Quartile le plus riche	54	21	1	0	19	5	100
Autres villes (1985/86)							

Echantillon global	54	21	1	0	19	5	100
Zones rurales							
Bougouni	8	83c		6	-	3	100
Kayes	4	21c		74	-	1	100
NIGER							
Niamey (1988/89)^d							
Echantillon global	55	36	2	16	<0,5	-	100
Zones rurales (1988/89)							
Tillabery	17	70	15	<0,5	<0,5	-	100
Diffa	1	53	16	24	5	-	100
SENÉGAL							
Dakar (1983)							
Echantillon global	66	31	-	3	-	-	100
Autres zones urbaines							
Dioubel	37	48c	<0.8	13	-	100	
Zones rurales							
Casamance centrale	87	8c	5	<0,5	-	100	
Kaolack rural	11	78c	8	3	-	100	
Zone sahélienne	48	26	0	4	<0,5	-	100
Zone soudanienne	15	74	<0,5	<0,5	<0,5	-	100

a Ce tableau présente les dépenses ou parts du budget qui sont les parts en produits du total des dépenses monétaires (somme de la valeur imputée de la consommation propre plus transferts plus achats).

b -: données non signalées.

c Mil et sorgho signalés ensemble.

d Chiffres donnés uniquement en parts du budget céréalier en termes physiques.

Source: Reardon, 1993.

Afrique orientale et australe

Le sorgho et le mil représentent 23 pour cent de la production céréalière des pays de la Communauté du développement de l'Afrique australe (SADC), qui comprennent l'Angola, le Botswana, le Lesotho, le Malawi, le Mozambique, la Namibie, la République-Unie de Tanzanie, le Swaziland, la Zambie et le Zimbabwe. Cependant, ils ne constituent des cultures céréalières dominantes que dans deux pays, le Botswana et la Namibie (respectivement, 86 et 50 pour cent de la production totale de céréales). Le sorgho et le mil sont importants dans les régions qui reçoivent moins de 650 mm de précipitations par an. La productivité de ces céréales est faible, et dans la plupart des pays de la SADC il n'existe pas de stratégie de développement des soussecteurs du sorgho et du mil.

Dans la majorité de ces pays, les marchés du secteur structuré (réglementé par l'état) ne voient passer qu'une très faible proportion de la production totale de sorgho et de mil (tableau 12). Ils représentent moins de 10 pour cent de la production totale au Lesotho au Swaziland, en République-Unie de Tanzanie, en Zambie et au Zimbabwe. La plus grande partie du sorgho et du mil produits dans la région de la SADC est consommée par les ménages producteurs ou vendue sur les marchés traditionnels, essentiellement pour la production de bière. Le prix du maïs est plus faible que celui du sorgho sur de nombreux marchés traditionnels à travers la région de la SADC, et il pourrait exister un bon potentiel d'expansion de la production de sorgho et de mil, compte tenu des différences de prix.

L'une des raisons qui explique le non-accroissement de la production de sorgho et de mil est que la productivité de ces cultures est faible. Les rendements moyens sont inférieurs à celui du maïs. Même dans les régions semi-arides de la SADC. D'autre part, bien que le coût total de la production soit souvent plus bas que celui du maïs la productivité des céréales à petits grains, mesurée en termes de rentabilité de la main-d'œuvre, tend à être faible. On dit que, dans certaines conditions, l'oléagineuse cultivée offre une rentabilité plus élevée que le maïs (tableau 13). Or, elle exige plus de

main-d'œuvre, ce qui limite sa production (Rohrbach, 1991).

Pour rendre le sorgho et le mil compétitifs, il est donc nécessaire d'améliorer la productivité tout en garantissant la qualité du grain. La superficie cultivée en sorgho et en mil n'augmentera pas sensiblement si leur productivité n'est pas nettement améliorée. Il est donc urgent d'améliorer les technologies de production de ces céréales et de diffuser les connaissances nécessaires aux exploitants agricoles. C'est la seule façon de permettre à ces céréales de concurrencer le maïs dans les conditions locales. L'identification de quelques domaines bien étudiés pour l'application du sorgho et d'autres usages ouvrirait de nouvelles voies à un accroissement de son utilisation et inciterait à améliorer la production et la productivité.

Inde

L'Inde est le deuxième producteur de sorgho au monde. A l'heure actuelle, l'essentiel du sorgho produit en Inde sert pour l'alimentation humaine, sous forme de roti ou chapatti (galette de pain sans levain). Walker (1990) a analysé les perspectives de l'offre et de la demande de sorgho en Inde. Il a constaté qu'au cours des trois dernières décennies la consommation moyenne de sorgho par habitant avait nettement baissé aussi bien parmi les ménages ruraux que parmi les ménages urbains. La consommation rurale moyenne est tombée de 1,74 à 1 kg par habitant et par mois. La consommation urbaine est descendue de 0,74 à 0,46 kg par habitant et par mois. Selon les projections, la consommation de sorgho devrait continuer à diminuer d'environ 0,5 pour cent par an. La tendance à la baisse de la consommation de sorgho est due en partie à la diminution de la consommation par habitant de l'ensemble des céréales.

On a remarqué que la diminution de la consommation de sorgho était proportionnelle à l'augmentation des dépenses. L'augmentation des revenus s'accompagne d'une augmentation de consommation de blé et de riz dont les produits sont faciles à préparer et se gardent mieux. Il y a aussi, avec l'augmentation des revenus et l'urbanisation, une tendance à consommer une plus grande variété d'aliments. Le prix du sorgho par rapport à celui du blé et du riz n'a pas augmenté dans les principales régions consommatrices de sorgho. Autrement dit, les autres facteurs ont probablement plus d'influence que le prix lui-même pour expliquer la chute de la consommation de sorgho par habitant. Les perspectives de changement technologique modifieraient peut-être le scénario pour améliorer la production et l'utilisation du sorgho.

Chine

La Chine est le quatrième producteur de sorgho dans le monde et le deuxième en Asie, immédiatement après l'Inde, en ce qui concerne la superficie et la production. Environ 30 pour cent du sorgho produit sont utilisés pour l'alimentation humaine et 60 pour cent pour la consommation animale et la fabrication de boissons alcooliques (Kelley, Parthasarathy Rao et Singh, 1992). L'importance du sorgho en tant qu'aliment humain a cependant diminué avec le temps. D'autre part, la superficie qui lui est consacrée est passée de 2,8 millions d'ha en 1979-1981 à 1,9 million d'ha seulement en 1990. En conséquence, la production a baissé, passant de 7 millions de tonnes en 1979-1981 à 5,3 millions de tonnes en 1990. Ces dernières années, on a attaché plus d'attention au sorgho en tant que fourrage et à la mise au point de cultivars convenant à cet usage.

TABLEAU 12 - Production de céréales secondaires vendue à travers les circuits structurés de commercialisation dans les pays de la SADC (pourcentage)

Pays	Sorgho	Milchandelle	Eleusine	Mais.
Zimbabwe (1989/90)	8	9	3	62
Tanzanie (1986/87)	1a			7
Zambie (1987/188)	1	1	1	69
Botswana (1985)	25			62
Lesotho (1989)	1			
Swaziland (1990)	1			

a Sorgho et mils conjugués.

Source: rohrbach, 1991.

TABLEAU 13 - Rentabilité par heure de main-d'œuvre au Zimbabwe pendant la campagne 1988/89^a

Secteur/culture	Total de la main-d'œuvre	Rendement moyen	Prix moyen (\$Z/kg)	Marge brute (\$Z/ha)	Rentabilité par heure de

	(heures)	(t/ha)			travail (\$Z/ha)
Secteur des petites exploitations					
Maïs	411	1,76	0,23	233,36	0,59
Mil chandelle	521	0,38	0,34	30,95	0,06
Eleusine	545	0,45	0,61	173,81	0,38
Sorgho	308	0,32	0,42	54,43	0,16
Nyajena					
Maïs	360	0,44	0,30	46,71	0,13
Mil chandelle	551	0,27	0,45	35,31	0,07
Eleusine	567	0,38	0,68	175,37	0,40
Sorgho	398	0,24	0,36	32,44	0,08

a Précipitations favorables dans les zones o les précipitations moyennes sont plus élevées: précipitations médiocres au Nyajena.

Source:: Rohrbach, 1991 .

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Chapitre 3 - Stockage et transformation

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Lorsque le sorgho ou les mils sont stockés dans des pays en développement, ils le sont généralement en petites quantités dans des conteneurs traditionnels, souvent dans l'exploitation même. Il est rare qu'on accumule de grandes quantités, et le stockage en vrac est peu courant.

La transformation implique la séparation partielle et/ou la modification des trois constituants principaux de la graine de céréale - le germe, l'endosperme et le péricarpe. Diverses méthodes traditionnelles de traitement sont encore largement utilisées, surtout dans les régions des tropiques semi-arides où le sorgho et les mils sont surtout cultivés pour la consommation humaine. La plupart des techniques traditionnelles de traitement sont laborieuses, monotones et appliquées à la main. Elles sont presque toujours confiées aux femmes. Dans une certaine mesure, les méthodes utilisées ont été mises au point de façon à fabriquer des aliments traditionnels répondant aux goûts locaux. Les techniques traditionnelles couramment utilisées comprennent le décorticage (généralement par pilage suivi de vannage et parfois de tamisage), le maltage, la fermentation, le retissage, le floconnage et le broyage. Ces méthodes impliquent essentiellement de la main-d'œuvre et donnent un produit de qualité médiocre. Le sorgho et les mils seraient probablement plus utilisés si l'on améliorait le traitement et si l'on pouvait fournir pour répondre à la demande une farine de qualité suffisante (Eastman, 1980).

D'une façon générale, les méthodes industrielles de transformation du sorgho et des mils ne sont pas aussi développées que celles que l'on utilise pour le blé et le riz, qui sont presque partout beaucoup plus estimés que le sorgho et les mils. Le potentiel de traitement industriel du sorgho et des mils est bon, et des tentatives ont été faites dans plusieurs pays pour mettre au point des techniques industrielles améliorées. La mouture à la demande a eu un impact non négligeable dans plusieurs pays d'Afrique où elle a été récemment introduite. Rien qu'au Nigeria, où 80 pour cent environ du sorgho et des mils sont maintenant moulus à la commande en farine complète, plus de 2,5 millions de tonnes de sorgho ont été traitées de cette façon (Ngoddy, 1989).

Dans une certaine mesure, pour le stockage du sorgho mais surtout pour son traitement, beaucoup dépend du type de sorgho: brun, blanc ou jaune. L'apparence extérieure n'indique pas le type de variété. Les trois types peuvent avoir une apparence blanche, jaune, brune, rouge ou pourpre, bien que les sorghos bruns aient généralement des enveloppes plus sombres que les sorghos jaunes et blancs. (Plus loin dans ce chapitre, on utilisera le terme «blanc» qui est le plus

généralement adoptés pour désigner la fois les types blancs et jaunes.) L'important c'est de savoir s'il y a un testa. Le testa est généralement rouge brique, et même s'il ne reste dans une farine qu'une faible quantité de testa rouge, cela lui donnera une couleur rose mal acceptée par beaucoup de gens. Si la variété contient du tanin, c'est dans le testa qu'on en trouvera la plus grande partie. Le tanin est mal accepté pour deux raisons: il concurrence la protéine disponible et il a un goût amer. Cependant, ce goût présente un grand avantage car c'est probablement cette amertume qui fait que les oiseaux granivores n'aiment pas les sorghos à teneur élevée en tanin, de sorte que les agriculteurs les cultivent en abondance et les oiseaux causent de graves dégâts au sorgho blanc.

La présence d'un testa est déterminée par deux gènes dominants, B₁ et B₂ (Hulse, Laing et Pearson, 1980). Le sorgho sauvage contient généralement certains de ces gènes dominants, de sorte que la pollinisation ouverte des hybrides blancs tendra à les faire dégénérer en variétés brunes. Les replantations répétées de graines récoltées s'accompagnent souvent d'un plus grand nombre de graines comportant un testa. Ces graines sont beaucoup plus difficiles à moudre que celles qui n'en ont pas.

Les sorghos bruns tendent à être plus tendres que le sorgho blanc et sont plus vulnérables aux dégâts causés par les insectes lors du stockage que les sorghos blancs. Ils sont en revanche nettement moins vulnérables aux attaques de champignons avant la récolte et pendant le stockage.

C'est pour le traitement que les sorghos bruns présentent le plus de difficultés, pour les raisons suivantes:

- Lorsque le péricarpe est progressivement éliminé de l'extérieur, le testa est pratiquement la dernière couche à être éliminée.
- Lorsqu'un sorgho brun a récemment été humidifié, le péricarpe tend à se séparer juste au-dessus du testa. Si le péricarpe est alors éliminé par frottement, le testa humide reste fermement attaché à l'endosperme.
- Les sorghos bruns sont souvent très tendres, et l'endosperme tend à se casser si la graine est soumise à un impact mécanique.

Le meilleur moyen de séparer le testa d'un sorgho brun de l'endosperme est de couper l'endosperme de l'intérieur du péricarpe, comme cela se produit dans la mouture par broyeur à cylindres. Cela n'est cependant pas possible avec les

méthodes traditionnelles. C'est pour ces raisons qu'on n'utilise généralement les sorghos bruns que pour la production de bière, où une certaine amertume et une certaine couleur ne sont pas seulement acceptables mais souvent recherchées.

Stockage

L'objectif du stockage est de préserver autant que possible la valeur de la graine pour son utilisation future prévue, autrement dit de conserver une proportion aussi élevée que possible soit de semences viables pour plantation à la saison suivante, soit de la valeur alimentaire de la graine pendant un temps aussi long que possible. Plusieurs facteurs conduisent à des pertes de viabilité et d'éléments nutritifs, mais globalement les principales causes de perte sont les déprédations causées par les ravageurs (insectes, oiseaux et rongeurs) et les dégâts dus aux moisissures. La germination de la graine entraîne aussi des pertes, mais à une moindre échelle. Les céréales sont stockées par les consommateurs et les industriels afin d'être utilisées plus tard; elles sont aussi stockées par les négociants pour la revente, généralement sur le marché intérieur mais parfois pour l'exportation.

L'humidité dans la graine et la température de stockage sont les facteurs physiques qui contribuent le plus aux pertes (FAO, 1970b). L'essentiel de l'activité qui provoque ces pertes est d'autant plus rapide que la température augmente. Lorsqu'il y a des changements même mineurs de température, l'humidité se déplace et s'accumule dans certaines zones, soit près du sommet du conteneur, soit dans des endroits qui sont plus frais que le reste.

Cela permet souvent une activité microbologique dans des graines comparativement sèches. Cette activité produit en général de la chaleur et, dans les entrepôts non ventilés, les endroits qui sont devenus humides peuvent devenir chauds jusqu'à carbonisation. À ce stade, la graine est inutilisable. Elle peut même prendre feu lorsqu'elle est exposée à l'air.

Le remplissage des conteneurs de stockage se fait de préférence en début de journée lorsque l'air est frais et que l'humidité est souvent à son niveau le plus bas. Il convient de conditionner le grain aussi serré que possible de façon à laisser le minimum de place aux insectes pour se déplacer et se reproduire. On mélange parfois du sable avec le grain afin de réduire encore les espaces libres. Des études menées au Sénégal ont montré que lorsqu'on mélangeait du sorgho et du mil convenablement séchés et battus avec 30 pour cent de sable, les pertes en stockage étaient réduites.

Pushpamma et al. (1985) ont constaté que les pertes en stockage sur sept mois étaient plus importantes pour le sorgho que

pour le mil chandelle, pour lequel elles étaient plus importantes que pour l'leusine (tableau 14). Ils ont aussi constaté que la teneur en humidité de tous les grains stockés augmentait et que les niveaux de niacine et de protéine diminuaient (tableau 15). Rao et Vimala (1993) ont montré que le prétraitement du grain de sorgho à l'aide de phosphate tricalcique à 2 pour cent réduisait le rancissement pendant le stockage.

L'influence de l'humidité de la graine (humidité relative), de la température et de l'atmosphère environnante sur la germination du sorgho a été étudiée par Bass et Stanwood (1978). Les graines de sorgho ont été stockées dans des conteneurs en métal hermétiquement fermés dans six atmosphères différentes (air, azote, dioxyde de carbone, hélium, argon et vide), à trois niveaux différents d'humidité et cinq températures différentes, pendant une période de 16 mois. La température était le seul paramètre qui modifiait la rapidité de germination; celle-ci était au minimum -12°C.

Les méthodes utilisées pour stocker les graines dépendent de la valeur de la denrée en question, de la quantité stockée et des conditions environnementales. Comparés à d'autres céréales, le sorgho et les mils ne font pas l'objet d'échanges importants sur le plan international, et dans les pays en développement où on les cultive pour l'alimentation humaine il y a généralement équilibre entre la production et la demande locale. Les agriculteurs et les ménages ruraux des pays en développement stockent l'essentiel de la récolte dans de petits dépôts. Il n'y a guère de nécessité de stockage en grande quantité de ces produits.

TABLEAU 14 - Dégradation et perte de poids du sorgho et des mils conservés au niveau des ménages, en Inde

Durée du stockage	Pourcentage de dégradation		Pourcentage de perte de poids	Augmentation d'acide urique (mg / 100g)
	En poids	En nombre		
Sorgho				
1 mois	3	3	0,2	0,0
5 mois	5	6	1,5	4,3
9 mois	9	11	2,4	5,4

Mil chandelle				
1 mois	0	0	0,1	0,0
5 mois	2	2	0,2	3,3
9 mois	2	4	1,0	3,6
Eleusine				
1 mois	0	1	0,0	0,0
5 mois	0	1	0,0	1,4
9 mois	0	1	0,1	1,6

Source: Pushpamma et al., 1985.

Les conteneurs de stockage varient des petits conteneurs traditionnels de la ferme ou de la maison à des silos que l'on trouve parfois dans les grandes exploitations. Dans de nombreux pays, on construit de petits greniers en tressant des végétaux tels que bambou, paille, corce et petites branches, puis on bouche les trous avec de la boue ou de la bouse. On peut les construire directement sur le sol ou les surélever sur des plates-formes ou sur pilotis.

Méthodes de stockage en Afrique

Dans certains pays d'Afrique de l'Ouest, les graines de sorgho et de mil sont mélangées à de la cendre de bois et stockées dans des pots en terre (Vogel et Graham, 1979). Au Nigeria, on stocke le sorgho et les mils à l'état d'épis non battus dans des conteneurs parfois pleines appelés rumbus. Pour le stockage de courte durée, on dispose les paquets de panicules de sorgho et d'épis de mil en couches dans ces rumbus. Pour un stockage de trois à six ans, on dispose les épis séparés et non en paquets. Certains agriculteurs étalent les feuilles de gwander daji (*Anona senegalensis*) sur le fond du rumbu et entre chaque couche de graines. Lorsqu'un rumbu est plein, l'orifice est fermé de façon étanche avec de l'argile.

TABLEAU 15 - Composition chimique du sorgho et des mils conservés pendant des durées différentes (hors humidité)

Durée	Nombre	Humidité	Protéines	Azote non	Thiamine	Riboflavine	Niacine
-------	--------	----------	-----------	-----------	----------	-------------	---------

de stockage	d'☛chantillons	(%)	(g)	prot☛ique (mg)	(mg)	(mg)	(mg)
Sorgho							
1 mois	26	10,4	8,5	326	0,32	0,18	2,3
5 mois	26	10,4 (0)	8,2 (-3,5)	240 (+1,7)	0,31 (- 3,1)	0,16 (-11,1)	2,1 (- 8,7)
9 mois	22	11,1 (+6,7)	7,6 (-10,6)	246 (+4,3)	0,24 (- 25,1)	0,16 (-11,1)	2,0 (- 13,0)
Mil chandelle							
1 mois	18	9,3	10,0	282	0,33	0,21	2,4
5 mois	18	11,0 (+18,3)	9,9 (-1,0)	285 (+1,1)	0,29 (- 12,1)	0,21 (0)	2,4 (0)
9 mois	12	10,7 (+15,1)	8,9 (-11,0)	297 (+5,3)	0,20 (- 39,4)	0,21 (0)	2,0 (- 16,7)
Eleusine							
1 mois	7	10,9	7,6	193	0,37	0,19	1,3
5 mois	7	10,9 (0)	7,4 (-2,6)	216 (+12,0)	0,33 (- 10,8)	0,18 (-5,3)	1,3 (0)
9 mois	7	11,6 (+6,4)	7,2 (-5,3)	275 (+42,5)	0,21 (- 43,2)	0,17 (-10,5)	1,1 (- 15,4)

Note: Les chiffres entre parenthèses indiquent des diminutions en pourcentage (-) ou des augmentations (+) par rapport aux valeurs initiales de l'☛chantillon.

Source: Pushpamma ,1985.

En Ouganda, le sorgho est battu et stocké dans des sacs de jute, tandis que les mils sont stockés sans avoir été battus. Au Soudan, on utilise des dépôts souterrains consistant en puits contenant de 2 à 5 tonnes de grain.

Méthodes de stockage en Inde

La plus grande partie du sorgho et des mils cultivés dans l'Andhra Pradesh sert la consommation des ménages. Pushpamma et Chittemma Rao (1981) ont décrit les diverses façons dont ces céréales sont stockées dans cette région. Cela se fait parfois sur le sol, généralement en entassant les épis (à l'intérieur ou à l'extérieur) et en les couvrant avec de la paille. A mesure que l'on a besoin de grains, les épis sont retirés et battus. Plus souvent, le stockage se fait dans des sacs de jute, qui sont empilés soit sur le sol soit sur des plates-formes en bois surélevées. On utilise aussi des puits souterrains, qui peuvent être situés sous la maison ou à l'extérieur. Les parois du puits sont revêtues de paille de paddy ou de sorgho. Lorsque le puits est plein, le grain est couvert avec de la paille et de la terre. Pour un stockage de plus longue durée, on couvre le sommet avec de la boue. Les jarres, silos et conteneurs de stockage sont fabriqués à partir d'un certain nombre de matériaux différents. A petite échelle, le grain est stocké dans des pots en argile. Les conteneurs plus importants sont faits de bois, de briques ou de pierres ou consistent en un panier qui est ensuite fermé hermétiquement à l'aide d'argile ou de bouse. Lorsque ces conteneurs restent à l'intérieur, on les laisse parfois découverts, mais lorsqu'on les conserve à l'extérieur on les couvre soit avec un couvercle, soit avec un toit de chaume. Si le grain doit être stocké pendant longtemps, on recouvre le sommet du conteneur avec de la boue ou de la bouse. Une exposition occasionnelle au soleil est la mesure la plus généralement utilisée pour empêcher l'infestation par les insectes.

Stockage de la farine

La farine est généralement fabriquée au fur et à mesure des besoins. Il n'est pas courant qu'on la stocke pendant de longues périodes car elle a tendance à devenir rance. C'est particulièrement le cas pour la farine de mil chandelle en raison de sa très forte teneur en matière grasse. Il vaut donc mieux stocker le sorgho et les mils, en particulier le mil chandelle, sous forme de graines entières.

Méthodes traditionnelles de transformation

Transformation des graines non traitées

La farine produite par mouture de la graine complète est parfois utilisée, surtout lorsqu'il s'agit de petits mils, mais dans la plupart des régions où l'on consomme le sorgho et les mils, la graine est partiellement divisée en ses constituants avant d'être utilisée pour confectionner des aliments.

Le premier objectif de la transformation est généralement d'éliminer une partie du son qui constitue les couches extérieures fibreuses de la graine. Cela se fait généralement en pilant puis en vannant ou en tamisant. La graine peut tout d'abord être humidifiée par addition d'environ 10 pour cent d'eau ou par trempage toute la nuit. Lorsqu'on pile les graines dures, l'endosperme reste relativement intact et peut être séparé des gros gruaux par vannage. Avec les graines tendres, l'endosperme se défait en petites particules et le péricarpe peut être séparé par vannage et tamisage.

Lorsqu'on pile du grain convenablement préparé, la fraction son contient l'essentiel du péricarpe ainsi qu'une partie du germe et de l'endosperme. Cette fraction est généralement utilisée pour l'alimentation des animaux domestiques. L'autre fraction, qui contient l'essentiel de l'endosperme et une grande partie du germe ainsi qu'une partie du péricarpe, est conservée pour la consommation humaine.

La conservation du germe dans la farine améliore certains aspects de la qualité nutritionnelle, mais en même temps elle accélère le rancissement. C'est particulièrement important dans le cas du mil chandelle. Le grain sec, humidifié ou mouillé est normalement pilé à l'aide d'un pilon en bois dans un mortier en bois ou en pierre. L'addition d'environ 10 pour cent d'eau facilite non seulement l'élimination du son fibreux, mais aussi la séparation du germe et de l'endosperme, si on le souhaite. Bien que l'on obtienne une farine légèrement humide, la plupart des gens font tremper le grain de cette façon avant de le piler. Le pilage de grain humide ou sec à la main est très laborieux, extrêmement long et inefficace. Une femme qui travaille dur avec un pilon et un mortier peut, dans le meilleur des cas, décortiquer seulement 1,5 kg à l'heure (Perten, 1983). Le pilage ne donne pas un produit uniforme, et ce dernier se garde mal. De nombreux grains de mil chandelle présentent une dentelure irrégulière dans le péricarpe, ce qui fait qu'il est plus difficile de les décortiquer que pour la plupart des autres céréales (Kent, 1983).

La taille des particules de la fraction endosperme peut être réduite par broyage ou mouture pour produire soit du gruaux soit de la farine fine. Ce travail pénible est presque toujours fait par les femmes. Les meules traditionnelles utilisées pour le broyage de la graine complète ou décortiquée en farine sont généralement constituées d'une petite pierre que l'on tient dans la main et d'une pierre plate plus grande qui est placée sur le sol (Subramanian et Jambunatha, 1980; Vogel et

Graham, 1979). Les grains, qui doivent être assez secs, sont broyés et pulvérisés par le mouvement vers l'avant et vers l'arrière de la pierre tenue à la main sur la pierre posée au sol. Ce travail est très laborieux, et il est très difficile pour quiconque de moudre plus de 2 kg de farine à l'heure. Dans un processus traditionnel utilisé dans de nombreux pays d'Afrique et d'Asie, le grain décortiqué est broyé en farine grossière, soit au mortier soit entre des pierres. Le grain est également moulu en farine grossière ou fine par des moulins à disques mécanisés que l'on trouve maintenant dans de nombreux villages.

Pour la mouture à l'état humide, le sorgho et les mils sont trempés dans l'eau toute la nuit (et parfois plus longtemps) puis écrasés à la main, souvent entre deux pierres, pour former une pâte. Le trempage rend l'endosperme très tendre et le péricarpe très dur, et il facilite le broyage, mais au lieu d'obtenir une farine on obtient une pâte.

Transformation des grains maltés

Le maltage implique de faire germer le grain avec apparition d'une pousse. En général, le grain est trempé pendant 16 à 24 heures, ce qui lui permet d'absorber suffisamment d'humidité pour germer et pour que des pousses apparaissent. Cependant, les racinelles et les pousses du sorgho germé contiennent de très grandes quantités de dhurrine, glucoside cyanogène, qui à l'hydrolyse produit une toxine puissante connue sous différents noms: acide prussique, acide cyanhydrique (HCN) et cyanure (Panasiuk et Bills, 1984). Les jeunes pousses et racinelles du sorgho germé et leurs extraits ne doivent donc jamais être consommés, que ce soit par des personnes ou par des animaux, si ce n'est en quantité minimale (par exemple lorsqu'on utilise le grain germé uniquement comme source d'enzymes). Dada et Dendy (1988) ont montré que l'élimination des pousses et des racinelles et la transformation ultérieure réduisaient la teneur en HCN de plus de 90 pour cent.

Le sorgho malté est traditionnellement utilisé dans plusieurs pays d'Afrique, mais toujours après élimination soignée des parties toxiques. L'hullu-murr est un aliment traditionnel important préparé au Soudan à partir de sorgho malté (Bureng, Badi et Monowar, 1987). Au Kenya, on prépare avec du sorgho et du mil germés des boissons alcooliques et des bouillies.

Au cours du processus de germination, le grain produit de l'alpha-amylase, une enzyme qui convertit l'amidon insoluble en sucres solubles. Cela a pour effet d'alléger la pâte produite en chauffant une bouillie d'amidon dans l'eau, ce qui à son tour permet une plus grande densité calorifique dans une pâte d'une viscosité donnée (on peut utiliser jusqu'à trois fois

plus de farine quand le grain a été germé). L'énergie que les jeunes enfants peuvent consommer est souvent limitée par le volume qu'ils peuvent absorber. En utilisant le grain germé, on peut rendre les aliments mieux adaptés à certaines catégories de jeunes enfants. La farine à base de grains maltés est donc utilisée très largement dans la production d'aliments pour enfants, mais, lorsque ces aliments sont préparés à partir du sorgho, il faut toujours faire très attention que le niveau de cyanure soit suffisamment bas car les enfants y sont particulièrement vulnérables.

En Inde, l'enzyme maltée est courante, et le produit est considéré comme supérieur au sorgho et au maïs maltés. Des études ont montré que l'enzyme développe une plus forte activité de l'amylase que le sorgho et les autres mils (Seenappa, 1988). On a signalé que la germination du grain changeait la composition en acides aminés, convertissait l'amidon en sucre et améliorait la disponibilité de matière grasse, vitamines et sels minéraux.

Pal, Wagle et Sheorain (1976) ont mesuré les variations des constituants du sorgho et de divers mils (enzyme, mil chandelle, millet commun, millet indigène et moha du Japon) au cours du maltage. Les pertes étaient élevées pour l'enzyme et le millet des oiseaux. Le mil chandelle est celui qui présentait la plus forte activité d'alpha-amylase. Les niveaux d'enzyme amylolytique et protéolytique dans le mil chandelle malté étaient comparables à ceux trouvés dans l'orge maltée. L'utilisation de 5 pour cent seulement de sorgho ou d'enzyme maltés réduisait la viscosité des aliments de sevrage (Mosha et Svanberg, 1983; Seenappa, 1988).

Transformation du grain traité à l'alcali

Pour produire un type particulier de tortilla populaire au Mexique, on fait cuire les grains de sorgho dans l'eau de chaux pendant peu de temps, on les laisse macérer toute la nuit, on les rince pour éliminer l'excès d'alcali, puis on les broie pour obtenir une pâte (Rizley et Suter, 1977).

Dans les traitements traditionnels, on utilise la cendre de bois pour réduire le niveau de tanin dans les sorghos bruns et en améliorer la qualité nutritionnelle. Muindi et Thomke (1981) ont signalé l'utilisation de cendre de bois en République-Unie de Tanzanie. Mukuru (1992) a décrit une technique pour réduire le taux de tanin, utilisée dans certaines parties de l'Afrique orientale et centrale où, à cause des ravages causés par les oiseaux, on ne cultive que des sorghos à teneur élevée en tanin. On fait d'abord tremper le sorgho toute la nuit dans une bouillie de cendre de bois et d'eau. Après égouttage, on le laisse trois ou quatre jours pour qu'il germe. Les grains germés sont séchés au soleil et pilés pour détacher la cendre de bois qui y adhère et éliminer les pousses qui contiennent de fortes quantités de cyanure. Le grain

est ensuite moulu et utilisé pour préparer soit une boisson non alcoolique appelée obushara, soit une boisson alcoolique contenant environ 3 pour cent d'alcool appelé omuramba.

Transformation du grain blanchi

On a signalé que le blanchiment aidait à décortiquer le millet indigène (Shrestha, 1972) et à éliminer le caractère gluant du porridge d'orgeleusine cuit (Desikachar, 1975).

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">](#)

Transformation industrielle

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Il existe beaucoup de machines pour la transformation du sorgho blanc dur, mais il n'existe malheureusement pas de processus industriel qui se soit révélé entièrement satisfaisant pour fabriquer des produits blancs à partir de sorghos et de mils colorés.

Les grains de céréales peuvent être moulus humides sous forme de fine bouillie aqueuse, généralement pour produire de l'amidon, ou sous forme de peu pressée sèche (souvent un peu humidifiée), et le produit est alors généralement une farine (grossière ou fine). Au Texas, une usine de mouture du sorgho à l'état humide a fonctionné de façon intermittente des années 40 aux années 70 (Rooney, 1992), mais elle est aujourd'hui fermée. Aucun mil n'a jamais été moulu commercialement de cette façon pour produire de l'amidon. Les technologies décrites ci-dessous sont toutes pour la mouture à sec ou à l'état semi-humide.

Dans les procédés industriels, une fois que le grain a été nettoyé, la première opération consiste généralement à séparer les déchets (qui normalement ne sont pas utilisés pour la consommation humaine) de la partie comestible. Ces

déchets se composent du péricarpe et parfois du germe. Leur élimination est souvent appelée décortiquage.

Après l'élimination des déchets, la partie comestible est souvent moulue pour réduire la taille des particules. Il existe généralement toute une gamme de techniques et de machines que l'on peut utiliser pour réduire la taille des particules si l'on souhaite un produit plus fin. Certains des premiers travaux de recherche et développement sur la technologie de mouture du mil chandelle et du sorgho ont été lancés sous l'égide de la FAO en 1964, d'abord en laboratoire au Sénégal et plus tard à une échelle semi-industrielle au Soudan. La conclusion a été que la technologie de mouture du blé n'est pas la meilleure pour la mouture du sorgho et du mil (Perten, 1977).

La plupart des opérations industrielles qui peuvent se faire sur le grain non traité peuvent aussi se faire sur du grain préparé d'une façon ou d'une autre, par exemple du grain que l'on a fait germer puis sécher au degré voulu.

Trois types de machines peuvent être utilisés pour la mouture du sorgho et des mils à l'échelle commerciale: décortiqueuses par abrasion (abrasion du péricarpe, c'est-à-dire élimination progressive des déchets en partant de l'extérieur), machines pour retirer le péricarpe (par frottement) et broyeurs à cylindres (qui découpent l'endosperme de l'intérieur du péricarpe).

Décortiquage abrasif

Les décortiqueuses par abrasion fonctionnent en abrasant le péricarpe fibreux. Il est évident que les couches externes de l'enveloppe sont éliminées en premier; les couches intérieures, qui dans de nombreuses variétés contiennent les facteurs qu'il est le plus nécessaire d'éliminer, sont les dernières à être abrasées. Si toutes les parties de tous les grains pouvaient être abrasées au même rythme, le décortiquage par abrasion serait un moyen efficace d'éliminer le péricarpe. Or, les différentes parties de chaque grain sont abrasées à des rythmes très différents, et il y a perte d'endosperme (en particulier lorsque les grains sont endommagés), même lorsque le grain n'est que légèrement abrasé. En outre, les grains non sphériques, par exemple ceux du mil chandelle, tendent à être abrasés beaucoup plus vite à certains endroits qu'à d'autres.

Lorsque du sorgho blanc dur, non contaminé par des graines à testa rouge, est décortiqué dans une décortiqueuse par abrasion, tout péricarpe laissé sur le grain est difficile à voir et lorsque le grain perlé est moulu, la présence du péricarpe passe largement inaperçue. Cela dit, l'aptitude des décortiqueuses abrasives à produire un produit

suffisamment blanc diminue fortement lorsque les niveaux de contamination par des graines à enveloppe colorée augmentent. Lorsque les graines contaminantes ont un testa rouge (coloré en profondeur et qui est pratiquement la dernière couche à être abrasive), l'aptitude de la décortiqueuse à produire un produit suffisamment blanc diminue encore plus nettement. Le problème est aggravé par le fait que de nombreuses graines contaminantes sont relativement tendres et que l'endosperme exposé est rapidement éliminé. De ce fait, les rendements de mouture tombent souvent à des niveaux beaucoup trop faibles.

Les décortiqueuses produisent ce qui visuellement est un produit très acceptable avec un bon rendement lorsque le grain est bien adapté au décortiquage abrasif. Cependant, si le grain à moulin ne comporte pas toujours une très forte proportion de graines dures, blanches, sphériques et d'une taille assez régulière, il convient d'effectuer une analyse très sérieuse de l'économie de l'utilisation d'une décortiqueuse abrasive en se basant sur les taux de récupération obtenus par des moutures expérimentales.

Même si les décortiqueuses sont bien adaptées aux opérations à petite échelle, ce sont des machines qui se sont souvent révélées trop importantes pour le système dans lequel elles étaient introduites. Il existe de nombreux exemples d'un succès partiel soit en raison du manque d'approvisionnement en grains de haute qualité nécessaires pour qu'elles fonctionnent convenablement, soit faute de demande locale suffisante du produit. Les très petites unités ont toutes les chances de donner un moins bon rendement que les plus grandes.

La plupart des décortiqueuses sont dérivées d'un prototype sorti par le Laboratoire régional de la Prairie (PRL) au Canada. Ce type de décortiqueuse a l'énorme avantage d'être relativement peu coûteux à installer et relativement simple à entretenir et à faire fonctionner. Bassey et Schmidt (1989) ont décrit le développement de ce type de décortiqueuse et son utilisation en Afrique. Plus récemment, cette machine a été introduite en Inde.

En 1976, un prototype de décortiqueuse a été mis en place à Maiduguri, au Nigeria. Une unité plus importante destinée à traiter de 5 à 10 tonnes de sorgho par jour a été installée à Pitsane dans le sud du Botswana en 1978, mais la demande du produit était insuffisante pour pouvoir faire fonctionner l'équipement à pleine capacité. Le Centre national de recherches agronomiques (CNRA) de Bambey, au Sénégal, a commencé en 1979 à utiliser une décortiqueuse PRL pour le sorgho et les mils. Sa capacité dépassait elle aussi la demande.

La FAO a fourni au Food Research Centre (FRC) du Soudan une usine pilote comportant une décortiqueuse fabriquée en

Allemagne, après comparaison par le FRC de décortiqueuses de plusieurs fabricants différents. Le FRC décortique actuellement le sorgho blanc pour un marché urbain local. Il a aussi produit du sorgho perlé à titre de substitut du riz (Badi, Perten et Abert, 1980); bien que le produit doive être cuit beaucoup plus longtemps que le riz, il a été bien accepté. Parmi les cinq variétés de sorgho les plus populaires cultivées au Soudan, deux (Feterita et Mayo) ne conviennent pas au décortilage abrasif.

James et Nyambati (1987) ont décrit la préparation industrielle du sorgho brun et blanc perlé au Kenya à l'aide d'une décortiqueuse qui pouvait mouliner le sorgho en lots ou en continu, mais ils ont constaté qu'il était difficile d'obtenir suffisamment de sorgho convenant à la transformation. Le produit était vendu à 60 pour cent du prix du riz et très bien accepté par les consommateurs. De la farine était également produite à partir du grain perlé.

Diverses modifications ont été apportées à la conception du PRL en fonction de conditions particulières. Une variante de la décortiqueuse PRL a été mise au point au début des années 80 par Palyi et testée au Canada. Le BR 001-2 Palyi Hanson peut mouliner 3 tonnes à l'heure. En Gambie, une décortiqueuse PRL a été testée sur une période d'un an pendant laquelle elle a décortiqué 50 tonnes de mil chandelle sous direction locale, après quoi des modifications ont été apportées à la conception. En 1986, le Centre rural d'innovation industrielle (RIIC) a apporté une modification à la machine, lui permettant de traiter de petites quantités de grain (Bassey et Schmidt, 1989). En 1989, environ 35 décortiqueuses RIIC avaient été installées au Botswana, mais pour une raison ou une autre elles ne sont plus toutes utilisées pour la mouture du sorgho ou des mils. À leur tour, les organismes locaux de certains des principaux pays vers lesquels le modèle RIIC avait été exporté (notamment le Zimbabwe et le Sénégal) ont jugé nécessaire de modifier cette conception pour en améliorer le fonctionnement avec du grain local.

Au Zimbabwe, des décortiqueuses ont été mises en place dans cinq lieux ruraux pour évaluation. Un groupe local de recherche, Environment Development Activities, a produit une version modifiée qui peut traiter une tonne de grain en 8 heures. Au Sénégal, une modification locale a été évaluée dans 10 villages. Des décortiqueuses fondées sur une deuxième conception locale (appelée la mini-SISMAR/ISRA), qui peut mouliner environ 600 kg de grain en 8 heures, ont alors été introduites.

Des équipements de conception RIIC ont été introduits à Morogoro, en République-Unie de Tanzanie, en 1982. Bien que la première unité ait échoué, quatre systèmes pilotes ont été mis en place localement pour évaluation. En 1982, un

moulin doté d'une décortiqueuse RIIC a été mis en place en Ethiopie, mais les approvisionnements en grain étaient insuffisants en raison de la sécheresse.

Il y a eu aussi un effort intensif pour introduire des décortiqueuses RIIC dans l'Andhra Pradesh. Le décortiquage a amélioré la qualité de la farine de sorgho et de mil, de sorte qu'on a pu l'utiliser de manières nouvelles (Geervani et Vimala, 1993).

Les sorghos haut rendement introduits au Mali étaient tendres et ne pouvaient être décortiqués dans des décortiqueuses type PRL (Scheuring et al., 1983).

Un certain nombre de grosses décortiqueuses ont été installées à travers le monde, avec un rendement de 1 à 2,5 tonnes à l'heure. Il s'agit en général d'unités à axe vertical munies de disques abrasifs qui ont été soigneusement choisis pour réaliser un degré optimal d'abrasion. On commence par nettoyer le grain pour enlever le sable, la poussière et autres impuretés. Un aspirateur élimine le son abrasé au travers d'un tamis. Le son est parfois encore séparé en son fin (essentiellement du péricarpe) et un mélange de germe, de grains brisés et de son grossier. Une décortiqueuse de 1 tonne à l'heure fabriquée en Suisse a fonctionné pendant plusieurs années au Zimbabwe pour préparer une farine grossière de sorgho qui passait ensuite dans un moulin à farine de blé. Une unité de 2,5 tonnes à l'heure fabriquée en Allemagne a été installée au Soudan. D'autres grandes unités seraient en exploitation au Nigeria. Comme pour les petites unités, il faut du sorgho de haute qualité pour obtenir un produit suffisamment blanc dans ces grandes décortiqueuses. Or, il n'est pas fréquent que l'on dispose de quantités suffisantes de sorgho de haute qualité pour maintenir les grands moulins en fonctionnement à plein régime.

Techniques de frottement

Munck, Bach Knudsen et Axtell (1982) ont décrit un nouveau processus de mouture industrielle mis au point au Danemark, qui ne comporte pas de mouture abrasive. Le décortiquage est réalisé par un rotor en acier faisant tourner la masse de grains dans une chambre généralement cylindrique. Lorsque le grain est suffisamment trempé, le péricarpe est éliminé par frottement d'une graine contre l'autre. Lorsque le grain est trop sec, cependant, comme cela a été le cas dans une usine au Soudan, les composants intérieurs du moulin subissent une forte abrasion. Les fragments d'enveloppe et d'endosperme sont séparés dans un cyclone et les particules d'endosperme moulues dans un moulin non commercial. Ces unités ont une capacité de 2 tonnes de sorgho à l'heure. Le système aurait un rendement de 80 pour cent de farine d'une blancheur comparable à celle obtenue par mouture traditionnelle, mais cela exige un grain dont les spécifications sont analogues à

celles exigées pour un décorticage abrasif efficace.

Broyeurs à cylindres

Le blé est le plus souvent moulu par des broyeurs à cylindres. Ce sont les plus efficaces pour séparer les constituants des céréales. Deux types de cylindres sont utilisés: les cylindres annelés qui séparent l'endosperme du péricarpe (en le coupant de l'intérieur), et les cylindres lisses, qui broient progressivement les morceaux d'endosperme en une farine de plus en plus fine. Normalement, le grain passe par un certain nombre de broyeurs, souvent 20 ou plus. La technologie de mouture du blé convient pour moudre de grandes quantités de grain, mais elle exige d'importants investissements et une grande expérience du fonctionnement et de l'entretien de l'équipement. Pour toutes ces raisons, elle ne convient pas pour moudre le sorgho et les mils en très petites quantités. Les broyeurs à cylindres sont cependant très efficaces pour séparer la partie comestible des céréales des déchets et ils peuvent le faire pour le sorgho et les mils quelles que soient les caractéristiques physiques du grain - qu'il soit tendre, coloré ou brisé. Cette technologie pourrait donc avoir sa place là où l'on a besoin de produits de haute qualité obtenus à partir de quantités relativement importantes de grains de qualité médiocre ou moyenne, particulièrement lorsqu'un moulin à blé a une capacité excédentaire.

Pour résister au stress du broyage par cylindres, le péricarpe du sorgho et des mils doit être beaucoup plus humide que celui du blé. Les premiers efforts pour moudre le sorgho et les mils par cette technique ont toujours échoué parce que le grain était sec lorsqu'on voulait le moudre. Il se défaisait, le péricarpe se brisant en petits morceaux qui étaient trop cassants pour permettre la séparation de l'endosperme. Avec des techniques traditionnelles de trempage, Perten (1983) n'a pas pu réussir une séparation efficace des déchets du sorgho ou des mils de l'endosperme. Il en a conclu que le sorgho et les mils sont plus difficiles à moudre que le blé et qu'ils produisent une farine plus grossière et beaucoup plus sombre contenant des niveaux élevés de matière grasse et de cendres.

L'utilisation de niveaux d'humidité beaucoup plus élevés que ceux qui sont utilisés pour le blé a été signalée pour la première fois par Abdelrahman, Hoseney et Varriano-Marston (1983) pour le mil chandelle et par Cecil (1986, 1992) pour d'autres mils et le sorgho. Le terme de mouture semi-humide a été adopté pour cette nouvelle technique. Pour les mils, il faut équilibrer 10 pour cent d'eau environ dans le grain pendant 4 heures avant qu'il ne soit prêt à être moulu; pour le sorgho, il faut ajouter environ 20 pour cent d'humidité et conditionner le grain pendant 6 heures. Les matières humides coulent presque aussi facilement que les produits du blé normalement trempés, et on n'a rencontré aucun problème de

blochage en plusieurs heures de mouture de 2 tonnes de l'heure de sorgho rouge dans un moulin commercial. Dans les premières expérimentations, on a obtenu des rendements relativement faibles de farine fine, mais les travaux ultérieurs ont produit un gruaux à faible teneur en fibres et en tanin à partir de sorgho rouge dans un moulin commercial comportant six passages, avec un rendement de 72 pour cent (comparé au rendement général de 70 pour cent du blé). Dans un moulin de laboratoire comportant trois passages, on a obtenu un rendement de 84 pour cent de gruaux à partir de sorgho blanc commercial du Botswana et 83 pour cent de gruaux à partir du sorgho blanc du Lesotho. Tous les gruaux contenaient très peu de fibres.

La mouture semi-humide présente plusieurs avantages, notamment l'excellente séparation des déchets de la partie comestible et la possibilité d'utiliser les équipements de mouture de blé commerciaux existants et éprouvés, sans avoir à modifier le montage des moulins. A partir de variétés colorées à fortes teneurs en tanin, on peut produire une farine blanche pratiquement sans tanin, qui a meilleur goût et meilleur aspect et qui est nutritionnellement supérieure à la farine qui contient du tanin. Des mélanges de sorgho ou de mil, des variétés tendres, des graines mal formées et des mélanges de sorgho avec d'autres grains (y compris du blé) peuvent tous être moulus ensemble si nécessaire. Le mouillage de l'endosperme l'attendrit de telle sorte qu'il faut très peu d'énergie pour le mouler. La mouture du mil chandelle par la technique semi-humide, contrairement au décorticage abrasif, peut aider à éliminer les substances qui causent le goitre (Klopfenstein, Leipold et Cecil, 1991).

Les moulins à blé inutilisés ou sous-utilisés peuvent servir moyennant des adjonctions minimales, et on peut les reconverter la mouture du blé en quelques minutes. Ou bien encore, on peut mouler n'importe quel type de sorgho en même temps que du blé. Pendant une période d'environ cinq jours, 0,6 tonne de sorgho rouge et 14 tonnes de blé à l'heure ont été moulus ensemble sans difficulté dans un moulin commercial au Zimbabwe.

La mouture semi-humide a pourtant certains inconvénients. Bien qu'il ne soit pas très difficile ou très coûteux dans un système commercial de sécher les produits de ce type de mouture, ils sont généralement trop humides pour pouvoir être stockés longtemps. Dans la mouture semi-humide, la croissance microbologique pourrait être plus vigoureuse que dans la mouture conventionnelle du blé, mais une attention raisonnable portée à l'hygiène réduira ce problème au minimum. La mouture semi-humide ne convient pas pour des opérations à très faible échelle. Enfin, bien qu'on ait montré qu'il est possible de procéder à la mouture semi-humide du sorgho sans aucune difficulté dans les équipements commerciaux, la technique n'a pas encore fait ses preuves pendant une période prolongée.

Réduction de taille

Beaucoup de moulins pourraient être utilisés pour réduire la taille des particules obtenues par décorticage, mais le type le plus généralement utilisé (et probablement aussi le plus simple à employer et le moins cher à installer) est un moulin à marteau. Ce type de moulin est disponible dans toutes les dimensions. Il se compose de lames moussées tournant rapidement dans un cylindre qui comporte un orifice couvert par un tamis. La taille des trous du tamis détermine la taille des particules de la farine, mais les petits trous réduisent le débit du moulin et s'ils sont trop petits ils peuvent provoquer une surchauffe.

Si l'on utilise les broyeurs à cylindres pour séparer l'endosperme des déchets, la taille des particules est généralement réduite dans les broyeurs à cylindres lisses.

Chapitre 4 - Composition chimique et valeur nutritive

Le contenu en éléments nutritifs des fractions de grains de sorgho et de mil chandelle est donné au tableau 16. Le son de sorgho est faible en protéines et cendres et riche en fibres. La fraction germe du sorgho est riche en cendres, protéines et huile, mais très pauvre en amidon. Plus de 68 pour cent de la matière minérale totale et 75 pour cent de l'huile du grain complet se situent dans la fraction germe, dont la contribution à la teneur en protéines du grain n'est que de 15 pour cent. Le germe de sorgho est également riche en vitamines du complexe B. L'endosperme, partie la plus importante du grain, est relativement pauvre en matières minérales, cendres et huile. Il contient en revanche 80 pour cent des protéines du grain entier, 94 pour cent de l'amidon et de SO₂ 75 pour cent des vitamines du complexe B.

Le son de mil chandelle est également faible en matières minérales, comme celui du sorgho, mais il est remarquablement riche en protéines (17,1 pour cent). Dans le mil chandelle, la fraction germe est relativement importante: 16 pour cent contre 10 pour cent dans le sorgho. Elle est également riche en huile (32 pour cent), protéines (19 pour cent) et cendres (10,4 pour cent). Pratiquement toute l'huile (87 pour cent) du grain complet se situe dans la fraction germe, qui représente également plus de 72 pour cent du total de la matière minérale. La concentration de sels minéraux plus forte dans le germe et le son que dans l'endosperme est caractéristique des grains de céréales (MacMaster, Hinton et Bradbury, 1971). La teneur totale en matière grasse du mil chandelle est relativement plus élevée que dans les autres mils et le sorgho, en

raison de la dimension du germe, de sa forte teneur en huile et des niveaux relativement plus élevés de matière grasse dans la fraction son.

TABLEAU 16 - Contenu en éléments nutritifs de la graine entière et de ses fractions^a

Fraction de la graine	Pourcentage du poids de la graine	Protéines ^b (%)	Cendres (%)	Huile (%)	Amidon (%)	Calcium (mg/kg)	Phosphore (mg/kg)	Niacine (mg/100g)	Riboflavine (mg/100g)	Pyridoxine (mg/100g)
Sorgho										
Graine complète	100	12,3	1,67	3,6	73,8			4,5	0,13	0,47
Endosperme	82,3 (80)	12,3 (20)	0,37 (13)	0,6 (94)	82,5 (76)			4,4 (50)	0,09 (76)	0,40
Germe	9,8 (15)	18,9 (69)	10,4 (76)	28,1 (20)	13,4 (17)			8,1 (28)	0,39 (16)	0,72
Son	7,9 (4,3)	6,7 (11)	2,0 (11)	4,9 (4)	34,6			4,4 (7)	0,40 (22)	0,44 (8)
Mil chandelle										
Graine complète	100	13,3	1,7	6,3		55	358			
Endosperme	75	10,9 (61)	0,32 (14)	0,53 (6)		17 (25)	240 (56)			
Germe	17 (31)	24,5 (71)	7,2 (87)	32,2						
Son	8 (10)	17,1 (15)	3,2 (6)	5,0 (36)		168 (15)	442			

a Les valeurs entre parenthèses représentent le pourcentage de valeur de la graine complète.
 b N x 6,25.

Sources: Hubbard Hall et Earle 1950 (sorgho): Abdelrahman. Hosene et Varriano-Marston. 1984 (mil chandelle).

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">](#)

Variation de la composition des grains

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Comme les autres céréales, le sorgho et les mils sont essentiellement constitués d'amidon. La teneur en protéines est presque égale et comparable à celle du maïs et du blé (tableau 17). Le mil chandelle et le petit mil ont une plus forte teneur en matière grasse, alors que l'aleusine en contient la quantité la plus faible. Le moha du Japon a la plus faible teneur en hydrates de carbone et la plus faible valeur énergétique. L'une des caractéristiques de la composition des grains de mil est leur forte teneur en cendres. Ils sont également assez riches en fer et en phosphore. L'aleusine a la plus forte teneur en calcium de toutes les graines alimentaires. Une haute teneur en fibres et une mauvaise digestibilité des éléments nutritifs sont d'autres caractéristiques des grains de sorgho et de mil, qui diminuent fortement leur acceptabilité par le consommateur. En général, les grains complets sont une source importante de vitamines du complexe B, qui sont surtout concentrés dans le son.

Le sorgho et les mils ne contiennent pas de vitamine A, bien que certaines variétés d'endosperme jaune contiennent de petites quantités de bêta-carotène, précurseur de la vitamine A. Il n'y a pas de vitamine C dans les grains de mil bruts.

D'importantes variations de la composition du grain de ces céréales ont été signalées, notamment pour le sorgho et le mil chandelle (Hulse, Laing et Pearson, 1980; Jambunathan et Subramanian, 1988; Rooney et Serna-Saldivar, 1991) (tableau 18). Les facteurs génétiques jouent un rôle majeur dans la détermination de cette composition. Les facteurs

environnementaux sont également importants. Dans plusieurs grains de céréales, y compris le sorgho, on a observé une corrélation inverse entre le rendement en grains et la teneur en protéines (Frey, 1977). La teneur en protéines du grain est également en corrélation inverse marquée avec son poids et sa teneur en amidon. En revanche, les teneurs en cendres et en protéines du grain de sorgho sont en corrélation directe l'une avec l'autre (Subramanian et Jambunathan, 1982).

Goswamy et ses collaborateurs (Goswamy, Sehgal et Sharma, 1969; Goswamy, Sharma et Gupta, 1969; Goswamy, Sehgal et Gupta, 1970; Goswamy, Sharma et Sehgal, 1970) ont analysé un certain nombre de variétés de mil chandelle d'origine africaine, américaine et indienne; ils ont observé que les variations de protéines, matière grasse, cendres totales, calcium, phosphore et fer étaient importantes mais similaires dans les trois types. Singh et al. (1987) ont comparé la composition du grain de cinq variétés de mil chandelle, dont trois étaient des lignées consanguines à forte teneur en protéines (de 14,4 à 19,8 pour cent) et deux des cultivars à teneur normale en protéines (de 9,9 à 11,3 pour cent). Dans les cinq génotypes, les valeurs des teneurs en matière grasse, fibres brutes, cendres et amidon étaient situées dans les fourchettes normales signalées par Goswamy et ses collaborateurs et par d'autres (Jambunathan et Subramanian, 1988). De plus, les millets à forte teneur en protéines en contenaient 60 pour cent de plus que les variétés normales, mais avaient 40 pour cent de moins d'hydrates de carbone et 20 pour cent de moins de matière grasse. Les millets à forte teneur en protéines présentaient également une forte teneur en fibres.

TABLEAU 17 - Composition en éléments nutritifs du sorgho, des mils et autres céréales (pour 100 g de portion comestible; 12 pour cent d'humidité)

Céréale	Protéine ^a (g)	Matière grasse	Cendres (g)	Fibre brute	Hydrates de carbone	Energie (kcal)	Ca (mg)	Fe (mg)	Thiamine (mg)	Riboflavine (mg)	Niacine (mg)
Riz (brun)	7,9	2,7	1,3	1,0	76,0	362	33	1,8	0,41	0,04	4,3
Blé	11,6	2,0	1,6	2,0	71,0	348	30	3,5	0,41	0,10	5,1
Maïs	9,2	4,6	1,2	2,8	73,0	358	26	2,7	0,38	0,20	3,6
Sorgho	10,4	3,1	1,6	2,0	70,7	329	25	5,4	0,38	0,15	4,3
Mil	11,8	4,8	2,2	2,3	67,0	363	42	11,0	0,38	0,21	2,8

chandelle Eleusine	7,7	1,5	2,6	3,6	72,6	336	350	3,9	0,42	0,19	1,1
Millet des oiseaux	11,2	4,0	3,3	6,7	63,2	351	31	2,8	0,59	0,11	3,2
Mil commun	12,5	3,5	3,1	5,2	63,8	364	8	2,9	0,41	0,28	4,5
Petit mil	9,7	5,2	5,4	7,6	60,9	329	17	9,3	0,30	0,09	3,2
Moha du Japon	11,0	3,9	4,5	13,6	55,0	300	22	18,6	0,33	0,10	4,2
Millet indigène	9,8	3,6	3,3	5,2	66,6	353	35	1,7	0,15	0,09	2,0

a Nx6.75.

Sources: Hulse, laing et Pearson. 1980: United States National Research Council/National Academy of Sciences. 1982: USDA HNIS 1984.

TABLEAU 18 - Composition chimique de génotypes de sorgho et de mil chandelle tirés de la collection mondiale de plasma germinatif de l'ICRISAT^a

Céréale	Protéines (%)	Matière grasse (%)	Cendres (%)	Fibre brute (%)	Amidon (%)	Amylose (%)	Sucre soluble (%)	Sucre réducteur (%)	Calcium (mg/100g)	Phosphore (mg/100g)	Fer (mg/100g)
Sorgho											
Nombre de génotypes	10 479	160	160	100	160	80	160	80	99	99	99
Valeur faible	4,4	2,1	1,3	1,0	55,6	21,2	0,7	0,05	6	388	4,7

Valeur levée	21,1	7,6	3,3	3,4	75,2	30,2	4,2	0,53	53	756	14,1
Moyenne arithmétique	11,4	3,3	1,9	1,9	69,5	26,9	1,2	0,12	26	526	8,5
Mil chandelle											
Nombre de génotypes	20 704	36	36	36	44	44	36	16	27	27	27
Valeur faible	5,8	4,1	1,1	1,1	62,8	21,9	1,4	0,10	13	185	4,0
Valeur levée	20,9	6,4	2,5	1,8	70,5	28,8	2,6	0,26	52	363	58,1
Moyenne arithmétique	10,6	5,1	1,9	1,3	66,7	25,9	2,1	0,17	38	260	16,9

a Toutes les valeurs à l'exception des protéines. s'étendent sur la base de la matière sèche.

Source: Jambunathan et Subramanian, 1988.

On a aussi signalé des différences de composition des grains dans les génotypes d'autres mils. Dans l'léusine, les valeurs signalées par Pore et Magar (1977) sont les suivantes: de 5,8 à 12,8 pour cent de protéines; de 1,3 à 2,7 pour cent de matière grasse; de 2,1 à 3,7 pour cent de cendres totales; de 81,3 à 89,4 pour cent d'hydrates de carbone. Les variations de composition minérale de ces variétés étaient elles aussi importantes. Babu, Ramana et Radhakrishnan (1987) ont également signalé des différences de teneur en protéines et de composition minérale des hybrides d'léusine. Dans le millet des oiseaux provenant de la collection mondiale de matériel génétique, la teneur en protéines allait de 6,7 à 15 pour cent et la teneur en cendres de 2,06 à 4,81 pour cent (Dhindsa, Dhillon et Sood, 1982). Monteiro et al. (1988) ont observé des variations similaires dans les teneurs en protéines (de 11, 1 à 15 pour cent), cendres (de 1,1 à 1,6 pour cent), matière grasse (de 4,7 à 6,3 pour cent) et hydrates de carbone (de 65 à 75,7 pour cent) de 12 cultivars de millet des oiseaux.

Les facteurs environnementaux, y compris les pratiques agronomiques, influent sur la composition du grain. Dans le sorgho, la teneur en protéines et la composition en acides aminés changent selon le lieu où il est cultivé (Deosthale et Mohan, 1970; Deosthale, Nagarajan et Visweswar Rao, 1972; Deyoe et Shellenberger, 1965). Le niveau d'engrais azoté a lui aussi une influence sur la quantité et la qualité des protéines du sorgho (Deosthale, Nagarajan et Visweswar Rao, 1972; Waggle, Deyoe et Smith, 1967) ainsi que du mil chandelle (Deosthale, Visweswar Rao et Pant, 1972; Shah et Mehta, 1959). Warsi et Wright (1973) ont observé que l'application d'engrais azoté accroissait le rendement en grains et leur teneur en protéines. L'accroissement de la teneur en protéines dans ce cas était surtout due à une plus grande accumulation dans le grain de prolamine, protéine de médiocre qualité (Sawhney et Naik, 1969). Le niveau d'engrais azoté n'avait pas d'effet sur la composition du grain de sorgho en sels minéraux, mais la teneur en sels minéraux augmentait avec la dose d'engrais phosphoré (Deosthale, Nagarajan et Visweswar Rao, 1972). La composition du grain de sorgho en sels minéraux était influencée davantage par le lieu que par la variété (Deosthale et Belavady, 1978). D'autres facteurs tels que la densité de population des plants, la saison et les contraintes hydriques contribuent aussi aux variations de la composition du grain.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Hydrates de carbone

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

L'amidon est la principale forme de stockage des hydrates de carbone dans le sorgho et les mils. Il est constitué d'amylopectine, polymère de chaînes ramifiées du glucose, et d'amylose, polymère de chaîne droite.

La digestibilité de l'amidon, qui dépend de l'hydrolyse par les enzymes pancréatiques, détermine la teneur en énergie métabolisable des grains de céréales. Lorsqu'on traite les grains par des méthodes telles que la cuisson à la vapeur, la cuisson sous pression, le floconnage, le gonflage ou le micronisage de l'amidon, on en accroît la digestibilité. Ce phénomène a été attribué au fait que les granules d'amidon étaient libérés de la matrice protéique, ce qui les rendait plus faciles à digérer par les enzymes (McNeill et al., 1975; Harbers, 1975).

Les propriétés physico-chimiques de l'amidon influent sur la texture des préparations alimentaires à base de grain de mil. Le comportement de l'amidon dans l'eau dépend de la température et de la concentration (Whistler et Paschall, 1967). D'une façon générale, il absorbe très peu d'eau à la température ambiante, et son pouvoir gonflant est également faible. L'absorption d'eau croît avec la température et les granules d'amidon s'effondrent, ce qui permet la solubilisation de l'amylose et de l'amylopectine pour former une solution colloïdale. C'est le stade de la gélatinisation. La température de gélatinisation de l'amidon du grain est influencée par des facteurs génétiques et environnementaux (Freeman, Kramer et Watson, 1968). Le traitement thermique de l'amidon dans une quantité limitée d'eau fait gonfler les granules avec très peu de perte de matière soluble, et il se produit une dégelatinisation partielle de l'amidon. À la cuisson, l'amidon gélatinisé tend à revenir d'un état soluble, dispersé et amorphe à un état cristallin insoluble. Ce phénomène est connu sous le nom de rétrogradation ou reprise; il est d'autant plus marqué que la température est basse et que la concentration d'amidon est élevée. L'amylose, composant linéaire de l'amidon, a une plus grande tendance à la rétrogradation. Certaines caractéristiques des amidons du sorgho et du mil sont présentées au tableau 19. La teneur en sucres solubles et la teneur totale en sucres sont indiquées au tableau 20.

Sorgho

La teneur en amidon du sorgho s'échelonne entre 56 et 73 pour cent, avec une valeur moyenne de 69,5 pour cent (Jambunathan et Subramanian, 1988). L'amidon du sorgho est constitué pour 70 à 80 pour cent environ d'amylopectine; les 20 à 30 pour cent restants sont de l'amylose (Dentherage, McMasters et Rist, 1955). La teneur en amylose du sorgho est influencée à la fois par des facteurs génétiques et environnementaux (Ring, Akingbala et Rooney, 1982). Le sorgho cireux et le sorgho glutineux sont très pauvres en amylose, et leur amidon est pratiquement constitué à 100 pour cent d'amylopectine (Ring, Akingbala et Rooney, 1982; Dentherage, McMasters et Rist, 1955). Dans le sorgho saccharé, la teneur en amylose de l'amidon est supérieure d'environ 5 à 15 pour cent à celle du sorgho normal (Singh et Axtell, 1973b). La teneur totale en hydrates de carbone du sorgho saccharé était cependant normale puisqu'il contenait des niveaux particulièrement élevés de polysaccharides solubles dans l'eau (29,1 pour cent).

La digestibilité de l'amidon isolé de cultivars de sorgho allait de 33 à 48 pour cent, contre 53 à 58 pour cent pour ceux du maïs (Sikabbubba, 1989). On a constaté une forte corrélation entre la texture de l'endosperme du grain, la taille des particules de la farine et la digestibilité de l'amidon. On a trouvé que l'amidon du sorgho farineux était plus digestible que celui du sorgho corné. Quand le sorgho farineux était moulu, les particules étaient plus petites que celles du sorgho corné.

moulu de la même façon. La plus petite dimension des particules et donc la plus grande surface facilitent l'action des enzymes et améliorent ainsi la digestibilité de l'amidon.

TABLEAU 19 - Caractéristiques des amidons isolés du sorgho et des mils

Graine	Amylose (%)	Température de gélatinisation (°C)		Capacité de liaison dans l'eau (%)	Gonflage à 90 °C (%)	Solubilité à 90 °C (%)	Viscosité (unités amylographiques Brabendur)			
		initiale	finale				à 93-95 °C	après maintien à 95 °C	refroidi à 35 °C ou 50 °C	après maintien à 35 °C ou 50 °C
Sorgho	24,0	68,5	75,0	105	22	22	600	400	580	520
Sorgho (cireux)	1,0	67,5	74,0	-	49	19	380	290	390	350
Mil chandelle	21,1	61,1	68,7	87,5	13,1	9,16	460	396	568	536
Millet commun	28,2	56,1	61,2	108,0	12,0	6,89	688	520	826	1 203
Millet des oiseaux (a)	-	53,5	59,5	128,5	11,2	4,65	840	620	1 100	1 220
Millet des oiseaux	17,5	55,0	62,0	-	9,8	4,80	1 780	1 540	2000	-

(b)										
Millet indigène	24,0	57,0	68,0	-	12,0	5,50	300 a	270	390	-
Eleusine	16,0	64,3	68,3	-	11,4	6,50	1 633	1 286	1 796	-

^a La viscosité maximale a été obtenue à 83.5 °C.

Sources: Rooney et Serna-Saldivar. 1991: Leach. 1965: Horan et Heider, 1946 Subramaniam et al., 1982; Beleia. Varriano et Hosenev, 1980: Yabez et Walker.1986; Lorenz et Hinze, 1976: Wankhede, Shehnaj et Raghavendra Rao, 1979b; Paramahans et l'aranalhan.1980.

TABLEAU 20 - Composition en sucres solubles du sorgho et des mils (en grammes pour 100 g de matière sèche)

Graine	Nombre de cultivars	Sucre total	Sucrose	Glucose + fructose	Raffinose	Stachyose
Sorgho normal (a)	10	2,25 (1,3-5,2)	1,68 (0,9-3,9)	0,25 (0,06-0,74)	0,23 (0,10-0,39)	0,10 (0,04-0,21)
Sorgho normal (b)	-	1,34	0,61	0,52	0,15	0,06
Sorgho saccharoux	-	2,21	0,81	0,95	0,39	0,06
Sorgho à haute teneur en lysine	-	2,57	0,94	1,13	0,39	0,11
Mil chandelle	9	2,56 (2,16-2,78)	1,64 (1,32-1,82)	0,11 (0,08-0,16)	0,71 (0,65-0,84)	0,09 (0,06-0,13)
Eleusine	3	0,65 (0,59-	0,22 (0,20-	0,16 (0,14-	0,07	-

		0,69)	0,24)	0,19)	(0,06-0,08)	
Millet des oiseaux	1	0,46	0,15	0,10	0,04	-
Millet commun	6	-	0,66	-	0,08	-

Sources: Subramanian, Jambunathan et Suryaprakash. 1980: Murty et al., 1985: Subramanian. Jambunathan et Suryaprakash. 1981: Wankhede, Shehnaj et Raghavendra Rao, 1979: Becker et Lorenz, 1978.

La nature chimique de l'amidon, en particulier la teneur en amylose et en amylopectine, est un autre facteur qui influe sur sa digestibilité. On a signalé que celle-ci était plus grande dans le sorgho à faible teneur en amylose, c'est-à-dire le sorgho creux, que dans le sorgho normal, le maïs et le mil chandelle (Hibberd et al., 1982). Des expérimentations sur des rats (Elmalik et al., 1986) et d'autres espèces animales (Sherrod, Albin et Furr, 1969; Nishimuta, Sherrod et Furr, 1969) ont confirmé la supériorité du sorgho creux sur les grains de types normaux en ce qui concerne la matière sèche et la valeur énergétique brute assimilable.

La présence de tanin dans le grain contribue à la mauvaise digestibilité de l'amidon dans certaines variétés de sorgho (Dreher, Dreher et Berry, 1984). On a montré que les tanins isolés du grain de sorgho inhibaient une enzyme X-amylase et qu'en outre ils se liaient aux amidons du grain plus ou moins fortement (Davis et Hosney, 1979).

La température de gélatinisation de l'amidon isolé de sorgho et celle de la farine finement moulue de l'endosperme correspondant sont les mêmes. En revanche, la température de collage de la farine de sorgho, c'est-à-dire la température à laquelle la viscosité de l'amidon est maximale, s'est révélée supérieure d'environ 10°C à celle de l'amidon isolé.

La qualité du sorgho cuit est étroitement associée à la teneur totale et à la teneur soluble en amylose du grain ainsi qu'à la teneur en protéines solubles (Cagampang et Kirleis, 1984). Subramanian et al. (1982) ont observé que le pouvoir gonflant de l'amidon et sa solubilité influençaient de façon notable la qualité de cuisson du sorgho bouilli. Le pourcentage d'augmentation de poids du grain cuit présentait une corrélation négative avec la solubilité de l'amidon à 60°C, température à laquelle la plupart des granules d'amidon ont atteint le stade de la gélatinisation. Le pouvoir gonflant de l'amidon à 60 et 90°C et sa solubilité à 25 et 50°C étaient en corrélation inverse avec la teneur en gruaux solides, qui dépendait directement de la teneur en amidon du grain. La température de gélatinisation de l'amidon n'a pas

paru avoir d'effet significatif sur la qualité de cuisson du sorgho.

La plasticité de la pâte de farine de sorgho tient essentiellement à la gélatinisation de l'amidon lorsque la pâte est préparée dans une eau chaude ou bouillante. Le caractère collant de la farine cuite est fonction de la gélatinisation de l'amidon. Le porridge préparé à partir de l'endosperme dur du sorgho est moins collant que celui qui est préparé à partir de grains comportant une plus forte proportion d'endosperme farineux (Cagampang, Griffith et Kirleis, 1982).

La pâte préparée dans l'eau froide présente peu d'adhésivité et il est difficile de bien l'aplatir au rouleau. Autrement dit, la modification de l'amidon lorsque la pâte est préparée dans l'eau chaude détermine ses propriétés d'aplatissement au rouleau (Desikachar et Chandrashekar, 1982). Une forte absorption d'eau, une faible température de gélatinisation, une forte viscosité maximale de la pâte et une importante rétrogradation sont les propriétés de l'amidon qui permettent une bonne qualité de roti, qui est un pain sans levain, forme la plus courante sous laquelle on consomme le sorgho et le mil chandelle dans le sous-continent indien. En revanche, pour un porridge épais tel que le mudde ou sankhati indien et le tef africain, les caractéristiques souhaitables de l'amidon du grain sont une forte température de gélatinisation, une faible viscosité maximale de la pâte et une faible tendance à la rétrogradation. En d'autres termes, les caractéristiques de l'amidon pour un roti de bonne qualité sont exactement le contraire de celles qui sont souhaitables pour un porridge de bonne qualité. Ainsi, les variétés de sorgho qui ne conviennent pas à des roti peuvent convenir au porridge. AlmeidaDominguez, Serna-saldivar et Rooney (1991) ont constaté qu'un sorgho à faible teneur en amylose ou cireux produisait une pâte collante (masa) et ne convenait pas à la préparation de tortillas.

Mil chandelle

Dans les différents génotypes de mil chandelle, la teneur en amidon du grain variait de 62,8 à 70,5 pour cent, celle de sucres solubles de 1,2 à 2,6 pour cent et celle d'amylose de 21,9 à 28,8 pour cent (Jambunathan et Subramanian, 1988). On a trouvé des valeurs plus faibles d'amidon (56,3 à 63,7 pour cent) et d'amylose (18,3 à 24,6 pour cent) dans certaines variétés indiennes de mil chandelle à haut rendement (Singh et Popli, 1973). Subramanian, Jambunathan et Suryaprakash (1981) ont trouvé que la composante prédominante des sucres solubles totaux (2,16 à 2,78 pour cent) était le sucrose (66 pour cent), suivi du raffinose (28 pour cent). Les autres sucres détectés en quantités mesurables étaient le stachyose, le glucose et le fructose. La proportion relative de sucrose dans le sucre total était plus faible dans le mil chandelle que dans le sorgho.

Les propriétés de collage de l'amidon du mil chandelle étaient en général analogues à celles du sorgho, sauf quand on le laissait pendant une heure à 95°C (Badi, Hosney et Finney, 1976). Beleia, Varriano-Marston et Hosney (1980) ont considéré les dissemblances moléculaires inhérentes comme le facteur essentiel des différences physico-chimiques de cinq amidons de mil chandelle examinés. La teneur en amylose de ces amidons variait dans une fourchette étroite (de 22 à 24 pour cent). La variation de la capacité d'agglutination dans l'eau (de 83,6 à 99,5 pour cent) était probablement due aux différences de proportions d'amidon amorphe et cristallin dans le granule; L'amidon amorphe possédait une capacité d'absorption d'eau plus grande que l'amidon cristallin. Dans les cinq amidons, la température de gélification était au départ de 59 à 63°C, le mi-parcours de 65 à 67,5°C et l'arrivée de 68 à 70°C. La gélification de l'amidon du mil chandelle se produisait à une température plus faible que celle de l'amidon du sorgho (tableau 19). En général, on a observé que les amidons qui présentaient une solubilité faible et gonflaient en dessous de 75°C avaient plus de solubilité et de gonflant à 80°C et au-dessus. La température de collage maximale des cinq amidons était la même, 76,5°C. Les différences de viscosité de la pâte étaient plus grandes après un maintien d'une heure à 95°C et pendant le cycle de refroidissement, ce qui montrait que certains amidons tendaient à rétrograder plus que d'autres.

La viscosité maximale de la pâte d'amidon de la farine de mil chandelle était beaucoup plus faible que celle de l'amidon du sorgho (Badi, Hosney et Finney, 1976). On a constaté que le mil chandelle présentait une très forte activité d'amylase, environ 10 fois plus que celle du grain de blé (Sheorain et Wagle, 1973), ce qui expliquait probablement la faible viscosité maximale observée. Beleia et Varriano-Marston (1981 a,b) ont observé que l'amylase du mil chandelle était plus active contre l'amidon du blé que contre l'amidon du mil chandelle lui-même. Cette observation présente une grande importance pratique. En effet, le pain préparé à partir de farine de blé mélangée avec 10 pour cent de farine de mil chandelle donne un meilleur volume que le pain standard à base de farine de blé contenant du malt et du sucre (Badi, Hosney et Finney, 1976). Ainsi, la farine de mil chandelle utilisée pour remplacer une partie de la farine de blé peut être substituée avec succès au malt et au sucre dans la préparation de produits de boulangerie tels que le pain, les biscuits et les pâtes. Subramanian, Jambunathan et Ramaiah (1986) ont observé que la qualité du pain sans levain (roti) à base de farine de mil chandelle était influencée par la capacité de gonflage, la fraction de farine soluble dans l'eau, la teneur en amylose et en protéines solubles dans l'eau de la farine. La capacité de gonflage de la farine était étroitement corrélée avec toutes les qualités sensorielles des rotis, à savoir la couleur, la texture, l'odeur, le goût et l'acceptabilité. En revanche, la teneur en amylose et la fraction de la farine soluble dans l'eau étaient en corrélation inverse avec toutes ces caractéristiques.

Eleusine

Dans les variétés d'eleusine fort rendement analysées par Wankhede, Shehnaj et Raghavendra Rao (1979a), la teneur moyenne en amidon était de 60,3 (de 59,5 à 61,25 pour cent), en pentosane de 6,6 (de 6,2 à 7,2 pour cent), en cellulose de 1,6 (de 1,4 à 1,8 pour cent), en lignine de 0,28 (de 0,04 à 0,6 pour cent) et en sucres libres de 0,65 (de 0,59 à 0,69 pour cent). Le sucrose (33 pour cent), le glucose et le fructose (12 pour cent chacun), ainsi que le maltose et le raffinose (10 pour cent chacun) étaient les principaux composants du sucre libre de l'eleusine. La teneur en amylose de l'amidon de l'eleusine était de 16 pour cent (Wankhede, Shehnaj et Raghavendra Rao, 1979b), soit plus faible que dans le sorgho normal et les autres mils. La capacité de gonflage et la solubilité dans l'eau à 90°C de l'amidon isolé de l'eleusine étaient plus faibles que celles de l'amidon du sorgho et analogues à celles des autres mils. La viscosité maximale élevée et l'augmentation de viscosité au refroidissement suggéraient une forte tendance de l'amidon à la rétrogradation. Après le maltage du grain, la viscosité de la pâte était réduite et la densité en éléments nutritifs, particulièrement la densité énergétique, renforcée. C'est sur cette base que l'on a élaboré un aliment de sevrage contenant 70 parties d'eleusine maltée et 30 parties de haricots velus de Nubie décortiqués (Mallehi et Desikachar, 1982).

Autres mils

On a signalé que le millet commun et le millet des oiseaux présentaient à la fois des types d'endosperme glutineux et non glutineux, tandis qu'il semblerait que dans l'eleusine et le moha du Japon il n'y ait que le type d'endosperme non glutineux (Tomita et al., 1981). L'amidon des deux variétés de millet des oiseaux était composé à 100 pour cent d'amylopectine. Les amidons du millet des oiseaux, du millet commun et du moha du Japon étaient plus digestibles que celui du maïs en termes d'amyolyse in vitro par amylase pancréatique. Les amidons glutineux étaient plus assimilables que les types non glutineux, comme dans les autres grains céréalières.

L'augmentation de la viscosité de la pâte au refroidissement à 35°C et sa nouvelle montée après une heure de maintien à cette température indiquaient la forte tendance des amidons du mil à la rétrogradation. L'une des variétés communes, à savoir le Big red, était exceptionnelle en ce que son amidon présentait une capacité de liaison dans l'eau plus forte et une température de gélatinisation plus élevée que celles des cinq autres variétés.

Teneur en protéines et qualité

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

La deuxième composante principale des grains de sorgho et de mil est la protéine. La teneur en protéines du sorgho et des mils est influencée à la fois par les facteurs génétiques et environnementaux. Dans le sorgho, la variabilité est importante, probablement parce qu'on le cultive dans des conditions agroclimatiques diverses qui influent sur la composition du grain (Burleson, Cowley et Otey, 1956; Waggle, Deyoe et Smith, 1967; Deosthale, Nagarajan et Visweswar Rao, 1972). Les fluctuations de la teneur en protéines s'accompagnent généralement de changements de la composition en acides aminés des protéines (Waggle et Deyoe, 1966).

La qualité d'une protéine est essentiellement fonction de sa composition en acides aminés essentiels. Pour évaluer la qualité protéique, Block et Mitchell (1946) ont introduit le concept d'indice chimique ou d'acides aminés, selon lequel la quantité de l'acide aminé essentiel qui présente le plus fort déficit est exprimée en pourcentage de la quantité présente dans une protéine standard ou de référence. Compte tenu de leur très haute valeur biologique, les protéines de l'œuf ou du lait humain ont été considérées comme des normes de référence. Les protéines du sorgho et du mil différaient par leur profil d'acides aminés essentiels (tableau 21). Cependant, la caractéristique la plus courante était que la lysine se révélait toujours être l'acide aminé le plus limitant. Le plus fort déficit en Chine était dans les protéines du moha du Japon (indice chimique 31), suivi de près par le millet commun (indice chimique 33). La protéine de sorgho, dotée d'un indice chimique de 37, n'était pas très différente en qualité des protéines du moha du Japon et du petit mil.

La fonction essentielle d'une protéine alimentaire est de satisfaire les besoins du corps en azote et acides aminés essentiels. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 1985), l'indice chimique d'une protéine calculé par rapport au schéma des besoins en acides aminés essentiels pris comme référence serait plus réaliste et plus représentatif de la capacité de la protéine à répondre aux besoins de l'homme. Ces données sur l'indice chimique par rapport aux besoins en acides aminés de différentes tranches d'âge (tableau 22) ont donné à penser que la capacité intrinsèque des variétés existantes couramment consommées n'était pas suffisante pour répondre aux besoins de croissance des nourrissons et

des jeunes enfants, encore que toutes, \diamond l'exception du sorgho, puissent répondre aux besoins d'entretien des adultes.

Les protéines des grains sont classées en quatre grandes fractions selon leurs caractéristiques de solubilité: l'albumine (soluble dans l'eau), la globuline (soluble dans une solution de sel dilué), la prolamine (soluble dans l'alcool) et la glutéline (extractible dans des solutions d'alcali ou d'acide dilués). Dans des expériences sur le fractionnement selon la solubilité, faites avec le sorgho, le mil chandelle, l'éléusine et le millet des oiseaux, cinq fractions protéiques ont été obtenues (tableau 23).

TABLEAU 21 - Composition en acides aminés essentiels (mg/g) et indice chimique des protéines

Graine	Isoleucine	Leucine	Lysine	Méthionine	Cystine	Phénylalanine	Tyrosine	Thréonine	Tryptophane	Valine	Indice chimique
Sorgho	245	832	126	87	94	306	167	189	63	313	37
Mil chandelle	256	598	214	154	148	301	203	241	122	345	63
Eleusine	275	594	181	194	163	325	-	263	191	413	52
Millet des oiseaux	475	1 044	138	175	-	419	-	194	61	431	41
Millet commun	405	762	189	160	-	307	-	147	49	407	56
Petit mil	416	679	114	142	-	297	-	212	35	379	33
Moha du Japon	288	725	106	133	175	362	150	231	63	388	31
Millet indigène	188	419	188	94	-	375	213	194	38	238	55

Sources: FAO, 1970a: Indira et Naik, 1971.

TABEAU 22 Indices d'acide aminé Chine pour différents groupes d'âge d'après l'indice 1985 de l'OMS

Graine	Nourrisson (<1 an)	Enfant d'âge préscolaire (2-5 ans)	Enfant d'âge scolaire (11-12 ans)	Adulte
Blé	43	46	62	100+
Riz (dortique)	57	61	82	100+
Mais	41	43	58	100+
Sorgho	17-51	18-55	25-74	71-100
Mil chandelle	26-69	28-74	38-100+	100+
Millet des oiseaux	28-38	30-40	40-55	100+
Eleusine	39-63	41-68	56-91	100+
Millet indigène	46-52	48-55	65-74	100+
Moha du Japon	26	27	37	100+
Millet commun	23-72	24-74	32-98	93-100

Sources:: OMS 1985; Hulse, Laing et Pearson, 1980.

Les niveaux d'albumine et de globuline étaient plus élevés dans les variétés de mil chandelle que dans le sorgho, tandis que la quantité de prolamine structure réticulaire, bêta-prolamine, était plus grande dans le sorgho que dans le mil chandelle.

Mis à part son profil favorable en acides aminés essentiels, la facilité d'assimilation est une caractéristique importante d'une protéine de bonne qualité. L'indice chimique ne prend pas en compte la digestibilité de la protéine ou la disponibilité des acides aminés. Les méthodes biologiques fondées sur la mesure de la croissance et de la fixation d'azote évaluent la qualité nutritionnelle globale de la protéine. Ces méthodes comprennent la détermination du coefficient d'efficacité protéique (CEP), l'utilisation protéique nette (UPN), la valeur biologique (VB) et la digestibilité vraie de la protéine (DVP).

TABEAU 23 Distribution des fractions protéiques dans les graines de sorgho et de mil (en pourcentage des protéines totales)

Fraction	Sorgho		Mil chandelle		Eleusine		Millet des oiseaux	
	Fourchette	Moyenne arithmétique	Fourchette	Moyenne arithmétique	Fourchette	Moyenne arithmétique	Fourchette	Moyenne arithmétique
Albumine + globuline	17,1-17,8	17,4	22,6-26,6	25,0	17,3-27,6	22,4	11,6-29,6	17,1
Prolamine	5,2-8,4	6,4	22,8-31,7	28,4	24,6-36,2	32,3	47,6-63,4	56,1
Prolamine structure réticulaire	18,2-19,5	18,8	1,8-3,4	2,7	2,5-3,3	2,78	6,4-17,6	8,9
Type glutéine	3,4-4,4	4,0	4,7-7,2	5,5	-	-	5,2-11,9	9,2
Glutéine	33,7-38,3	35,7	16,4-19,2	18,4	12,4-28,2	21,2	-	6,7
Résidu	10,4-10,7	10,6	3,3-5,1	3,9	16,1-25,3	21,3	-	2,0
Total	91,2-94,0	92,9	78,6-87,5	83,9	74,7-83,9	78,7	-	98,0

Sources: Jambunathan, Singh et Subramanian, 1984 (sorgho et mil chandelle): Virupaksha, Ramachandra et Nagaraju, 1975 (leusine); Monteiro, Virupaksha et Rajagopol Rao, 1982 (millet des oiseaux).

Sorgho

On a observé une grande variabilité de la composition en acides aminés essentiels de la protéine de sorgho (Hulse, Laing et Pearson, 1980; Jambunathan, Singh et Subramanian, 1984). On signalait une variation de la teneur en lysine de 71 à 212 mg par gramme d'azote, et l'indice chimique correspondant variait de 21 à 62.

Singh et Axtell (1973a) avaient identifié deux variétés éthiopiennes de sorgho à forte teneur en lysine IS11758 et IS11167. La teneur moyenne en lysine du grain complet de IS11758 était de 3,13 g par 100 g de protéine, et la teneur totale en protéine du grain était de 17,2 g pour cent. IS11167 contenait 3,33 g de lysine pour 100 g de protéine et 15,7 pour cent de protéine. Le sorgho normal cultivé dans des conditions analogues contenait 12 pour cent de protéine et 2,1 g pour cent de lysine dans 100 g de protéine. Les expérimentations d'alimentation de rats ont fait apparaître des coefficients d'efficacité protéique plus élevés pour les variétés à forte teneur en lysine (1,78 et 2,05 respectivement pour IS11758 et IS11167) que pour le sorgho normal (CEP 0,74 et 1,24).

Un autre mutant à haute teneur en lysine P721 opaque, est signalé comme comportant 60 pour cent de plus de lysine que le sorgho normal. Van Scoyoc, Ejeta et Axtell (1988) ont démontré que cette forte teneur en lysine de P721 était essentiellement due à la grande quantité de glutéline riche en lysine et à la faible fraction de prolamine pauvre en lysine

Ejeta et Axtell (1987) ont observé que dans ces trois variétés de sorgho à forte teneur en lysine celle-ci était normale dans le germe, mais que celle de l'endosperme était plus élevée que dans le sorgho normal.

Naik (1968) a observé, en utilisant une procédure modifiée d'extraction, de larges variations du schéma de distribution des fractions de protéines dans les variétés de sorgho. L'albumine s'échelonnait de 2 à 9 pour cent de la protéine totale, tandis que la globuline allait de 12,9 à 16 pour cent, la prolamine de 27 à 43,1 pour cent et la glutéline de 26,1 à 39,6 pour cent. On a signalé (Virupaksha et Sastry, 1968) des différences saisonnières du schéma de distribution des fractions de protéines; les variétés de sorgho cultivées la saison Rabi (sèche) contenaient moins de prolamine qu'au cours des autres saisons.

Les études de la composition en acides aminés des fractions de protéines (Ahuja, Singh et Naik, 1970) ont montré que les fractions d'albumine et de globuline contenaient de fortes quantités de lysine et de tryptophane et étaient en général bien équilibrées dans leur composition d'acides aminés essentiels. En revanche, la fraction de prolamine était extrêmement pauvre en lysine, arginine, histidine et tryptophane et contenait de fortes quantités de proline, acide glutamique et leucine. Présentée sous forme de corps protéique, la prolamine s'est révélée être une fraction protéique prédominante, directement associée à la teneur en protéines du grain. La glutéline, deuxième fraction protéique en importance dans le grain, est un composant structurel, présent en tant que matrice protéique dans l'endosperme périphérique et intérieur du grain de sorgho.

Les études aussi bien in vitro que in vivo ont montré une grande variation de la digestibilité de la protéine des variétés de sorgho (Axtell et al., 1981). On a signalé pour celle-ci des valeurs allant de 49,5 à 70 pour cent (Nawar et al., 1970) et de 30 à 70 pour cent (Silano, 1977). Elmalik et al. (1986) ont observé que, chez les rats, la digestibilité de la protéine des variétés de sorgho présentant une texture d'endosperme intermédiaire et cornée était de 70,3 et 74,5, respectivement. Ces valeurs étaient plus faibles que la valeur observée pour la protéine du maïs (78,5 pour cent). Dans certaines variétés de sorgho, la présence de polyphénols condensés ou de tanins dans les grains constitue un autre facteur qui nuit à la digestibilité des protéines et à la disponibilité des acides aminés (Bach Knudsen et al., 1988; Bach Knudsen, Munck et Eggum, 1988; Whitaker et Tanner, 1989).

Dans les variétés de sorgho sans tanin, Sikabubba (1989) a observé que la digestibilité des protéines était en fonction inverse de la protéine totale du grain ($p = -0,548$, $p < 0,1$), de la prolamine totale ($r = -0,627$, $p < 0,25$), de la prolamine à structure réticulaire ou bêta-prolamine ($r = -0,647$, $p < 0,05$) et de la digestibilité de la bêta-prolamine ($r = -0,727$, $p < 0,01$). Dans des études conduites sur des garçons de 10 à 11 ans (Kurien et al., 1960), le remplacement progressif du riz par le sorgho dans un régime essentiellement végétarien aboutissait à une diminution progressive de la digestibilité des protéines, qui était ramenée de 75 à 55 pour cent, et de l'assimilation apparente d'azote qui baissait de 4,5 à 2,1 pour cent. Des observations analogues ont été faites pour des fillettes (10 à 11 ans) nourries avec des protéines de sorgho. Dans les études d'équilibre de l'azote menées sur des enfants de 6 à 30 mois rétablis d'une malnutrition en énergie d'origine protéique, MacLean et al. (1981) ont observé que si on leur administrait des gruaux de grains complets préparés à partir de quatre variétés de sorgho dont deux à forte teneur en lysine P721 opaque et IS11758, la digestibilité moyenne des protéines était de 46 pour cent. La digestibilité des protéines dans le grain de sorgho s'est donc révélée extrêmement faible comparée à celle du blé (81 pour cent), du maïs (73 pour cent) et du riz (66 pour cent). Cependant,

dans une étude effectuée sur de jeunes enfants nourris à partir de produits de sorgho décortiqués et extrudés (MacLean et al., 1983), la digestibilité des protéines (81 pour cent) était beaucoup plus élevée que pour le grain complet (46 pour cent). L'assimilation d'azote qui était de 14 pour cent dans l'étude sur le grain complet passait à 21 pour cent. Des études in vitro effectuées sur le sorgho extrudé (Mertz et al., 1984) ont également montré que le processus d'extrusion du grain de sorgho avait amélioré la digestibilité des protéines et par conséquent la valeur nutritive. La digestibilité des protéines de sorgho a également été améliorée après traitement du grain pour le transformer en nasha, porridge léger fermenté utilisé comme aliment pour les nourrissons au Soudan (Graham et al., 1986). Une meilleure assimilation de l'azote a été obtenue chez des hommes nigériens normaux nourris avec du sorgho vanné à teneur réduite en fibres (Nicol et Phillips, 1978). Ces observations ont souligné l'importance de la transformation du grain pour améliorer la valeur nutritive du sorgho. La diminution de la digestibilité des protéines à la cuisson était attribuée à la réduction de solubilité de la prolamine et de sa digestibilité par la pepsine (Hamaker et al., 1986).

Mil chandelle

Comme le sorgho, le mil chandelle a une teneur en protéine qui se situe généralement entre 9 et 13 pour cent, mais on a signalé de grandes variations de cette teneur allant de 6 à 21 pour cent (Serna-Saldivar, McDonough et Rooney, 1991). La lysine est également le premier acide aminé limitant de la protéine du mil chandelle. On a signalé une nette corrélation inverse entre le niveau de protéine dans le grain et la teneur en lysine de la protéine (Deosthale et al., 1971). Dans les variétés de mil chandelle à forte teneur en protéine, de 14,4 à 27,1 pour cent, on a également observé des corrélations inverses notables entre la protéine et la thréonine, la méthionine et le tryptophane. Le profil d'acides aminés essentiels montre que la lysine, la thréonine, la méthionine et la cystine sont plus abondantes dans la protéine du mil chandelle que dans celle du sorgho et des autres mils. La teneur en tryptophane est elle aussi plus élevée (tableau 21).

On observe une grande variation de la teneur en lysine de la protéine du mil chandelle, avec des valeurs qui vont de 1,59 à 3,8 g pour 100 g de protéine. D'après les indices chimiques calculés en fonction des besoins en acides aminés de différentes tranches d'âge, il est apparu que le mil chandelle offrait davantage de possibilités de répondre aux besoins en lysine des enfants en pleine croissance (tableau 22) que la plupart des autres céréales. Pushpamma, Parrish et Deyoe (1972) ont observé dans des essais d'alimentation de rats un CEP de 1,84 pour le mil chandelle contre 1,74 pour l'oléusine cultivée, 1,46 pour le sorgho et 1,36 pour le maïs. ce qui corroborait l'idée que la qualité de la protéine du mil chandelle était très élevée comparée à celle des autres céréales. En enrichissant le régime à base de mil chandelle avec 0,3

pour cent de lysine hydrochloride, la croissance des rats a été accélérée et presque analogue à celle des témoins alimentés à base de caséine (Howe et Gilfillan, 1970).

TABEAU 24 - Qualité de la protéine et énergie assimilable des mils d'écotopes (en pourcentage)

Graine	Digestibilité vraie	Valeur biologique	Utilisation protéique nette	Energie assimilable
Mil chandelle (faible protéine)	95,9	65,6	62,9	89,9
Mil chandelle (protéine élevée)	94,6	58,8	55,7	85,3
Millet des oiseaux	95,0	48,4	46,3	96,1
Millet commun	99,3	52,4	52,0	96,6
Petit mil	97,7	53,0	51,8	96,1
Moha du Japon	95,3	54,8	52,2	95,6
Millet indigène	96,6	56,5	54,5	95,7

Source: Singh et al., 1987 (mil chandelle: Geervani et Eggum, 1989 (autres mils).

La qualité de la protéine est associée au schéma de distribution des fractions protéiques dans le grain. Sawhney et Naik (1969) ont observé une grande variabilité des fractions protéiques selon les variétés de mil chandelle. L'albumine se situait entre 6,1 et 26,5 pour cent (moyenne arithmétique, 15,1 pour cent), la globuline entre 3,5 et 14,7 pour cent (moyenne, 8,7 pour cent), la prolamine entre 21,3 et 38 pour cent (moyenne, 30,2 pour cent) et la glutéline entre 23,8 et 37,7 pour cent (moyenne, 30,3 pour cent). Comme pour les autres céréales, les albumines et les globulines sont riches en lysine et en autres acides aminés de base comme l'histidine et l'arginine. La fraction globuline est apparue très riche en acides aminés soufrés. La fraction prolamine se caractérise par son fort taux d'acide glutamique, de proline et de leucine. On a

également démontré qu'elle était riche en tryptophane, alors que la glutéine contenait plus de lysine et moins de tryptophane.

La digestibilité vraie des protéines chez les rats alimentés au mil chandelle variait dans une fourchette étroite de 94 à 97 pour cent (Singh et al., 1987) et n'était pas modifiée par la teneur en protéine du grain (tableau 24). La teneur en énergie assimilable était plus faible dans les types contenant beaucoup de protéine en raison de leur teneur élevée en prolamine. Dans les génotypes comportant beaucoup de protéine, la teneur en lysine de la protéine était faible, ce qui se traduisait par une faible valeur biologique et une faible utilisation nette de la protéine. Mais la protéine utilisable nette (pourcentage de protéine x UPN) des génotypes à forte teneur en protéine était deux à trois fois plus élevée que dans les mils normaux. Dassenko (1980) a observé que la digestibilité des protéines et de l'énergie chez les rats alimentés en farine de mil chandelle crue était plus élevée que chez les rats alimentés en farine de blé crue. Cependant, la digestibilité et le CEP étaient plus faibles lorsque le mil était consommé sous forme de chapatti, probablement parce que le temps de cuisson plus long qu'exige le chapatti de mil provoquait la détérioration thermique de la protéine. Dans des études du bilan azoté chez les garçons de 11 à 12 ans, la digestibilité apparente de la protéine dans un régime à base de mil chandelle était de 52,9 pour cent et le bilan azoté était positif (Kurien, Swaminathan et Subrahmanyam, 1961).

Eleusine

Comparée aux autres céréales courantes, l'eleusine cultivée est pauvre en protéine (tableau 17). On a signalé une grande variabilité de la composition du grain, notamment de sa teneur en protéine (Hulse, Laing et Pearson, 1980). Des facteurs aussi bien génétiques qu'environnementaux semblent jouer un rôle important dans la détermination de la teneur en protéine de l'eleusine cultivée (Pore et Magar, 1977; Virupaksha, Ramachandra et Nagaraju, 1975). La prolamine est la principale fraction protéique de l'eleusine cultivée (tableau 23). La haute teneur en protéine des variétés à grain blanc est attribuée à la plus forte teneur du grain en prolamine, alors que la teneur en lysine et par conséquent la qualité protéique de ces variétés sont faibles (Virupaksha, Ramachandra et Nagaraju, 1975). Les différences de composition en acides aminés des diverses variétés d'eleusine sont importantes et, comme dans les autres céréales, la teneur en lysine et la teneur en méthionine de la protéine sont en corrélation inverse avec la teneur en protéine du grain. Les fractions protéiques présentent également de grandes variations de leur composition en acides aminés. Tandis que l'on a constaté que les fractions d'albumine et de globuline contenaient une bonne dotation en acides aminés essentiels, la fraction de prolamine contenait de plus fortes proportions d'acide glutamique, de proline, de valine, d'isoleucine, de leucine

et de phénylalanine, mais peu de lysine d'arginine et de glycine. La composition en acides aminés de la prolamine était presque la même que celle de la protéine de l'endosperme.

Des études in vitro ont montré que les protéines de l'leusine et du millet indigène étaient résistantes à la digestion par la pepsine, sauf si ces céréales étaient préalablement cuites en autoclave pendant 15 minutes ou avaient bouilli dans de l'eau pendant au moins 2 heures. Certaines variétés d'leusine contiennent jusqu'à 3,42 pour cent de tanin. La digestibilité de la protéine du grain était réduite par le tanin (Ramachandra, Virupaksha et Shadaksharaswamy, 1977). On a constaté qu'un régime à base d'leusine suffisait à maintenir un bilan azoté positif chez les adultes (Subrahmanyam et al., 1955). Les sujets ont également présenté des bilans positifs de calcium et de phosphore, et la digestibilité de la protéine de l'leusine s'est révélée être de 50 pour cent. En complétant le régime à base de protéine d'leusine par de la lysine ou de la protéine foliaire en plus de la lysine on améliorerait sensiblement l'assimilation de l'azote chez les jeunes garçons, qui présentaient alors une plus forte croissance et une plus forte prise de poids (Doraiswamy, Singh et Daniel, 1969). L'utilisation de l'leusine pour l'alimentation des enfants et des nourrissons est cependant apparue limitée en raison de sa faible digestibilité et de la grande quantité nécessaire pour répondre aux besoins en énergie. La croissance de rats nourris avec de l'leusine germée était meilleure que celle de rats alimentés en grains bruts. Cela dit, la qualité de la protéine mesurée par le CEP n'était pas modifiée par la germination (Hemanalini et al., 1980). Après un complément de transformation des grains d'leusine germée, consistant en séchage, rétrempage et filtrage à travers un tissu, on a obtenu un produit faible en fibres. Les animaux auxquels ce produit a été administré en tant que source de protéines ont présenté une amélioration de l'assimilation de calcium, probablement à cause de la faible teneur en fibres de la farine.

Les grains maltés d'leusine présentent une activité d'enzyme saccharifiante nettement plus élevée, ce qui est utile pour la fabrication de la bière. Cette activité est plus forte que celle du sorgho, du mil chandelle ou du maïs maltés (Rao et Mushonga, 1985). Des aliments de sevrage à faible viscosité de la pâte chaude et à forte densité énergétique ont été mis au point à partir d'leusine maltée mélangée à des haricots velus de Nubie. Un mélange de 70 parties de grains maltés touraillés d'leusine, 30 parties de haricots velus et 10 pour cent de lait écrémé en poudre présentait un CEP de 2,7 et une UPN de 63 pour cent (Mallehi et Desikachar, 1982). Un produit cuit extrudé préparé avec un mélange de riz (42,5 parties), d'leusine (42,5 parties) et de farine de soja dégraissée (15 parties) a révélé une nette amélioration de la qualité de la protéine par rapport au mélange non transformé (Dubish, Chauhan et Bains, 1988). Les valeurs du CEP après extrusion étaient passées de 1,92 à 2,41, alors que l'activité inhibitrice de la trypsine avait

diminu d'environ 70 à 100 pour cent, que la teneur en tanin était insignifiante et que le phosphore phytique en pourcentage du phosphore total avait diminué d'environ 4 à 13 pour cent. Ces changements ont de toute évidence pu contribuer à améliorer la qualité de la protéine. Un mélange d'oléusine et de farine de soja dégraissée (85: 15) présentait un CEP de 1,81 avant sa transformation et de 2,23 après extrusion.

Millet des oiseaux

Dans le millet des oiseaux la protéine est également déficiente en lysine Son indice d'acide aminé (tableau 22) est comparable à celui du maïs (Baghel, Netke et Bajpai, 1985). Monteiro, Virupaksha et Rajagopol Rao (1982) ont observé une forte variation de la teneur en protéine du grain et de son schéma de distribution en fractions de solubilités différentes. La prolamine constituait la principale protéine de réserve (tableau 23) et présentait une corrélation positive avec la protéine totale du grain. Des évaluations de la composition en acides aminés des fractions de protéine et de la protéine totale selon les variétés ont confirmé que la lysine était le premier acide aminé limitant, suivie du tryptophane et des acides aminés soufrés.

La teneur en lysine de la protéine diminuait lorsque la protéine du grain augmentait. On a constaté que cette protéine avait une forte teneur en leucine. Naren et Virupaksha (1990) ont observé que la prolamine était relativement riche en acide aminé soufré méthionine et que la teneur en soufre du sol modifiait la synthèse de la prolamine dans le grain. Des études sur la digestibilité de la protéine in vitro ont montré que de 90,5 à 96,9 pour cent de la protéine du millet des oiseaux étaient digestibles par la pepsine et de 89,7 à 95,6 pour cent par la papaïne (Monteiro et al., 1988). La médiocre digestibilité en présence de trypsine (de 21,6 à 36,9 pour cent) était améliorée par un traitement préalable à l'acide. La qualité de la protéine du grain décortiqué (tableau 24) était la plus faible des mils secondaires testés (Geervani et Eggum, 1989). Le traitement thermique ou l'addition de lysine améliorerait la qualité de la protéine (Geervani et Eggum, 1989). Chez des rats en pleine croissance recevant 10 pour cent de protéine, le bilan azoté passait de 19 à 31 pour cent lorsque le régime à base de millet des oiseaux était enrichi en lysine la digestibilité de la protéine et sa valeur biologique augmentaient elles aussi (Ganapathy, Chitra et Gokhale, 1957). Si l'on complétait le mil décortiqué avec des pois chiches, le CEP passait de 0,5 à 2,2.

Millet commun

Bien que l'on ait signalé que la fourchette des teneurs en protéine était très large dans le millet commun, les valeurs se

situent plus fréquemment dans une fourchette étroite de 11,3 à 12,7 pour cent, avec une moyenne arithmétique de 11,6 pour cent, sur la base de la matière sèche (Serna-Saldivar, McDonough et Rooney, 1991). La protéine du mil commun est déficiente en lysine ainsi qu'en thréonine, et sa teneur en tryptophane est elle aussi marginale (Chung et Pomeranz, 1985). Des études faites sur les fractions solubles de la protéine du mil commun montraient que plus de 50 pour cent de la protéine du grain étaient de la prolamine et que la fraction suivante en importance était la glutéline, avec environ 28 pour cent. La fraction prolamine s'est révélée très pauvre en lysine arginine et glycine, comparée à la fraction albumine et globuline, et elle présentait plus d'aniline, de méthionine et de leucine (Jones et al., 1970). Lorsqu'il constituait la seule source de protéine (8,4 pour cent) dans le régime alimentaire, le mil commun avait un CEP de 0,95. Selon les données présentées par Kuppuswamy, Srinivasan et Subramanian (1958), un régime à base de mil commun contenant de 9 à 11 pour cent de protéine avait un CEP de 1,2 et une valeur biologique de 56. Une protéine isolée (84,8 pour cent) par extraction à l'alcali du mil commun (Tashiro et Maki, 1977) a été comparée du point de vue de la qualité de la protéine avec la caséine et le gluten. Dans une expérience d'alimentation faite chez de jeunes rats qui recevaient pendant 21 jours 10 pour cent de protéine dans leur régime alimentaire, le CEP de l'isolat de protéine du mil commun était de 3,1, alors que celui de la caséine était de 2,8. Les animaux auxquels on administrait de la farine de mil complète en tant que source de protéine n'ont pas grandi. Chez les rats adultes, la valeur biologique de la farine de mil était plus élevée que celle des autres sources de protéine. Dans des études in vitro, la protéine isolée était digestible par la pepsine et la pepsine-pancréatique mais non par la trypsine.

Autres mils

Le millet indigène, le moha du Japon et le petit mil ont été moins étudiés du point de vue nutritionnel. Les grains de millet indigène sont enfermés dans une enveloppe dure et cornée qu'il est difficile de retirer. La teneur en fibres du grain complet est très élevée. Le millet indigène contient environ 11 pour cent de protéine, et la valeur nutritionnelle de la protéine s'est révélée légèrement supérieure à celle du millet des oiseaux mais comparable à celle des autres mils secondaires (tableau 24). À part la lysine la protéine du millet indigène est déficiente en tryptophane (Chung et Pomeranz, 1985). Comme avec les autres céréales alimentaires, la valeur nutritive de la protéine du millet indigène s'est améliorée lorsqu'on complétait le régime avec des protéines de légumineuse (Rajalakshmi et Mujumdar, 1966). Le CEP du millet indigène complété avec des pois chiches et des feuilles d'amarante est passé de 0,9 à 1,9 (Patwardhan, 1961b).

Le moha du Japon et le petit mil sont comparables au millet commun par leur teneur en protéine et en matière grasse

(Geervani et Eggum, 1989), et tous deux ont une très forte teneur en fibres. Avec des indices d'acide aminé lysine de 31 et 33, le petit mil et le moha du Japon sont de tous les mils ceux dont la protéine est de la plus mauvaise qualité. Le moha du Japon et le petit mil sont comparables par leur digestibilité de protéine, leur valeur biologique, leur utilisation protéique nette et leur teneur en énergie assimilable (tableau 24) et par conséquent leur valeur nutritive globale.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">](#)

Composition lipidique

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Sorgho

La teneur en matière grasse brute du sorgho est de 3 pour cent, plus que celle du blé et du riz mais moins que celle du maïs. Les éléments qui contribuent le plus à la fraction lipidique sont le germe et l'aleurone. Le germe lui-même contient environ 80 pour cent de la quantité totale de matière grasse (Rooney et Serna-Saldivar, 1991). De ce fait, les mutants de sorgho qui comportent une fraction embryonnaire importante ont une teneur en matière grasse plus élevée (5,8 à 6,6 pour cent) que la normale (Jambunathan, 1980). Les variations de la teneur en matière grasse du grain peuvent être attribuées partie aux différents systèmes de solvant utilisés pour l'extraction de la matière grasse qu'il contient. Price et Parson (1975) ont signalé que la fraction lipidique neutre était de 86,2 pour cent, les glycolipides représentant 3,1 pour cent et les phospholipides 10,7 pour cent dans la matière grasse du sorgho.

On n'a pas signalé de différence significative de teneur de matière grasse entre plusieurs groupes de sorgho cultivé et de sorgho sauvage (Stemler et al., 1976). Les acides gras étaient nettement plus élevés dans le kafir, le sorgho sauvage et le caudatum que dans les sorghos bicolore et durra et l'herbe de Guinée. En revanche, c'était le caudatum qui présentait le moins d'acide linoléique, alors que le sorgho bicolore, le durra et l'herbe de Guinée présentaient une teneur plus forte que celle du sorgho sauvage et du kafir. Les acides oléique et linoléique étaient en corrélation inverse. La composition en

acides gras de la matière grasse du sorgho (49 pour cent d'acide linoléique, 31 pour cent d'acide oléique, 14 pour cent d'acide palmitique, 2,7 pour cent d'acide linoléique, 2,1 pour cent d'acide stéarique) était analogue à celle du blé, mais plus insaturée (Rooney, 1978).

Mils

L'éléusine, le millet des oiseaux et le millet indigène semblaient contenir moins de matière grasse dans la graine que les autres mils (tableau 17), tandis que pour le millet commun elle était semblable à celle du sorgho. Parmi les mils, c'est le mil chandelle qui présente la plus forte teneur en matière grasse.

Lai et Varriano-Marston (1980) ont observé des différences notables de la composition en acides gras de quatre populations différentes de mil chandelle. Jellum et Powell (1971) ont montré que les différences de procédure d'extraction des lipides contribuaient en même temps que la variabilité génétique aux différences de teneur en acides gras du mil chandelle. Les principaux acides gras contenus dans la matière grasse libre et non libre étaient l'acide linoléique, l'acide oléique et l'acide palmitique. On a constaté de nettes différences de composition en acides gras dans les fractions de lipides neutres, de phospholipides et de glycolipides (Osagie et Kates, 1984). C'est dans l'acide linoléique que la fraction lipide neutre était la plus élevée et dans l'acide palmitique qu'elle était la plus faible; dans l'acide oléique que la fraction phospholipide était la plus faible et dans l'acide palmitique qu'elle était la plus élevée; et les glycolipides étaient plus importants dans l'acide linoléique.

La composition en acides gras du millet commun et du millet des oiseaux n'était pas différente de celle du sorgho (Hulse, Laing et Pearson, 1980). On a constaté que le millet commun contenait de 1,8 à 3,9 pour cent de lipides et qu'environ 24 pour cent de la matière grasse de la graine se trouvaient dans l'élément embryonnaire.

Le profil des acides gras montrait que les acides gras saturés représentaient au total de 17,9 à 21,6 pour cent, tandis que les acides gras insaturés représentaient au total de 78 à 82 pour cent. La matière grasse non raffinée extraite de la graine du millet commun contenait de 8,3 à 10,5 mg de vitamine A et de 87 à 96 mg de vitamine E pour 100 g. Après raffinage, la vitamine A avait perdu toute activité, et il y avait une diminution importante de la teneur en vitamine E. Cette dernière est également présente dans la matière grasse extraite de la graine de sorgho.

Sels minéraux

La composition en sels minéraux des graines de sorgho et de mil (tableau 25) est extrêmement variable. Plus que les facteurs génétiques, ce sont les conditions écologiques des régions de culture qui ont une incidence sur la teneur en sels minéraux de ces céréales.

TABLEAU 25 Composition minérale du sorgho et des mils (mg%)^a

Graine	Nombre	P de cultivars	Mg	Ca	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo	Cr
Sorgho	6	352	171	15	4,2	2,5	0,44	1,15	0,06	0,017
Mil chandelle	9	379	137	46	8,0	3,1	1,06	1,15	0,07	0,023
Eleusine	6	320	137	398	3,9	2,3	0,47	5,49	0,10	0,028
Millet des oiseaux	5									
Complet		422	81	38	5,3	2,9	1,60	0,85	-	0,070
Décortiqué	360	68	21	2,8	2,4	1,40	0,60	-	0,030	
Millet commun	5									
Complet		281	117	23	4 0	2 4	5,80	1,20	-	0,040
Décortiqué	156	78	8	08	1 4	1,60	0,60	-	0,020	
Petit mil	5									
Complet		251	133	12	13,9	3 5	1,60	1 03	-	0,240
Décortiqué	220	139	13	9,3	37	1,00	068	-	0,180	

Moha du Japon	5									
Complet		340	82	21	9,2	2,6	1,30	1,33	-	0,140
D \diamond cortiqu \diamond	267	39	28	5,0	3,0	0,60	0,96	-	0,090	
Millet indig \diamond ne	5									
Complet		215	166	31	3,6	1 5	5,80	2,90	-	0,080
D \diamond cortiqu \diamond	161	82	20	0,5	0 7	1,60	1,10	-	0,020	

^a Sur la base de la mati \diamond re s \diamond che.

Sources: Sankara Rao et Deosthale. 1980 (sorghos 1983 (mil chandelle et \diamond leusine). donn \diamond es non publi \diamond es autres mils).

Sorgho

Dans la graine de sorgho, les sels min \diamond raux sont in \diamond galement r \diamond partis, et leur concentration est surtout forte dans le germe et le spermoderme (Hubbard, Hall et Earler, 1950). Pedersen et Eggum (1983) ont montr \diamond qu'il y avait diminution des teneurs en sels min \diamond raux tels que le phosphore, le fer, le zinc et le cuivre, lorsqu'on diminuait les taux d'extraction \diamond la mouture des farines de sorgho. De m \diamond me, le perlage de la graine pour \diamond liminer le spermoderme fibreux se traduisait par une r \diamond duction consid \diamond rable de la teneur du sorgho en sels min \diamond raux (Sankara Rao et Deosthale, 1980). Ces \diamond tudes ont cependant montr \diamond aussi que la disponibilit \diamond du fer in vitro mesur \diamond e par le pourcentage de fer ionisable dans le fer total \diamond tait plus \diamond lev \diamond e dans la graine perl \diamond e. Mbofung et Ndjouenkeu (1990) ont observ \diamond que le pourcentage de fer soluble et ionisable \diamond tait plus \diamond lev \diamond dans les gruaux pr \diamond par \diamond s \diamond partir de sorgho d \diamond cortiqu \diamond m \diamond caniquement que dans ceux pr \diamond par \diamond s \diamond partir de graines broy \diamond es de fa \diamond on traditionnelle \diamond l'aide d'un mortier et d'un pilon. Cette augmentation de la disponibilit \diamond de fer a \diamond t \diamond attribu \diamond e en partie \diamond l'efficacit \diamond d' \diamond limination de l'enveloppe riche en phytates par la mouture m \diamond canique et en partie par la destruction plus importante des phytates au cours du trempage des graines avant d \diamond cortiquage.

Dans leurs études sur les femmes indiennes, Gillooly et al. (1984) ont observé que l'assimilation du fer était plus importante à partir d'un cultivar de sorgho sans tanin qu'à partir d'un cultivar à haute teneur en tanin. Le perlage de la graine améliorait l'assimilation du fer dans les deux cas. Radhakrishnan et Sivaprasad (1980) ont déterminé la biodisponibilité du fer chez des sujets normaux et des sujets anémiques dont les régimes alimentaires étaient fondés sur deux variétés de sorgho contenant respectivement 20 et 136 mg de tanin et 160 et 273 mg de phosphore phytique par 100 g. Chez les sujets normaux, l'assimilation du fer à partir des sorghos à faible et forte teneur en tanin était à peu près analogue. Chez les sujets anémiques, en revanche, elle était nettement inférieure avec du sorgho à forte teneur en tanin. En égalisant la teneur en phytate des deux farines de sorgho, on a fait disparaître la différence d'assimilation du fer. On en a conclu qu'aux niveaux de tanins présents dans les deux variétés de sorgho les tanins avaient un rôle mineur dans la détermination de la biodisponibilité de fer.

Gillooly et al. (1984) n'ont pas trouvé de différence dans l'assimilation de fer entre le porridge de sorgho préparé à partir des graines maltées ou celui à base de graines non maltées. Ils ont observé que l'addition d'acide ascorbique facilitait l'assimilation du fer à partir des deux sortes de porridge, alors que la consommation de thé diminuait l'assimilation du fer. L'assimilation du fer variait dans une fourchette étroite de 72 à 83 pour cent chez les rats nourris avec du sorgho à teneur neutre, basique ou acide, un gruau de maïs, ou un porridge acide de sorgho fermenté (Stuart et al., 1987). En revanche, l'assimilation du zinc s'est révélée nettement plus élevée, 97 pour cent chez les rats nourris à l'acide de sorgho fermenté, que chez ceux nourris au gruau de maïs et avec les trois types de sorgho à teneur (de 67 à 78 pour cent).

Les bières brassées avec des compléments de sorgho et du gruau de maïs sont très courantes dans les pays africains. Derman et al. (1980) ont observé que l'assimilation du fer avec de la bière fabriquée à partir de sorgho ou de maïs était plus de 12 fois supérieure à celle que l'on obtenait en utilisant du gruau préparé avec ces deux graines. La bière brassée avec un complément de sorgho constituait une source concentrée non seulement de vitamines comme la thiamine et l'acide nicotinique mais aussi de plusieurs sels minéraux, notamment le cuivre, le manganèse, le fer, le magnésium, le potassium et le phosphore (van Heerden, 1989). Avec des quantités appréciables de protéine et d'amidon, et sans phytate détectable, la bière au sorgho pourrait constituer une source importante d'apport quotidien de vitamines et de sels minéraux chez les populations africaines.

Mil chandelle

De fortes variations ont été constatées dans la composition en sels minéraux et oligo-éléments du mil chandelle et, comme dans le cas du sorgho, on a considéré que la composition du sol et sa nature étaient le principal facteur environnemental qui déterminait la teneur de la graine en sels minéraux (Hoseney, Andrews et Clark, 1987; Jambunathan et Subramanian, 1988). La mouture du mil chandelle en une farine à taux d'extraction de 75 pour cent a réduit la teneur en calcium et en fer d'environ 66 pour cent (de Wit et Schweigart, 1970). Dassenko (1980) a observé des pertes importantes de calcium, de magnésium et de sodium, mais pas de fer ni de potassium, lorsque la mouture du mil chandelle se faisait à un taux d'extraction de 67 pour cent. Dans des études d'alimentation de rats, l'assimilation du fer par les animaux animales auxquels on administrait du mil chandelle en tant que source de fer (2 mg par kilogramme de poids corporel) était de 35,7 pour cent, contre 29,7 pour cent avec le sorgho, 37,5 pour cent avec le maïs, 40 pour cent avec le soja et 33,3 pour cent avec les pois bambara (Ifon, 1981). Les études de disponibilité biologique sur des poussins faites par Nwokolo (1987) ont montré que la disponibilité en magnésium était plus forte avec le mil chandelle qu'avec le sorgho. Le mil s'est cependant révélé pauvre en zinc, en fer et en manganèse disponibles par rapport au sorgho.

Le maltage a multiplié la teneur en fer ionisable du mil chandelle et de l'éléusine et augmenté sensiblement leur teneur en zinc soluble, attestant de l'amélioration de la disponibilité in vitro de ces deux éléments (Sankara Rao et Deosthale, 1983). Klopfenstein, Hoseney et Leibold (1985) ont constaté que les rats auxquels on administrait du mil chandelle complété par du carbonate de calcium continuaient de bien grandir après sept semaines de ce régime, tandis que ceux auxquels on administrait du mil non complété cessaient de grandir après quatre semaines. On en a conclu que le calcium était plus limitant que la lysine ou d'autres éléments nutritifs du mil chandelle lorsqu'on l'administrait à des rats en phase de croissance.

Eleusine

Mis à part la très haute teneur en calcium et en manganèse, la composition de l'éléusine en sels minéraux et en oligo-éléments est comparable à celle du sorgho. Certaines variétés à forte teneur en protéine (de 8 à 12,1 pour cent) et à haut rendement d'éléusine étaient également riches en calcium (de 294 à 390 mg pour 100 g) (Babu, Ramana et Radhakrishnan, 1987). Des études menées sur des fillettes de 9 à 10 ans ont montré que le remplacement de riz par de l'éléusine, dans un régime alimentaire à base de riz, non seulement maintenait un bilan azoté positif mais aussi améliorait l'assimilation du calcium (Joseph et al., 1959). Ainsi, on pouvait utiliser l'éléusine pour remédier au déficit en calcium d'un régime à base de riz. Des études in vitro ont montré que la disponibilité biologique du fer était médiocre

dans les variétés couramment cultivées, la teneur en fer est plus élevée dans les grains riches en tanin qu'au sein de la même variété. L'élimination ou la réduction du tanin, soit par extraction à l'aide d'un solvant, soit par germination de la graine, renforce la teneur en fer ionisable. Ces études ont également montré que la disponibilité du fer sous forme de teneur en fer ionisable est plus élevée dans les variétés de sorgho à grain blanc et sans tanin (Udayasekhara Rao et Deosthale, 1988).

Autres mils

La teneur minérale totale sous forme de cendres est plus élevée dans le millet commun, le petit mil, le millet des oiseaux, le millet indigène et le moha du Japon que dans la plupart des céréales couramment consommées, parmi lesquelles le sorgho. Ces mils secondaires sont également connus pour leur enveloppe très fibreuse. En général, on décortique ces grains alimentaires avant de les consommer pour éliminer l'enveloppe dure. Avec l'élimination de l'enveloppe, les cinq mils subissaient des pertes considérables d'éléments nutritifs. L'importance de ces pertes était variable et dépendait de la teneur minérale des espèces (Sankar Rao et Deosthale, données non publiées) (tableau 25).

Lorenz (1983) a observé que la teneur en phytate des variétés de millet commun variait entre 170 et 470 mg pour 100 g de graine complète. Le décorticage réduisait de 27 à 53 pour cent la teneur du mil en phytine. Après décorticage, la réduction de phosphore phytique n'était que de 12 pour cent dans le millet commun, 39 pour cent dans le petit mil, 25 pour cent dans le millet indigène et 23 pour cent dans le moha du Japon (Sankara Rao et Deosthale, données non publiées).

Vitamines

Sorgho

Le sorgho et les mils constituent en général de riches sources de vitamines du complexe B. Certaines variétés de sorgho à endosperme jaune contiennent du bêta-carotène qui pourrait être transformé en vitamine A par le corps humain. Blessin, VanEtten et Wiebe (1958) ont isolé les caroténoïdes du sorgho et identifié la lutéine, la zéaxanthine et le bêta-carotène. Suryanarayana Rao, Rukmini et Mohan (1968) ont analysé plusieurs variétés de sorgho du point de vue de la teneur en bêta-carotène. Ils ont constaté de très importantes variations, avec des valeurs allant de 0 à 0,097 mg pour

100 g de l'échantillon de graines. Compte tenu du caractère photosensible des caroténes et de la variabilité due aux facteurs environnementaux, l'importance des variétés de sorgho à endosperme jaune en tant que source alimentaire de précurseur de la vitamine A est douteuse.

On a également trouvé dans la graine de sorgho des quantités détectables d'autres vitamines solubles dans la matière grasse, à savoir D, E et K. Le sorgho tel qu'il est généralement consommé n'est pas source de vitamine C. A la germination, une certaine quantité de vitamine C est synthétisée dans la graine, et à la fermentation il y a une nouvelle augmentation de la teneur en cette vitamine (Taur, Pawar et Ingle, 1984). Des expérimentations sur des cochons d'Inde ont montré que pour des régimes alimentaires basés sur le blé, le riz, le maïs ou le mil chandelle les besoins des animaux en vitamine C pour une croissance optimale étaient cinq fois plus élevés que ceux des animaux auxquels on donnait de la caséine dans leur alimentation (Klopfenstein, Varriano-Marston et Hosney, 1981 a,b; Klopfenstein, Hosney et Varriano-Marston, 1981). Des cochons d'Inde avec des régimes alimentaires isoazotes, isocaloriques et nutritionnellement adéquats basés sur le sorgho avaient besoin de 40 mg de vitamine C par jour contre 2 mg avec une alimentation à base de caséine. Des niveaux plus élevés d'acide ascorbique alimentaire avaient apparemment un effet d'économie de niacine dans le régime à base de sorgho. Il est intéressant de noter que les animaux auxquels on administrait 40 mg d'acide ascorbique présentaient de faibles taux de cholestérol dans le sang et le foie. L'importance de ces observations en ce qui concerne la nutrition des populations dont l'alimentation est basée sur le sorgho nécessite des recherches complémentaires.

Parmi le groupe des vitamines B. les concentrations de thiamine, de riboflavine et de niacine dans le sorgho étaient comparables à celles du maïs (tableau 17). On a observé d'importantes variations des valeurs signalées, en particulier pour la niacine (Hulse, Laing et Pearson, 1980). La plus forte teneur en niacine, 9,16 mg par 100 g de sorgho, a été signalée par Tanner, Pfeiffer et Curtis (1947). Les variétés de sorgho éthiopien à forte teneur en lysine présentaient aussi une forte teneur en niacine, avec des valeurs pour 100 g de 10,5 mg pour IS11167 et 11,5 mg pour IS11758, contre 2,9 à 4,9 mg dans les sorghos normaux (Pant, 1975).

Dans les graines de céréales, la niacine existe sous forme libre, instable à l'alcali mais considérée comme indisponible biologiquement pour l'homme (Goldsmith et al., 1956). Ghosh, Sarkar et Guha (1963) ont observé que de 80 à 90 pour cent de la niacine contenue dans plusieurs échantillons de graines de sorgho et de mil chandelle étaient présents sous forme libre et n'étaient disponibles pour la croissance de micro-organismes utilisés dans le titrage qu'après traitement à l'alcali. Adrian, Murias de Queros et Frangne (1970) ont suivi des méthodes différentes d'extraction et trouvé que dans le sorgho

de 20 à 28 pour cent de la niacine étaient extractibles dans l'eau froide et donc biologiquement disponibles, contre environ 45 pour cent pour le maïs. Belavady et Gopalan (1966) ont observé dans leurs études sur les chiens que la niacine de la graine de sorgho était totalement soluble dans l'eau froide et donc disponible, constatation tout à fait différente de celle de Ghosh, Sarkar et Guha (1963) et d'Adrian, Murias de Queros et Frangne (1970). D'autres études (Carter et Carpenter, 1981, 1982) ont montré que dans la graine de sorgho la niacine était présente sous forme de complexe à poids moléculaire élevé et qu'elle était biologiquement disponible aux rats après traitement à l'alcali de la graine mais non après ébullition dans l'eau. Dans les graines bouillies, la niacine totale pour 100 g était de 7,07 mg dans le riz, de 5,73 mg dans le blé, de 4,53 mg dans le sorgho et de 1,88 mg dans le maïs. La proportion de la niacine totale disponible pour les rats était de 41 pour cent dans le riz, 31 pour cent dans le blé, 33 pour cent dans le sorgho et 37 pour cent dans le maïs. Autrement dit, la disponibilité biologique de la niacine dans les graines de céréales s'est révélée limitée (Wall et Carpenter, 1988).

Les autres vitamines du complexe B présentes dans le sorgho en quantités significatives sont la vitamine B6 (0.5 mg pour 100 g), la folacine (0,02 mg), l'acide pantothenique (1,25 mg) et la biotine (0,042 mg) (United States National Research Council/National Academy of Sciences, 1982).

Mils

Les données dont on dispose sont très peu abondantes en ce qui concerne la teneur en vitamines du mil chandelle, de l'éléusine et d'autres mils secondaires. La teneur de ces mils en thiamine et en riboflavine n'est pas très différente de celle du sorgho (tableau 17). Dans certains, cependant, la teneur en niacine est plus faible. Ghosh, Sarkar et Guha (1963) ont observé que, comme dans le sorgho, de 80 à 90 pour cent de la niacine des graines de mil chandelle étaient biologiquement disponibles. Cependant, Adrian, Murias de Queros et Frangne (1970) ont découvert que de 31 à 40 pour cent de la niacine du mil chandelle étaient extractibles dans l'eau froide et donc disponibles. Dans le petit mil, la teneur en niacine était très élevée (10,88 mg pour cent), deux à trois fois plus que dans les autres céréales, mais 13 pour cent seulement de cette quantité étaient extractibles dans l'eau froide.

Khalil et Sawaya (1984) ont constaté que le pain préparé avec de la farine de mil chandelle par la méthode traditionnelle était nettement moins riche en thiamine, en acide pantothenique et en acide folique que la farine elle-même. La farine de mil était relativement riche en acide pantothenique. Dans neuf variétés de mil chandelle, la teneur en thiamine variait de 0,29 à 0,4 mg pour 100 g. avec une moyenne arithmétique de 0,34 mg (Chauhan, Suneja et Bhat, 1986). La germination

pendant 48 heures des graines de mil chandelle, d'leusine et de millet des oiseaux augmentait l'acide ascorbique qui atteignait respectivement 8,5 et 6 mg pour 100 g. On constatait aussi une augmentation légère mais significative de la teneur en thiamine (Malleshiet Desikachar, 1986a). Opoku, Ohenhen et Ejiofor (1981) ont observé une augmentation de thiamine, riboflavine, acide ascorbique, vitamine A et tocophérol dans le mil chandelle que l'on avait fait germer pendant 48 heures et étuvé à 45°C. En revanche, ils ont constaté que la niacine avait diminué d'environ 30 pour cent. Aliya et Geervani (1981) ont observé après fermentation de la pâte de mil chandelle une augmentation de la thiamine (90 pour cent) et de la riboflavine (85 pour cent). Cependant, la cuisson à la vapeur de la pâte fermentée diminuait la teneur en thiamine (64 pour cent) et en riboflavine (28 pour cent) par rapport à la pâte non fermentée. Des pertes analogues de vitamines après fermentation de la farine de mil chandelle ont été observées par Dassenko (1980). A la cuisson, il n'y a pas eu de changement dans la teneur en vitamines du produit fermenté.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Fibre alimentaire

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Le terme de fibre alimentaire est utilisé pour décrire divers polysaccharides végétaux non assimilables: cellulose, hémicelluloses, pectines, oligosaccharides, gommés et divers composés lignifiés. Selon la définition modifiée de Trowell (1976), la fibre alimentaire est définie comme la somme de la lignine et des polysaccharides qui ne sont pas hydrolysés par les enzymes endogènes du tube digestif de l'homme. Kamath et Belavady (1980) ont constaté que le principal élément insoluble de fibre dans le sorgho était la cellulose, qui variait de 1,19 à 5, 23 pour cent selon les variétés de sorgho. Toute graine comporte deux sources de fibre alimentaire, l'enveloppe ou le péricarpe et les composants structurels de la paroi de la cellule. Les parois des cellules végétales contiennent de nombreux éléments autres que les hydrates de carbone en sus de la lignine, notamment protéines, lipides et matière inorganique, qui modifient les propriétés des polysaccharides. On a suggéré plusieurs méthodes de mesure de la fibre alimentaire totale dans les denrées alimentaires. Chacune de ces

méthodes présente certaines limitations qui peuvent contribuer aux variations observées dans la teneur en fibre alimentaire de divers produits.

Sorgho

Bach Knudsen et Munck (1985) ont trouvé qu'une variété soudanaise de sorgho couramment consommée, à faible teneur en tanin, Dabar, avait une teneur totale en fibre alimentaire de 7,6 pour cent, tandis qu'une variété soudanaise à haute teneur en tanin, Feterita, en contenait 9,2 pour cent. Dans les deux variétés, la plus grande partie de la fibre alimentaire totale était insoluble dans l'eau (6,5 pour cent dans Dabar et 7,9 pour cent dans Feterita). La fibre soluble dans l'acide était elle aussi différente dans les deux variétés (2,9 pour cent pour Dabar et 3,6 pour cent pour Feterita). Le fait qu'il y avait plus de fibre alimentaire dans la variété à forte teneur en tanin était dû à la contribution des polyphénols à la fraction lignine de la fibre alimentaire. La cuisson du sorgho sous forme de porridge de grains complets diminuait la disponibilité d'énergie, en raison surtout de la formation d'amidon résistant aux enzymes, augmentant par conséquent en apparence la teneur en fibre alimentaire des deux variétés. La fermentation à un pH de 3,9 aidait à empêcher la formation d'amidon résistant ainsi que celle de lignine au cours de la cuisson. Par rapport au blé, à l'orge, au seigle ou au maïs, la fibre alimentaire totale était faible dans les deux variétés de sorgho. La quantité de protéine liée à la fibre alimentaire totale ainsi qu'à la fibre soluble dans l'acide était beaucoup plus élevée pour les variétés de sorgho que pour le blé et les autres grains alimentaires. À la cuisson, on observait une plus forte augmentation de cette liaison dans le cas du sorgho à forte teneur en tanin. Là aussi, la fermentation ou l'acidification à un pH de 3,9 empêchait la liaison de la protéine. Ces observations ont donc indiqué que la méthode traditionnelle de fermentation soudanaise comportait d'importants avantages nutritionnels.

La fibre alimentaire a certains effets négatifs sur la disponibilité de plusieurs éléments nutritifs. La concentration de zinc et de fer dans le tibia de rats qui recevaient une alimentation à base de sorgho riche en fibres et en phytates était nettement plus faible que chez des rats qui avaient une alimentation sans sorgho à faible teneur en fibres (Ali et Harland, 1991). Le décortiquage de la graine est l'une des méthodes utilisées pour éliminer la fibre. Cornu et Delpeuch (1981) ont constaté que la digestibilité apparente de l'azote chez les sujets adultes dont l'alimentation comportait 80 pour cent de sorgho était ramenée de 65,4 à 60,5 pour cent lorsqu'on remplaçait le sorgho décortiqué par la graine entière. La matière fécale totale était plus importante avec une alimentation à base de graines de sorgho entières. La matière azotée et la matière insoluble dans l'acide formique contenues dans la matière fécale ont également augmenté. Karim

et Rooney (1972) ont indiqué que la teneur en pentosanes du sorgho variait de 2,51 à 5,57 pour cent. Les pentosanes que l'on rencontre dans les parois des cellules des graines de céréales sont un mélange hétérogène de polysaccharides, dont beaucoup contiennent des protéines. Earp et al., (1983) ont identifié les bêta-glucanes liés mélangés dans le péricarpe, l'aleurone et l'endosperme du sorgho. Ces bêtaglucanes sont solubles dans l'eau et forment des solutions visqueuses et collantes. Cette propriété est importante dans le maltage du sorgho et le brassage de la bière. Klopfenstein et Hosney (1987) ont observé que des rats alimentés avec du pain préparé à partir de farine blanche enrichie avec du bêta-glucane (7 pour cent du poids) présentaient un cholestérol sérique nettement plus faible que ceux alimentés à partir de pain fait avec une farine non enrichie. On a également observé cette propriété d'abaissement du cholestérol dans les glucanes isolés de l'avoine, de l'orge, du blé et du sorgho.

Mils

Kamath et Belavady (1980) ont constaté en utilisant la méthode de Southgate, Hudson et Englyst (1978) que la fibre alimentaire totale du mil chandelle (20,4 pour cent) et de l'léusine (18,6 pour cent) était plus élevée que dans le sorgho (14,2 pour cent), le blé (17,2 pour cent) et le riz (8,3 pour cent). Singh et al. (1987) ont utilisé eux aussi la méthode de Southgate et ont trouvé une teneur totale en fibre alimentaire du mil chandelle de 17 pour cent. On ne dispose pas de suffisamment de données sur les composants des fibres alimentaires des mils. Beiley, Sumrell et Burton (1979) ont isolé le pentosane contenant un mélange de polysaccharides hétérogènes de la paroi des cellules des graines de mil chandelle. On a trouvé que le pentosane du mil chandelle extrait à l'aide de différents solvants, comprenant 80 pour cent d'éthanol, de l'eau et de l'alcali, contenait sept sucres, avec prédominance de l'arabinose, du xylose et du galactose, suivis du rhamnose et du fucose. Emiola et de la Rosa (1981) ont également étudié le pentosane extractible à l'eau et à l'alcali du mil chandelle, mais leurs résultats ne concordaient pas avec ceux de Bailey, Sumrell et Burton (1979), qui montraient un schéma identique du pentosane soluble dans l'eau et dans l'alcali mais avec du ribose au lieu de fucose. Emiola et de la Rosa (1981) ont trouvé que dans le mil chandelle les polysaccharides autres que l'amidon solubles dans l'eau représentaient 0,66 pour cent du poids de la graine et les polysaccharides autres que l'amidon insolubles dans l'eau représentaient 3,88 pour cent. Après purification complémentaire, ces valeurs ont été ramenées à 0,42 et 0,97 pour cent respectivement. Wankhede, Shehnaj et Raghavendra Rao (1979a) ont signalé que dans l'léusine et le millet des oiseaux la teneur en pentosane était de 6,6 et 5,5 pour cent respectivement. Muralikrishna, Paramahans et Tharanathan (1982) ont constaté que dans le petit mil, le millet indigène et le moha du Japon l'hémicellulose A était un bêta-glucane non cellulosique et que l'hémicellulose B était composée d'hexose, de pentose et d'acide uranique.

Chapitre 5 - Qualité nutritionnelle des aliments préparés à partir du sorgho et des mils

Il est évident que, lorsqu'on transforme un grain, certains éléments nutritifs doivent être éliminés et que l'élimination d'une part non exactement proportionnée d'un élément quelconque d'un grain affectera la qualité nutritionnelle de ce qui reste. En conséquence, l'effet nutritionnel de la mouture dépend probablement autant de la quantité de matière éliminée que de la méthode utilisée pour le faire. Il est donc difficile de comparer différents rapports concernant diverses techniques de préparation. Reichert et Youngs (1977) ont signalé que le sorgho et les mils décortiqués par des méthodes traditionnelles contenaient plus d'huile et de cendres que les grains décortiqués par abrasion, mais la teneur en protéine était analogue. Pushamma (1990) a indiqué que le décortiquage réduisait la protéine totale et la lysine d'environ 9 et 21 pour cent respectivement, mais qu'il améliorait en même temps l'utilisation de la protéine restante. La perte de sels minéraux était elle aussi minime. Le décortiquage améliorait la disponibilité biologique des éléments nutritifs et l'acceptabilité par le consommateur.

La question de savoir si l'élimination d'éléments nutritifs (et de facteurs antinutritionnels) est au total bénéfique nécessite toujours une analyse soigneuse. Il faut aussi considérer les facteurs organoleptiques. Ce que l'on fait n'est pas toujours ce qu'il y a de mieux sur le plan nutritionnel, et ce qui est le mieux dans un type de régime alimentaire n'est pas toujours le mieux pour un autre.

La germination entraîne des changements considérables de qualité nutritive du grain. Il y a évidemment des changements dus à la perte de matière sèche, mais des changements beaucoup plus importants, tels que l'accroissement d'activité des enzymes et la conversion d'amidon en sucres, proviennent du processus de croissance. La toxicité du cyanure dans le sorgho germé a déjà été évoquée. Le risque de maladie ou de décès de l'ingestion du cyanure doit toujours être pris en compte.

Wang et Fields (1978) ont constaté que la germination du sorgho augmentait la valeur nutritive relative (VNR), la faisant passer de 54,6 à 63 pour cent et le coefficient d'efficacité protéique (CEP) de 1,5 à 1,7. Il y avait des augmentations substantielles de lysine, de méthionine et de tryptophane (tableau 26). Malleshi et Desikachar (1986b) ont indiqué que la

germination de l'leusine, du mil chandelle et du millet des oiseaux se traduisait par une légère diminution de la protéine totale et de l'humidité. Le principal avantage était une réduction du niveau de phytates et une augmentation des niveaux d'acide ascorbique, de lysine et de tryptophane. Malleshi, Desikachar et Venkat Rao (1986) ont également constaté que la germination réduisait sensiblement la quantité de phytates, améliorant ainsi l'assimilation du fer. Lorsqu'on laissait apparaître des jeunes pousses, que l'on faisait griller et que l'on tamisait l'leusine, la teneur en protéine descendait de 7,7 à 3,9 pour cent (Hemanalini et al., 1980).

Les changements qui interviennent au cours de la fermentation sont notamment des augmentations d' amino-azote, la décomposition des protéines et la destruction de tous les inhibiteurs présents. Une augmentation significative de divers acides aminés (en particulier la méthionine) et des vitamines a été observée (Kazanas et Fields, 1981; Au et Fields, 1981) à la suite de la fermentation du sorgho (tableau 27). Une augmentation de la valeur nutritive a également été signalée. Axtell et al., (1981) ont constaté que les produits fermentés du sorgho étaient plus digestes que les produits non fermentés. La fermentation ou l'acidification inhibait la liaison des protéines par les polyphénols (Bach Knudsen et Munck, 1985). Obizoba et Atii (1991) ont indiqué que la fermentation réduisait le niveau de cyanure dans le sorgho qui présentait des pousses. Elle réduisait aussi l'amidon résistant aux enzymes et diminuait la concentration de raffinose et de stachyose, sucres provoquant des flatulences (Odunfa et Adeyele, 1987). La digestibilité de l'amidon et de la protéine du rabad, fait à partir de mil chandelle, augmentait avec le temps de fermentation (Dhankher et Chauhan, 1987).

TABLEAU 26 Effet du temps et de la température sur la qualité nutritionnelle des graines de sorgho germées^a

Temps après la germination (jours)	Germination (%)	Longueur de coléoptile (cm)	VNR (%)	CEP ^b	Acides aminés disponibles (mg/g d'azote)		
					Lysine	Tryptophane	Méthionine
0c			54,6	1,5	13,5	6,8	8,5
25°C							

3	10-15	0,2-0,4	48,6	1,4	24,0	4,8	8,4
4	25-35	2,5-5,5	67,8	1,8	45,0	15,2	18,6
5	25	2,5-8,5	68,9	1,8	28,0	15,0	15,3
30°C							
2	10	0-1,0	52,4	1,4	15,0	7,2	7,2
3	10-15	2,4-4,5	62,1	1,7	21,0	8,8	7,5
4	20-30	2,5-7,0	58,0	1,6	33,0	12,0	13,8
5	30	3,5-7,5	62,4	1,7	33,0	15,2	14,3
6	30	5,0-10,0	78,3	2,0	69,0	18,6	19,5
35°C							
2	15-20	2,0-3,0	54,7	1,5	30,0	9,4	14,0
3	10	3,5-5,5	62,4	1,7	26,3	8,0	10,2
4	10	4,0-7,0	63,0	1,7	24,0	12,0	10,0

a N = 1. On a fait germer les graines dans des flacons de 1 litre et sécher à 50°C; on les a ensuite moulues dans un moulin Wiley.

b CEP = 0,286 + 0,022 VNR) 1 es valeurs sont arrondies au dixième de CEP le plus proche.

c T_{min}, non germé,

Source: Wang et fields, 1978.

MacLean et al. (1983) ont montré que le décorticage et l'extrusion pouvaient nettement améliorer la digestibilité apparente de la protéine de sorgho administrée aux jeunes enfants. L'addition d'hydroxyde de calcium avant extrusion améliorerait elle aussi la digestibilité (Fapojuwo, Maga et Jansen, 1987).

TABLEAU 27 Moyennes des contenus nutritifs des farines de sorgho^a

Type de farine	Méthionine (mg/g N)	Lysine (mg/g N)	Thiamine (µg/g)	Riboflavine (µg/g)	Niacine (µg/g)	VNR (%)
Témoin	9,1a*	11,25a*	3,66ab**	1,34a**	68,39a**	45,57b**
Fermentée, 25°C	33,2b	25,68b	3,18a	1,27a	70,88a	55,10a
Fermentée, 35°C	34,5b	26,79b	3,87b	1,38a	70,91a	56,17a

^a N = 5. Les moyennes affectées de différentes lettres sont sensiblement différentes.

* Sensible P < 0,01.

** Sensible P < 0,05.

Source: Au et Fields, 1981 .

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/">

Préparations culinaires

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Les aliments préparés avec du sorgho et des mils peuvent se classer en deux catégories, les produits traditionnels et les produits industriels. Le grain non transformé ou transformé peut être cuit complet ou décortiqué et, si nécessaire, moulu en farine par l'une quelconque des méthodes traditionnelles ou industrielles décrites au chapitre 3. Une classification détaillée des aliments traditionnels préparés à partir de sorgho et de mils a été établie (Vogel et Graham, 1979; Rooney, Kirleis et Murty, 1986). On peut les classer en gros en pains, porridges, produits étuvés, produits bouillis, boissons et snacks (Rooney, Kirleis et Murty, 1986; Rooney et McDonough, 1987). Les différentes utilisations du

sorgho et des mils en Inde sont présentés au tableau 28 (Pushpamma et Chittemma Rao, 1981). Le tableau 29 indique les aliments préparés à partir du mil chandelle dans diverses parties du monde; pour le sorgho, les produits sont similaires. On trouvera ci-dessous une description de quelques-unes des nombreuses manières de préparer le sorgho et le mil. (On peut y ajouter des épices et des condiments selon le goût.)










Grains complets

Les grains de sorgho immatures sont parfois rôtis entiers. Le sorgho et dans une moindre mesure le mil chandelle et l'leusine sont grillés (chauffés et secpour faire exploser le grain) dans des villages indiens (Subramanian et Jambunathan, 1980). Cela se fait généralement sur des plaques chaudes spéciales ou sur des bains de sable chauffés au-dessus d'un feu. Le sorgho popped est para-t-il plus tendre que le popped corn; il contient moins d'enveloppe, ne se coince pas entre les dents et fait moins de bruit quand on le mange. D'une façon générale, les caractéristiques recherchées sont une petite dimension du grain, un pericارpe moyen et épais, un endosperme dur et un très faible rapport germe/endosperme (Murty et al., 1982). Il existe des différences génotypiques significatives dans le sorgho en ce qui concerne le volume d'écèlement, le taux d'expansion et le pourcentage d'écèlement (Thorat et al., 1988). Dans l'leusine, il existe de grandes différences de qualité de popping selon les variétés. On préfère les types de graines blanches; on a constaté que les variétés de graines brunes ne convenaient pas particulièrement (Malleshi et Desikachar, 1981; Shukla et al., 1986).

TABLEAU 28 Formes d'utilisation des sorghos et des mils en Inde

Aliments	Type de produit	Forme de grain utilisé	Consommateurs	
			Nombre	Pourcentage ^a
Sorgho				
Roti	Galette sans levain	Farine	1132	67
Sangati	Porridge épais	Mélange de particules grossières et de	811	48

		farine		
Annam	Type riz	Grain d'ortique	586	35
Kudumulu	Etuv	Farine	295	18
Dosa	Crêpe	Farine	213	13
Ambali	Porridge fluide	Farine	167	10
Boorelu	Frit	Farine	164	10
Pelapindi	Grain complet clate et farine	Mélange de particules grossières et de farine	94	6
Karappoosa	Frit	Farine	42	3
Thapala chakkalu	Saut	Farine	24	1
Mil chandelle				
Roti	Pain sans levain	Farine	706	88
Sangati	Porridge pais	Mélange de particules grossières et de farine	305	38
Annam	Type riz	Grain d'ortique	268	33
Kudumulu	Etuv	Farine	229	29
Boorelu	Frit	Farine	145	18
Dosa	Crêpe	Farine	26	3
Thapala chakkalu	Saut	Farine	24	3

Ambali	Porridge fluide	Farine	22	3
Eleusine				
Sangati	Porridge  pais	Brisures de riz et farine	308	63
Roti	Pain sans levain	Farine	151	31
Ambali	Porridge fluide	Farine	149	31
Millet commun				
Annam	Type riz	Grain d  cortiqu 	236	94
Muruku	Frit	Farine	96	38
Karappoosa	Frit	Farine	37	15
Ariselu	Frit	Farine	17	7
Millet des oiseaux				
Annam	Type riz	Grain d  cortiqu 	517	96
Ariselu	Frit	Farine	21	4
Sangati	Porridge  pais	Farine	12	2
Roti	Pain sans levain	Farine	7	1
Millet indig ne				
Annam	Type riz	Grain d  cortiqu 	76	96

^aPour chaque grain pourcentage des consommateurs touchés par l'enquête qui consomment les préparations indiquées: par exemple, 67 pour cent des consommateurs de sorgho ont déclaré qu'ils consommaient du sorgho sous forme de roti. Source: Pushamma et Chittemma Rao, 1981.

TABLEAU 29 Aliments traditionnels fabriqués à partir de mil chandelle

Type d'aliment	Noms communs	Pays
Pain non fermenté	Roti, rotii	Inde
Pain fermenté	Kisra, dosa, dosai, galletes, injera	Afrique, Inde
Porridge pays	Ugali, tuwo, saino, dalaki, aceda, atap, bogobe, ting, tutu, kalo, karo, kwon, nshimba, nuchu, t, tuo, zaafi, asidah, mato, sadza, sangati	Afrique, Inde
Porridge fluide	Uji, ambali, edi, eko, kamo, nasha, bwa kal, obushera	Afrique, Inde
	Ogi, oko, ahamu, kafa, koko, akasa	Nigeria, Ghana
Produits tuts	Couscous, dogue	Afrique de l'Ouest
Bouillie, aliments type riz	Annam, acha	Afrique, Inde
Snacks		Afrique, Asie
Bieres opaques douces/ameres	Burukutu, dolo, pito, talla	Afrique de l'Ouest
Bieres opaques ameres	Marisa, busaa, merissa, urwaga, mwenge, munkoyo, utshwala, utywala, ikigage	Soudan, Afrique australe
Boissons non alcooliques	Mekewu, amaheu, marewa, magou, leting, abrey, huswa	Afrique

Source: Rooney et McDonough, 1987

Gruaux

On fait parfois bouillir les grains de millet d'écorticage dans de l'eau et on les sert comme du riz. La semoule faite de sorgho et de mil chandelle est également cuite comme le riz dans de nombreux pays. Le sorgho bouilli comme le riz est appelé kichuri au Bangladesh, lehta wagen au Botswana, kaoling mi fan en lysine, nifro en Ethiopie et oka baba au Nigeria (Subramanian et al., 1982). Les grains d'écorticage de sorgho et de mil chandelle sont également cuits comme le riz en Inde. Un produit à base de sorgho, semblable au riz, appelé sori, a été élaboré au Mali. En lysine, pour le sorgho bouilli, on utilise un grain dont le taux d'extraction est de 80 pour cent. Parfois, on mélange et fait cuire ensemble du sorgho perlé, du riz et des haricots.

Dans certains pays, les variétés de sorgho possédant des grains petits et durs sont spécialement cultivées pour fabriquer des aliments qui peuvent servir de substitut au riz.

La floconnisation est un processus largement utilisé pour confectionner des aliments à partir de céréales; le sorgho comme le mil peuvent être traités de cette façon. La semoule d'écorticage est humidifiée avec de l'eau et cuite à la vapeur ou à l'eau pour gélifier une partie de l'amidon, séchée jusqu'à une teneur en humidité d'environ 17 pour cent, puis pilée dans un mortier spécial (Desikachar, 1975) ou bien roulée dans une floconneuse (Rizley et Suter, 1977) pour obtenir un produit plat. Les flocons sont ensuite encore séchés et peuvent alors être stockés pendant plusieurs mois. Le sorgho a été transformé en flocons aux Etats-Unis pour améliorer sa digestibilité chez les bovins. En Inde, le poha et l'avilakki sont des aliments en flocons à base de sorgho et de mil.

Dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, la semoule de sorgho et de mil chandelle est cuite à la vapeur pour obtenir un produit grossier et uniformément gélifié appelé couscous. Le sorgho à testa pigmenté produit un couscous brunrouge qui est astringent. On peut consommer le couscous frais ou séché. Le couscous séché peut être stocké pendant plus de six mois (Galiba et al., 1987). Le produit séché peut être reconstitué dans de l'eau, du lait ou une sauce. On s'en sert comme aliment tout prêt au Sahel.

Porridges

Les porridges sont les principaux aliments de plusieurs pays d'Afrique. Ils peuvent être de consistance épaisse ou fluide. Les noms locaux sont différents. Les porridges épais sont appelés ugali (Kenya, République-Unie de Tanzanie, Ouganda), tété (Burkina Faso, Niger), tuwo (Nigeria), aceda (Soudan), bogobe, jwa, ting (Botswana) et sadza (Zimbabwe). La valeur nutritionnelle des grains de sorgho entiers et d'écorticage et des plats préparés à partir de ces grains est indiquée au

tableau 30. La valeur biologique de l'ugali de sorgho était meilleure que celle du grain brut' mais la digestibilité vraie de la protéine diminuait quand le sorgho était transformé en ugali (tableau 31). Au Mali, dans certaines parties du Sénégal et en Guinée, le t₁ est traité à l'alcali et présente un pH de 8,2. Au Burkina Faso, il est traité à l'acide pour atteindre un pH d'environ 4,6. Dans d'autres régions d'Afrique, le t₁ est neutre. Ces traitements correspondent aux g₁ et aux types de nutrition des populations. Les porridges plus fluides sont appelés uji (Kenya, République-Unie de Tanzanie), ogi ou koko (Nigeria, Ghana), edi (Ouganda), rouye (Niger, Sénégal), nasha (Soudan), rabri (Inde), bota ou mahewu (Zimbabwe) et motogo we ting (Botswana). La farine de sorgho, le malt de sorgho, les ers et les arachides sont mélangés dans différentes proportions pour améliorer la valeur nutritionnelle des porridges traditionnels (Nout et al., 1988).

En Ouganda, on prépare un porridge amer appelé bushera en faisant bouillir de la farine de mil non germé pour obtenir une pâte épaisse. On y mélange de la farine faite à partir de mil fraîchement germé, ce qui adoucit le porridge et en réduit la viscosité. Le bushera peut être conservé pendant trois ou quatre jours avant de commencer à fermenter. Il donnera finalement une boisson alcoolique forte.

Le porridge fermenté est confectionné dans plusieurs régions d'Afrique. Des changements se produisent pendant la fermentation du fait de l'activité des microorganismes (bactéries, levures et moisissures). Les processus de fermentation ont beaucoup évolué en fonction des besoins pratiques. On peut changer l'appétibilité et la texture des aliments, et il est souvent possible d'améliorer leur durée de vie en stock en les faisant fermenter. En Afrique orientale, on fait fermenter une suspension de farine de maïs, de mil, de sorgho ou de manioc dans l'eau, avant ou après cuisson, pour faire un porridge fluide. Oniang'O et Alnwick (1988) ont décrit le porridge fermenté fait en Afrique à partir de sorgho, d'léusine et de mil chandelle. On pense souvent que les porridges fermentés favorisent la lactation et ne conviennent pas aux jeunes enfants. La durée de conservation du porridge fermenté est très brève, généralement moins de 30 heures. Au Soudan, un porridge fermenté léger appelé nasha est préparé à base de sorgho. Tomkins, Alnwick et Haggerty (1988) ont identifié certaines des bactéries et moisissures trouvées dans le nasha, et ils ont également décrit un porridge fermenté appelé ting au Botswana. L'ogi est un porridge fermenté populaire au Nigeria; il est préparé avec du sorgho, du mil et du maïs dans différentes proportions (Steinkraus, 1983; Tomkins, Alnwick et Haggerty, 1988). Les acides volatils et non volatils prédominants dans l'ogi sont respectivement l'acide lactique et l'acide acétique. On a aussi détecté des traces d'acide formique. C'est ce qui donne à l'ogi son arôme caractéristique et son goût amer. L'ogi de couleur pâle et de goût acidulé est le plus apprécié. Au Kenya, en revanche, on préfère l'uji de couleur brune. L'ogi à base de maïs contient plus d'énergie (calories) que l'ogi à base de sorgho (tableau 32). Cependant, en poids de la matière sèche, la teneur en

protéines, en matière grasse et en sels minéraux est plus élevée dans l'ogi de sorgho que dans l'ogi de maïs (Brown et al., 1988). La bière chibuku, consommée en Afrique australe est essentiellement un porridge fermenté léger, fait partir de sorgho.

TABLEAU 30 - Composition chimique de grains de sorgho complets et décortiqués et plats^a

Variété et préparation	Protéines (N x 6,25)	Cendres (% p/p)	Matière grasse (% p/p)	Fibre brute (% p/p)	Amidon + sucre (% p/p)
Toton, grain complet	10,9	1,78	5,1	2,1	72,5
Dabar, grain complet	11,6	1,68	4,0	2,0	73,4
Feterita, grain complet	13,4	2,07	4,1	2,1	71,0
Dabar, décortiqué (extraction 79%)	11,3	1,39	3,3	1,0	79,4
Feterita, décortiqué (extraction 80%)	14,9	0,87	2,7	0,8	74,3
Dabar, ugali, grain complet	11,3	1,56	4,1	2,2	69,9
Dabar ugali (acide) grain complet	12,7	1,62	3,8	2,2	69,7
Feterita, ugali, grain complet	14,1	1,39	4,0	2,2	66,5
Toton, kiswa, grain complet	11,3	1,80	5,3	2,1	71,2
Feterita, kiswa, grain complet	14,1	1,59	5,1	2,4	68,8
Dabar, kiswa, décortiqué	12,6	1,23	4,2	1,1	74,8

(extraction 79%)

^a Toutes les données sont exprimées sur la base de la matière sèche

Source: Eggum et al., 1983.

TABLEAU 31 - Qualité protéique des grains de sorgho complets et décortiqués et des plats

Variété et préparation	Acides aminés (g/16 g N)					Digestibilité protéique vraie (%)	Valeur biologique (%)	Utilisation protéique nette (%)	Protéine utilisable (%)
	Lysine	Thréonine	Méthionine + cystine	Proline	Acide glutamique				
Toton, grain complet	2,3	3,3	3,8	8,0	21,2	94,5	57,0	53,8	5,9
Dabar, grain complet	2,1	3,1	3,6	8,2	22,1	95,4	54,9	52,4	6,1
Feterita, grain complet	1,9	3,1	3,5	8,2	22,7	95,8	48,6	46,6	6,2
Dabar, décortiqué (extraction 79%)	1,9	3,1	3,5	8,3	22,4	100,0	53,5	53,5	6,1
Feterita, décortiqué (extraction 80%)	1,6	3,0	3,5	8,6	23,5	99,6	43,9	43,7	6,5

Dabar, ugali, grain complet	2,1	3,0	3,5	7,9	21,6	87,5	60,8	53,2	6,0
Dabar, ugali (acide), grain complet	2,1	3,0	3,4	7,8	21,3	94,4	54,5	51,4	6,5
Feterita, ugali, grain complet	1,9	3,2	3,5	7,9	22,4	82,4	58,3	48,0	6,8
Trotton, kisra, grain complet	2,3	3,2	3,6	8,1	22,2	92,8	52,7	48,9	5,5
Feterita, kisra, grain complet	2,3	3,1	3,5	8,5	24,0	93,2	50,8	47,3	3,8
Dabar, kisra, dextro (extraction 79%)	2,3	3,0	3,7	8,9	25,3	96,9	55,3	53,4	6,7
LSD ₀₅						1,2	1,2	1,3	0,2

Source: Eggum et al., 1983.

[Continuer](#)

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Gallettes et autres produits de boulangerie

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Les gallettes sont confectionnées en faisant rôtir des pâtes à base de farine et d'eau dans une poêle ou sur un gril. On peut utiliser presque n'importe quelle farine. La pâte peut être faite à partir de sorgho, de mil ou de toute autre céréale; elle peut être fermentée ou non. Ces gallettes sont connues sous de nombreux noms locaux: roti et chapatti en Inde, tuwo dans certaines parties du Nigeria, tortillas en Amérique centrale, etc.

Les pains non fermentés comprennent le roti et les tortillas. Le roti et le chapatti de sorgho ou de mil sont des aliments courants en Inde, au Bangladesh, au Pakistan et dans les pays arabes. Plus de 70 pour cent du sorgho cultivé en Inde servent à faire des rotis (Murty et Subramanian, 1982).

Les tortillas, qui sont préparées au Mexique et en Amérique centrale, sont analogues au roti, sauf que le grain est cuit à la chaux et moulu humide. Bien que ce soit le maïs qui soit le plus utilisé, l'emploi du sorgho est courant et bien accepté au Honduras (Dewalt et Thompson, 1983). On fait parfois les tortillas à base d'un mélange de sorgho et de maïs. On utilise de préférence les sorghos blancs. Le sorgho peut aussi être décortiqué pour atténuer la teinte blanche inhabituelle qu'il donne à la tortilla. Les tortillas préparées avec des mélanges de maïs jaune et de sorgho perlé (15 pour cent) étaient de couleur plus claire que les tortillas préparées uniquement à base de maïs jaune, et elles se sont révélées acceptables (Choto, Morrad et Rooney, 1985). Les cultivars de sorgho Dorado, Sureno et Tortillero d'Amérique centrale et deux hybrides de la station agricole expérimentale du Texas ont donné des tortillas dont la couleur et la texture étaient améliorées (Almeida-Dominguez, Serna-Saldivar et Rooney, 1991). Les grains de sorgho dotés d'un péricarpe blanc épais et d'un endosperme jaune provenant de plants à glumes de couleur paille présentent un excellent potentiel pour la fabrication de tortillas.

TABLEAU 32 - Composition approximative des ogis de maïs et de sorgho provenant des villages étudiés^a

Type	Humidité	Protéines	Matière	Fibre	Hydrates	Cendres	Energie	Energie
------	----------	-----------	---------	-------	----------	---------	---------	---------

d`ogi	(g)	(g)	grasse (g)	brute (g)	de carbone (g) (g)	(kcal)	protéique	(%)								
Pour 100 g de poids humide																
Maïs	54,0	1,9	3,5	0,2	2,2	0,2	39,8	0,1	193,0	7,4	7,2	0,5				
Sorgho	68,2	4,6	4,4	0,1	1,7	0,1	0,9	0,2	24,2	4,2	0,7	0,1	129,5	18,5	13,8	1,9
Pour 100 g de poids sec																
Maïs	7,6	0,5	4,8	0,5	0,4	0,1	86,5	1,0	0,6	0,3	420,0	2,7				
Sorgho	14,0	1,9	5,4	0,4	2,9	0,2	75,6	2,1	2,1	0,1	406,9	0,1				

a Moyenne arithmétique et cart type.

Source: Brown et al.. 1988.

L'injera (Ethiopie) et le kiswa (Soudan) sont les principaux pains fermentés à base de farine de sorgho (Gebrekidan et Gebre Hiwot, 1982). Le teff est la céréale la plus utilisée pour la préparation de l'injera. On peut cependant mélanger le sorgho et le teff ou utiliser le sorgho seul. La qualité de l'injera est déterminée en partie par l'importance de la fermentation. On donne en général aux enfants une injera légèrement fermentée, peu amère. Le kiswa est un aliment traditionnel de base au Soudan, qui est préparé à partir de sorgho et de mil (Badi, Bureng et Monawar, 1987). Il est fait avec une levure qui réduit en moins de 16 heures le temps nécessaire à la fermentation (Badi, Bureng et Monawar, 1988).

Une comparaison des farines de sorgho et de mil et des rôtis faits avec ces farines (tableaux 33 et 35) a montré que la cuisson au four ne changeait pas la composition chimique, y compris pour les acides gras (Khalil et al. 1984; Sawaya, Khalil et Safi, 1984). On a observé une légère augmentation des teneurs en tyrosine, lysine et méthionine dans le pain fermenté fait avec de la farine de sorgho. La cuisson au four à 300 °C pendant 15 minutes réduisait la teneur en arginine, cystine et lysine dans le pain de mil chandelle.

Eggum et al., (1983) ont comparé la qualité nutritionnelle du grain de sorgho et du kiswa confectonnés à l'aide de ce grain. Le sorgho est déficient en lysine et présente donc une faible valeur biologique. En revanche, la digestibilité vraie de la protéine ainsi que l'énergie assimilable sont très élevées, avec des valeurs supérieures à 90 pour cent. Une

comparaison de plusieurs variétés de sorgho n'a fait apparaître que peu d'influence sur la qualité nutritionnelle du kiswa (tableaux 30 et 31).

De nombreuses études ont examiné la possibilité de faire du pain à l'aide de farines composées comprenant de la farine soit de sorgho soit de mil; l'utilisation l'une ou l'autre de ces farines ne présente pas de difficulté technique. Casey et Lorenz (1977) ont indiqué qu'un pain confectionné avec une partie de farine de mil présentait une texture excellente et un goût analogue à celui du pain de blé. Il y a toujours une dégradation régulière de la qualité du pain à mesure que l'on accroît le pourcentage de farine non tirée du blé. Si la farine est colorée (comme c'est le cas avec le mil chandelle et la farine de sorgho décortiquée par abrasion contenant trop de graines de sorgho brun), c'est en général le degré de décoloration qui limite la quantité de farine autre que le blé que l'on peut utiliser. Dans la plupart des autres cas, le facteur limitant est la densité du pain. Si l'on n'utilise pas d'autres additifs (généralement importés et coûteux), environ 10 pour cent de farine autre que de blé est la limite que la plupart des gens acceptent, bien que l'on ait souvent prétendu avoir fait un pain acceptable avec des taux d'addition beaucoup plus élevés. On peut confectionner des gâteaux et des biscuits à l'aide de farine comportant des pourcentages beaucoup plus élevés de céréales autres que le blé, mais là encore, comme pour le blé, la qualité du produit se dégrade à mesure que le niveau de substitution augmente. La farine composée a été utilisée commercialement dans le pain dans plusieurs pays, mais on ne l'accepte généralement que lorsqu'il y a pénurie de farine de blé et même là, ce n'est pas sans réticence.

TABLEAU 33 - Composition approchée et teneur en tanins de la farine et du pain de sorgho^a

Produit	Humidité (%)	Protéine brute (Nx 6.25)	Matière grasse (%)	Fibre brute (%)	Cendres (%)	Hydrates de carbone (par différence) (%)	Tanins ^b (%)
Farine							
Sorgho blanc	12,4	15,3	4,7	2,3	2,2	75,5	0,09
Sorgho blanc	12,1	15,9	5,1	2,5	2,3	74,2	0,27

rouge tre Pain							
Sorgho blanc	27,2	15,7	4,0	2,5	2,5	75,3	0
Sorgho blanc rouge tre	32,2	16,2	5,1	2,4	2,4	73,9	0
Sorgho blanc rouge tre, ferment	35,4	16,4	4,9	2,9	2,2	73,6	0

^a Moyennes arithmétique de détermination effectuées en double (écart < 5 pour cent) exprimées sur la base du poids de la matière sèche, sauf l'humidité qui a été déterminée sur des échantillons frais.

^b Exprimé en équivalents catéchine (EC).

Source: Kalil et al., 1984.

TABLEAU 34 Composition en sels minéraux de la farine et du pain de sorgho (mg %)^a

Produit	Na	K	Ca	P	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
Farine									
Sorgho blanc	21	458	18	396	54	5,0	3,3	0,8	3,5
Sorgho blanc rouge tre	23	463	16	407	58	4,5	3,2	0,7	3,4
Pain									
Sorgho blanc	133	308	30	259	49	5,4	2,4	0,6	2,6
Sorgho blanc rouge tre	160	308	23	256	54	5,0	2,3	0,6	2,3
Sorgho blanc	174	300	27	187	57	4,2	2,5	0,7	2,8

rouge									
fermenté									

^a Moyennes arithmétique de détermination effectuées en double (écart <5) exprimées sur la base du poids la matière sèche.

Source: Khalil et al., 1984.

TABLEAU 35 Composition approchée et teneur en tanins de la farine et du pain de mil chandelle

Produit	Humidité (%)	Protéine brute (N x 6 25)	Matière grasse brute (%)	Fibre brute (%)	Cendres (%)	Hydrates de carbone (par différence) (%)	Energie (kcal/100 g)	Tanins (%)
Farine								
Telle quelle	9,7 ± 0,8	15,7 ± 0,3	5,7 ± 0,2	2,5 ± 0,7	2,0 ± 0,1	64,4 ± 2,1	372 ± 10,5	0,17 ± 0,05
Matière sèche		17,4	6,3	2,8	2,2	71,3	412	0,19
Pain								
Tel quel	26,6 ± 1,5	12,7 ± 0,4	4,1 ± 0,2	2,1 ± 0,3	1,9 ± 0,2	52,6 ± 1,8	299 ± 9,2	0
Matière sèche		17,3	5,6	2,8	2,6	71,9	407	0

^a Moyennes arithmétiques ± écart type (n > 3)

Source: Sawaya. Khalil et Safi 1984.

Pêtes alimentaires

Les pêtes sont généralement faites à partir de semoule ou de farine de blé durum ou de blé vulgare, ou d'un mélange des deux. Les produits les plus courants sont les spaghetti, les macaroni et les nouilles. Le blé a la propriété particulière et unique de former une masse extensible, élastique et cohésive lorsqu'il est mélangé avec de l'eau. Les farines de sorgho et de mil n'ont pas ces propriétés lorsqu'on les utilise seules.

Le sorgho est inférieur au blé pour la fabrication de pêtes, à la fois parce qu'il ne contient pas de gluten et parce que sa température de gélification est plus élevée que celle du blé.

Miche et al. (1977) ont fait des pêtes à partir de mélanges de sorgho et de blé. Ils ont constaté que, pour obtenir des produits de bonne qualité pour la cuisson, il fallait ajouter à la farine de sorgho avant extrusion un peu d'amidon gélifié. La qualité de la pâte est influencée par la qualité à la fois de la farine de sorgho et de l'amidon. Le sorgho blanc est préférable pour les pêtes, et sa couleur est analogue à celle du blé. Une farine composite constituée de 70 pour cent de blé et 30 pour cent de sorgho a permis de produire des pêtes acceptables.

Des nouilles comportant 20 pour cent de farine de millet commun étaient acceptables (Lorenz et Dilsaver, 1980). La perte en cuisson à ce niveau d'addition était analogue à celle des pêtes à base de blé servant de référence. Cette perte augmentait avec 40 ou 60 pour cent de farine de mil.

Faure (1992) a fabriqué des pêtes à partir de mélanges de sorgho, de mil et de blé. Il a constaté que la qualité des pêtes était étroitement liée aux caractéristiques de la farine utilisée, et en particulier à la façon dont elle était séchée. Il faudrait que toute matière utilisée contienne moins de 1 pour cent de cendres et 1 pour cent de matière grasse. Une hydratation convenable est nécessaire. Un rebroyage et un cisaillement intensif pendant le mixage et l'extrusion améliorent l'hydratation. Il est difficile d'hydrater les morceaux d'endosperme corné de grande taille.

Desikachar (1977) a préparé des nouilles en extrudant la pâte de sorgho bouilli à l'aide d'une presse, puis en la passant à la vapeur et en la faisant sécher. En Chine, on fabrique des nouilles de sorgho à l'aide d'un instrument spécial.

Aliments de sevrage

La farine de sorgho germé est appelée farine énergétique (kimea en République Unie de Tanzanie). L'utilisation de cette farine réduit la viscosité de l'aliment préparé. Il est ainsi possible de doubler la quantité de farine pour fabriquer un produit de consistance analogue et augmenter la densité énergétique des aliments de sevrage (Seenappa, 1988). Le sorgho et les mils sont utilisés dans la préparation d'aliments de sevrage dans des pays comme l'Ethiopie, l'Inde, la République-Unie de Tanzanie et l'Ouganda. Seenapa (1988) a décrit les aliments de sevrage à base de sorgho et de mil qui sont actuellement préconisés dans un certain nombre de pays d'Afrique.

L'emploi d'aliments de sevrage à base de sorgho et de mil fabriqués par des techniques d'extrusion et de maltage s'est révélé efficace. Ces aliments ont été encouragés comme étant des aliments hautement énergétiques ou hautement protéiques, mais ils seraient mieux acceptés et plus utilisés si l'on pouvait en réduire le coût.

TABLEAU 36 Compositions testées et mises au point pour adoption dans des programmes d'alimentation (mélanges de mil et de légumineuses)

Ingrédients	Proportion
Rawa de sorgho (semoule): farine de soja: lait écrémé en poudre	70:25:5
Rawa de sorgho: farine de soja: sucre	70:10:20
Farine de sorgho: farine d'ers	80:20
Farine de mil chandelle: farine de haricots velus	70:30
Farine de mil chandelle: farine de haricots mungos	70:30
Farine de mil chandelle: farine de pois chiches	70:30

Source: Vimala 1990.

La qualité des aliments de sevrage préparés à base de pois vache et de sorgho malté ou séché en tambour a été

étudiée (Malleshi, Daodu et Chandrasekhar, 1989). La formule des aliments de sevrage basée sur du sorgho et du pois de vache malt était nutritionnellement supérieure à celle des aliments de sevrage séchés en tambour préparés à l'aide de matière première non maltée. La teneur en lysine disponible était de 3,85 pour cent dans les aliments maltés et de 2,95 pour cent dans les aliments à base de sorgho séché. Le coefficient d'efficacité protéique des aliments maltés était de 2,26, soit nettement supérieur à celui des aliments séchés en tambour (1,87). La viscosité de la pâte cuite de sorgho malté était beaucoup plus faible que celle des aliments à base de sorgho séché en tambour.

Boissons traditionnelles

Bien que les boissons ne soient pas des aliments majeurs, elles constituent dans plusieurs pays une source d'énergie. Les porridges fermentés fluides sont généralement préparés et utilisés comme boisson dans les pays d'Afrique. On les considère comme des aliments, et ils apportent d'importants éléments nutritifs. Au Cameroun, la bière traditionnelle (amgba) et un vin (affouk) préparés à partir du sorgho se sont révélés nutritionnellement supérieurs à la farine de sorgho (Chevassus-Agnes, Favier et Joseph, 1976) car ils fournissent davantage de riboflavine, de thiamine et de lysine. Derman et al. (1980) ont indiqué que l'assimilation de fer à partir de la bière de maïs ou de sorgho était plus de 12 fois ce qu'elle était à partir de ses composants. Dans la bière de sorgho traditionnelle, l'essentiel de la thiamine et environ la moitié de la riboflavine et de la niacine sont associées aux solides qui contiennent la levure (van Heerden et Glennie, 1987). La bière ayant la plus forte teneur en solides totaux était celle qui contenait les quantités les plus élevées de sels minéraux et d'oligo-éléments (van Heerden, Taylor et Glennie, 1987). Ainsi, la bière est une source de vitamines, de fer, de manganèse, de magnésium, de phosphore et de calcium. Les mesures faites ont montré que la bière contenait 26,7 g d'amidon et 5,9 g de protéine par litre.

Les bières basses peuvent aussi être produites à partir de sorgho. Au Nigeria, les sorghos ont été testés comme substitut du malt d'orge pour la production de bière (Obilana, 1985). On a produit une bière de bonne qualité en mélangeant à parts égales du sorgho et de l'orge. La bière basse était brassée à partir de malt de sorgho par la méthode de décoction à trois stades et avec addition de 30 pour cent de sucrose (Okafor et Aniche, 1987). Au Rwanda, on produit un nouveau type de bière à l'aide de sorgho et d'orge locaux (Iyakaremye et Twagirumukiza, 1978). On peut mélanger jusqu'à 40 pour cent de sorgho avec du malt d'orge pour fabriquer une bière acceptable.

Les amidons de l'amylopectine ne conviennent pas pour les bières basses car elles rendent la filtration difficile. En revanche,

les variétés à faible température de gélification de l'amidon peuvent convenir. Une orge ou une autre céréale convenant bien au maltage présente généralement un endosperme blanc farineux ou féculent. De même, on préfère pour le maltage un sorgho dont l'endosperme est essentiellement farineux. Les gruaux de sorgho et de maïs sont analogues sur le plan de la composition en acides aminés, protéines et amidon (Canales et Sierra, 1976). Le sorgho peut conférer une stabilité oxydative supplémentaire grâce à sa composition en acides gras.

On peut aussi distiller de l'alcool moyennant des modifications appropriées, et le sorgho pourrait présenter un bon potentiel dans ce secteur. En Chine, où l'industrie des boissons alcooliques est gros consommateur de grains de sorgho, on distille de l'alcool à partir du sorgho.

Les sorghos et les mils conviennent tout à fait pour la fabrication de la bière opaque traditionnelle, qui est une boisson populaire dans plusieurs pays d'Afrique. On l'appelle chibuki au Zimbabwe, impeke au Burundi, dolo au Mali et au Burkina Faso et pito au Nigeria. Les principales caractéristiques de ce produit sont une courte durée de conservation environ une semaine -, un faible degré alcoolique, un caractère acide, des solides en suspension, ainsi qu'un goût et une couleur caractéristiques (Chitsika et Mudimbu, 1992). La bière opaque est plus un aliment qu'une boisson. Elle contient de fortes proportions d'amidon et de sucres en plus des protéines, matières grasses, vitamines et sels minéraux. Il est préférable d'utiliser un sorgho blanc comportant moins de polyphénols, bien que l'on utilise aussi des sorghos rouges ou bruns. Le sorgho rouge donne à la bière une couleur rose-brun. Les sorghos à teneur élevée en tanin conviennent mal à la production de bière. Le malt utilisé pour la fabrication doit présenter une forte activité diastatique et une grande solubilité. Les malts sont également source de lactobacilli et d'éléments nutritifs essentiels.

Produits extrudés

On utilise de plus en plus souvent l'extrusion pour fabriquer des aliments légers. Au cours du processus d'extrusion, les céréales sont cuites à haute température pendant peu de temps. L'amidon est gélifié et la protéine est dénaturée, ce qui en améliore la digestibilité. Les facteurs antinutritionnels présents peuvent être inactivés. Les micro-organismes sont pour la plupart détruits, et la durée de vie du produit est donc allongée. Il est facile d'enrichir les produits avec des additifs.

Jusqu'ici, les produits d'extrusion du sorgho et du mil n'ont pas encore été fabriqués à une échelle commerciale. Fapojuwo, Maga et Jansen (1987) ont utilisé deux variétés de sorgho à faible teneur en tanin au cours d'études

d'extrusion. L'extrusion a amélioré la digestibilité d'une variété de 45,9 à 74,6 pour cent et celle de l'autre de 43,9 à 68,2 pour cent. La température de cuisson est la variable qui influait le plus sur la digestibilité. Youssef et al. (1990) ont utilisé deux variétés de sorgho (une brune et une blanche) pour fabriquer 16 produits d'extrusion différents. La proportion de sorgho dans les compositions utilisées variait de 45 à 97 pour cent. Cela a montré que l'on pouvait employer le sorgho avec d'autres céréales pour fabriquer des produits extrudés acceptables.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)